

SEGNALI DAL CLIMA

FVG

CAMBIAMENTI
IMPATTI
AZIONI

DALLA MONTAGNA AL MARE

I CAMBIAMENTI, GLI STUDI, LE OPPORTUNITÀ
SPIEGATI DAGLI ESPERTI

**EVENTI ESTREMI: LA CRONACA, I SEGNALI,
LE IMPLICAZIONI PER L'ADATTAMENTO**

**SICUREZZA IDRAULICA, FALDE, FIUMI, IRRIGAZIONE:
I MOLTI VOLTI DELLA RISORSA ACQUA**

**SGOMBRI, API, TOPI E ALTRI ANIMALI
ALLE PRESE COL CLIMA CHE CAMBIA**

**PROGETTI, RICERCA E INNOVAZIONE
PER LA MITIGAZIONE E L'ADATTAMENTO**

NOTIZIE DAL
GRUPPO DI LAVORO
TECNICO SCIENTIFICO
CLIMA FVG

luglio 2024

**NOI E
IL CLIMA**
BENESSERE, SICUREZZA,
GIUSTIZIA CLIMATICA,
ECO-EMOZIONI
E ANSIA CLIMATICA:
TEMI IMPORTANTI
NEL NOSTRO RAPPORTO
COL CLIMA

**VIAGGIO
NEL TEMPO**
I GHACCI RACCONTANO
IL CLIMA DEL PASSATO

**LA PIATTAFORMA DEL CLIMA
FUTURO: UNO STRUMENTO
PER TUTTI**

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

luglio 2024

“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 Federica Flapp.

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>

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>



Segnali dal Clima

Segnali dal Clima in FVG è una pubblicazione divulgativa che racconta i cambiamenti climatici partendo da un'ottica locale e regionale e affronta questo grande tema da tre prospettive: CAMBIAMENTI, IMPATTI, AZIONI.

Nasce dall'impegno del Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG e dalla convinzione che le sfide che i cambiamenti climatici pongono alla nostra società si possano affrontare efficacemente solo se allo sviluppo scientifico e tecnologico si accompagnano una crescita della conoscenza e una consapevolezza sempre più diffusa sul tema da parte di tutta la popolazione.

Segnali dal Clima illustra diversi aspetti dei cambiamenti climatici partendo dal racconto di eventi e situazioni che hanno riguardato di recente il Friuli Venezia Giulia e attingendo alle attività e ricerche svolte dagli enti del Gruppo Clima FVG. Cerca però anche di collegare la dimensione locale con quella globale, attraverso alcuni articoli che ci consentono di allargare lo sguardo a ciò che accade su scala più ampia.

Un filo rosso – CAMBIAMENTI, IMPATTI, AZIONI - unisce i diversi articoli, i nostri “segnali dal clima”, collegando i cambiamenti in atto con i loro effetti sull'ambiente e sulle attività umane, ma anche con le azioni che possiamo mettere in campo sia per limitare il riscaldamento globale e i cambiamenti del clima (mitigazione) che per ridurre gli impatti che ne conseguono (adattamento).

Il 2023 è stato il terzo anno più caldo mai registrato in Friuli Venezia Giulia: atmosfera e mare hanno raggiunto temperature per molti mesi superiori alla media ed eventi estremi di notevole intensità hanno colpito diverse aree della regione. Da qui comincia quest'anno il racconto dei segnali di cambiamento climatico che rileviamo nel nostro territorio e che si traducono in effetti diversificati sui diversi sistemi naturali

e settori produttivi, chiamandoci ad “agire per il clima”. Esperti dei diversi campi – climatologi, geologi, oceanografi, biologi, agronomi, economisti, ingegneri, architetti, professionisti dell'ambiente, della pubblica amministrazione e della salute – ci accompagnano in un percorso di conoscenza che parte dalle nostre montagne e si snoda seguendo idealmente il fluire delle acque attraverso la pianura, per arrivare alla laguna e al mare. Tornando sulla terraferma esploriamo gli effetti dei cambiamenti climatici su piante e animali, sia negli ecosistemi allo stato naturale che nel settore agricolo, scoprendo quali ricerche gli enti del *GdL Clima FVG* svolgono per analizzare i fenomeni e individuare soluzioni innovative per fronteggiarli. Nella nuova sezione “NOI E IL CLIMA”, guardiamo agli effetti che i cambiamenti climatici hanno anche sulla nostra sfera personale, dal punto di vista fisico, etico e psicologico. Concludiamo anche questa edizione con alcuni esempi di azioni intraprese dagli enti pubblici per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici in FVG.

Alcuni temi attraversano diverse sezioni e collegano più articoli, come quello dei servizi ecosistemici. Emerge con forza anche l'importanza della partecipazione, della formazione e della condivisione di esperienze per far fronte alle sfide del clima che cambia con nuove forme di sviluppo, sia in montagna, che in agricoltura che nella pianificazione regionale.

Segnali dal Clima in FVG non è quindi un report sullo “stato del clima” in Friuli Venezia Giulia: non ha l'obiettivo di fornire un quadro completo ed esaustivo della tematica, non ne esplora tutti gli aspetti e i settori ambientali e socioeconomici coinvolti, non passa in rassegna tutte le conoscenze disponibili. È però, appunto, un segnale: un segnale di cosa sta accadendo, di quanto sia importante prenderne coscienza e agire, di come la società, la pubblica amministrazione e il mondo scientifico si stiano già attivando.

*Il gruppo di lavoro tecnico-scientifico
Clima FVG*

L'ABC DEL CLIMA

Per rendere gli argomenti accessibili a tutti, negli articoli sono inseriti alcuni box a sfondo arancione pensati per avvicinare al pubblico alcuni termini e concetti tecnico-scientifici a cui è necessario fare riferimento quando si spiegano argomenti e fenomeni collegati ai cambiamenti climatici

DAL LOCALE AL GLOBALE

Con uno sfondo grigio sono evidenziati gli articoli che riportano notizie e informazioni relative a realtà extra-regionali e che ci consentono di ampliare la nostra visione, collegando ciò che avviene in Friuli Venezia Giulia con conoscenze generali e con fenomeni a scala più ampia.

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 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



IL METEO E IL CLIMA **11**

DATI METEO DEL 2023: IL TERZO ANNO PIÙ CALDO IN FVG, CON PIOGGE NELLA MEDIA	13
DAL LOCALE AL GLOBALE: ANOMALIE CLIMATICHE ED EVENTI ESTREMI NEL 2023 NEL MONDO	19
L'INCREMENTO DELLA TEMPERATURA MEDIA ANNUA IN FRIULI VENEZIA GIULIA: DAL MARE ALLA LIBERA ATMOSFERA	21
EVENTI ESTREMI: ALCUNI SEGNALI DI CAMBIAMENTO IN FRIULI VENEZIA GIULIA	25
PIATTAFORMA PROIEZIONI CLIMATICHE PER IL NORD-EST: UNO STRUMENTO PER CONOSCERE E PROGETTARE IL FUTURO DEL FVG	29
I PROCESSI DI "FEEDBACK" CHE AMPLIFICANO IL RISCALDAMENTO GLOBALE	39



I GHIACCI E LA MONTAGNA **41**

LA MONTAGNA E I CAMBIAMENTI CLIMATICI: UN EQUILIBRIO FRAGILE IN UN AMBIENTE VULNERABILE	43
I PICCOLI GHIACCIAI DI CANIN E MONTASIO: COME SONO CAMBIATI NEL TEMPO E NEL 2023	49
I GHIACCI RACCONTANO: ESPLORARE I CLIMI DEL PASSATO CON I METODI DELLA PALEOCLIMATOLOGIA	55
MONTAGNE IN TRASFORMAZIONE: CAMBIAMENTI CLIMATICI E ALTRI CAMBIAMENTI	59
OLTRE LA NEVE: SOLUZIONI E PARTECIPAZIONE PER UNO SVILUPPO RESILIENTE DELLA MONTAGNA	65
LA PRECARIA SICUREZZA IDRAULICA DEL TERRITORIO MONTANO	73



LE ACQUE DOLCI E LA PIANURA **79**

I LIVELLI DELLE FALDE IN FVG: VARIAZIONI NEL BREVE E NEL LUNGO PERIODO	81
LE ACQUE DOLCI: CAMBIARE PROSPETTIVA PER AFFRONTARE IL CLIMA CHE CAMBIA	89
PIOGGIA, EVAPOTRASPIRAZIONE E BILANCIO IDROCLIMATICO: IERI, OGGI E DOMANI	95
IRRIGAZIONE E CAMBIAMENTI CLIMATICI IN FVG IN UN CONTESTO DI VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI	99
TRASFORMAZIONE DEI PAESAGGI DELLA BONIFICA E NUOVI DESERTI FRIULANI IN UN QUADRO DEI CAMBIAMENTI DEI MODELLI AGRICOLI E CLIMATICI	105



IL MARE E LA LAGUNA **113**

LIVELLO DEL MARE NEL 2023: IL TERZO PIÙ ALTO MAI REGISTRATO	115
TEMPERATURA MEDIA DEL MARE: NEL 2023 LA PIÙ ALTA DELL'INTERA SERIE TEMPORALE	117
CAMBIANO TEMPERATURA E SALINITÀ STAGIONALI NEL GOLFO DI TRIESTE	119
I MOTORI FREDDI DEL NORD ADRIATICO SOSTENGONO LA VITA NEL MAR MEDITERRANEO	125
COME STANNO CAMBIANDO LE SPECIE ITTICHE? OSSERVAZIONI E RIFLESSIONI TRA BIOLOGI MARINI	129
CAMBIA LA LAGUNA, CAMBIA LA VITA NEI SUOI FONDALI	137



ECOSISTEMI TERRESTRI

143

API E CAMBIAMENTI CLIMATICI: LA GOCCIA CHE FA TRABOCCARE IL VASO

145

TOPI CORAGGIOSI: IL RUOLO DEI PICCOLI MAMMIFERI NELL'ADATTAMENTO DI QUERCE E FAGGI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

153



AGRICOLTURA: RICERCA E INNOVAZIONE

157

IL CENTRO NAZIONALE AGRITECH: SCIENZA, INNOVAZIONE E TRASFERIMENTO TECNOLOGICO PER UNA AGRICOLTURA SOSTENIBILE

159

UN MESSAGGIO DI RESILIENZA NELLA RISCOPERTA DELLE ORIGINI GENETICHE DELLA NOSTRA AGRICOLTURA

161

RESILIENZA E SOSTENIBILITÀ IN AGRICOLTURA: IL RUOLO DELLE RADICI

167

INNOVAZIONI COLLABORATIVE PER L'ADATTAMENTO DELLE AZIENDE AGRICOLE A UN CLIMA CHE CAMBIA

173

STRATEGIE DI GESTIONE DEL SUOLO PER IL VIGNETO: UNO STUDIO PLURIENNALE SU COVER CROPS E MONITORAGGIO DELLO STATO IDRICO DELLE PIANTE

177

ALLEVAMENTI ANIMALI E CAMBIAMENTI CLIMATICI

181

ROBOTICA PER L'AGRICOLTURA 4.0: MONITORAGGIO DELLE CHIOME E DEL SUOLO

185



NOI E IL CLIMA

189

BENESSERE E DISAGIO BIOCLIMATICO PER PERSONE E ANIMALI

191

CAMBIO CLIMATICO E BENESSERE: LE TEMPERATURE ESTIVE NEGLI SPAZI ABITATIVI

195

EDILIZIA E CAMBIO CLIMATICO: PROGETTARE STRUTTURE PIÙ RESISTENTI AGLI EVENTI ESTREMI

203

ADATTAMENTO AI CAMBIO CLIMATICI: ANCHE UNA QUESTIONE DI GIUSTIZIA

209

OLTRE L'ECO-ANSIA: CONNETTERSI CON LE EMOZIONI PER CAMBIARE IL CLIMA DENTRO E FUORI DI NOI

213



AGIRE PER IL CLIMA

225

ATTIVITÀ DELLA REGIONE FVG SULL'ADATTAMENTO CLIMATICO NEL 2023

227

LA CO₂ IN ATMOSFERA: DALLA PREISTORIA, ALL'OGGI, AL FUTURO

231

L'INVENTARIO DEI GAS CLIMALTERANTI IN FVG PER SUPPORTARE LE DECISIONI

235

CONOSCENZE E POLITICHE CLIMATICHE: DAL LOCALE AL GLOBALE

243

IL METEO E IL CLIMA

IL METEO E IL CLIMA

Temperatura atmosferica, precipitazioni, eventi estremi

Meteo e clima sono due termini ben distinti, ma collegati. Affrontiamo questo tema partendo dal racconto delle condizioni atmosferiche che hanno caratterizzato il 2023 in FVG (meteo), per confrontarle con la norma (clima) e allargando anche lo sguardo alle tendenze nel lungo periodo (cambiamenti climatici).

Due approfondimenti fanno più specificamente il punto sugli eventi estremi e sull'andamento trentennale delle temperature in diverse aree del FVG.

Ciò che accade nella nostra regione si inquadra anche in una prospettiva geograficamente più ampia, che ci viene offerta dagli articoli sugli eventi estremi del 2023 nel mondo e sui processi di *feedback* che amplificano il riscaldamento globale.

Lo sguardo si allunga poi sul futuro, con un articolo sulla Piattaforma delle proiezioni climatiche per il nord-est, che propone un primo "tutorial" per diversi utenti e finalità.

DATI METEO DEL 2023: IL TERZO ANNO PIÙ CALDO IN FVG, CON PIOGGE NELLA MEDIA

Il 2023 è stato un anno caratterizzato da temperature dell'aria e del mare decisamente più alte rispetto alla norma, “segnali” di un cambiamento climatico in atto anche in Friuli Venezia Giulia. Le piogge totali sono state, complessivamente, in linea con la media climatica. Digni di nota alcuni eventi estremi che hanno colpito pesantemente diverse aree della regione: grandinate, temporali forti, piogge intense, eventi di acqua alta e mareggiate che ricorderemo a lungo.

Foto: Giuseppe Visalli

Quali “segnali dal clima” possiamo cogliere guardando ai dati meteo registrati in Friuli Venezia Giulia nel 2023?

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.

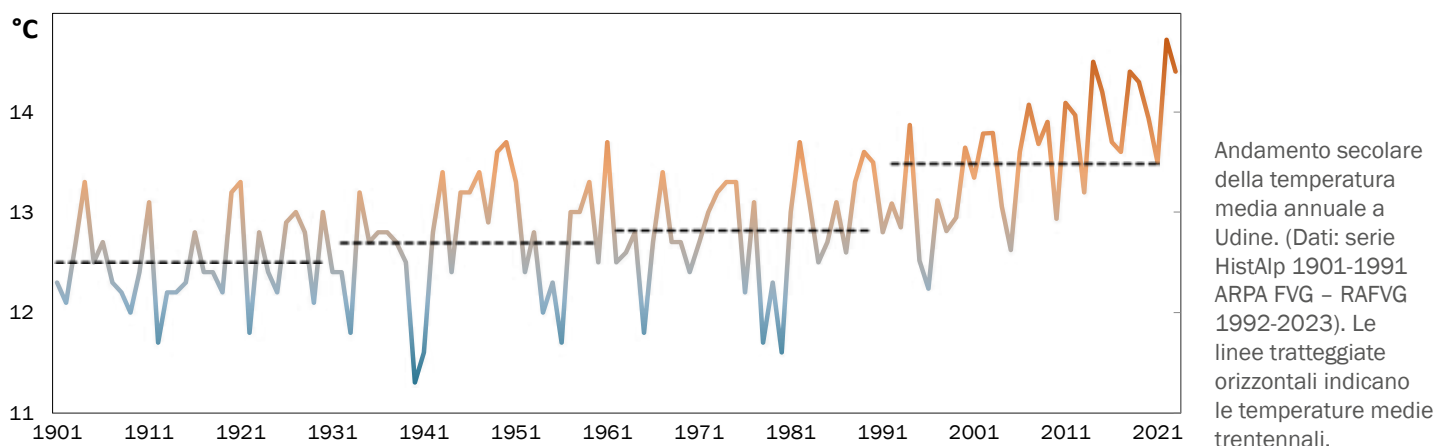
METEO, CLIMA E CAMBIAMENTI CLIMATICI

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).

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

Alla naturale variabilità del clima si sovrappongono oggi i **CAMBIAMENTI CLIMATICI** causati dalle attività dell'uomo, divenuti sempre più rilevanti e rapidi negli ultimi decenni, sia a scala globale che a livello locale.

TEMPERATURA MEDIA ANNUALE A UDINE DAL 1901 AL 2023



IL TERZO ANNO PIÙ CALDO

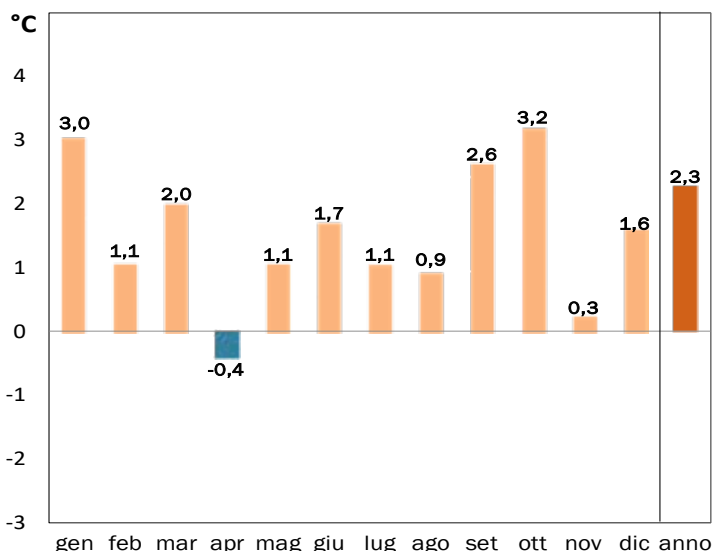
La temperatura media annuale del 2023 in Friuli Venezia Giulia è risultata **più alta di quasi 1 °C** rispetto al trentennio climatico di riferimento **1991 - 2020**. L'incremento è ancora più accentuato se consideriamo l'andamento termico secolare registrato a Udine: l'analisi dei dati dal 1901 mostra come il 2023 è stato **il terzo anno più caldo**, superato solo dal 2022 e dal 2014, con un incremento rispetto alla media del secolo scorso di **+1,7 °C**, segno del cambiamento climatico in atto anche nella nostra regione.

Nonostante le temperature medie annuali nelle diverse località della regione siano state elevate, **la sensazione** di gran parte della popolazione è **che il 2023 non sia stato un anno estremamente caldo**; ciò è probabilmente legato al fatto che nei mesi centrali dell'estate le temperature si sono mantenute sui valori medi climatici.

Analizzando nello specifico i **dati termici medi mensili** di quest'anno e confrontandoli con le medie del periodo 1901-2022, si può notare come in pianura la temperatura mensile sia risultata quasi sempre superiore, con pochi mesi sotto o attorno alla media ultracentenaria (aprile e novembre).

Particolarmente rilevanti sono risultate le temperature medie di gennaio, marzo, settembre e ottobre con anomalie positive da 2,0 a 3,2 °C. La maggior parte dei mesi ha avuto anomalie positive da 1 a 2 °C. Solo aprile è risultato più fresco di 0,4 °C, mentre novembre ha fatto registrare un'anomalia positiva di soli 0,3 °C.

ANOMALIA TERMICA MENSILE - 2023



Anomalia delle temperature medie mensili del 2023 a Udine rispetto al periodo 1901-2022 (serie HistAlp 1901-1991 ARPA FVG-RAFGV 1992-2023).



Foto: ARPA FVG

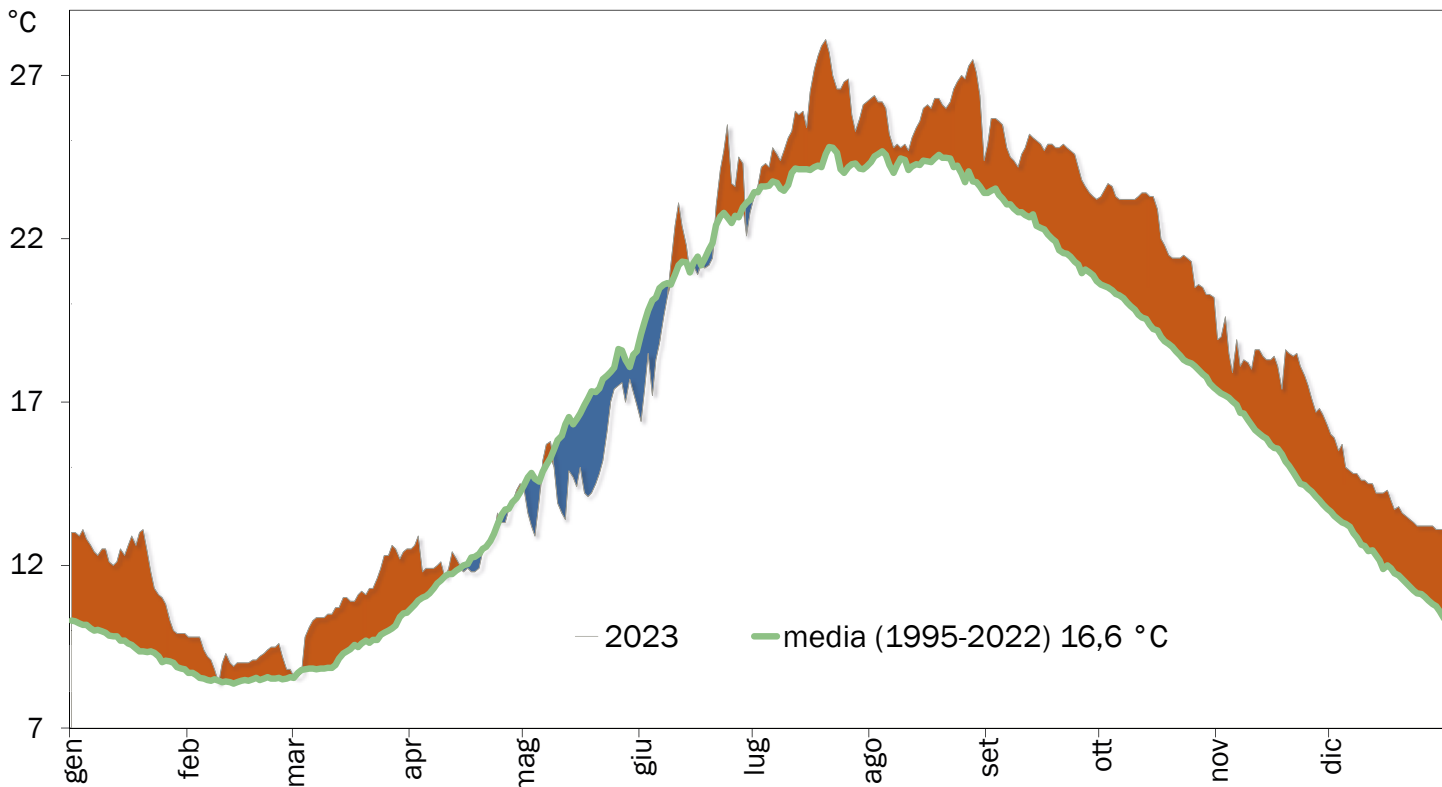
UN MARE PIÙ CALDO DELLA NORMA PER GRAN PARTE DELL'ANNO

Anche la temperatura media del mare a 2 metri di profondità è stata **di circa 1,3 °C più alta** rispetto alla media del periodo di confronto 1995-2022.

Le **anomalie positive più importanti** si sono registrate a **gennaio** e per tutto il periodo **da settembre a fine anno**.

È da sottolineare che da quando si misura la temperatura del mare a Trieste (a partire dal 1900), dopo l'8 ottobre non erano mai state registrate temperature superiori ai 23 °C, come invece è successo nel 2023.

TEMPERATURA MEDIA GIORNALIERA DEL MARE A TRIESTE - 2023



Andamento della temperatura media giornaliera del mare a 2 m di profondità a Trieste nel 2023 e confronto con la media 1995-2022 (Dati: ARPA FVG - RAFVG 1995-2023).



Foto: Alessandro Gimona

Acqua alta a Grado del 27 ottobre 2023.

PIOGGE NELLA MEDIA, MA CON ALCUNI EVENTI ESTREMI

Dopo un 2022 estremamente siccitoso, nel **2023** le **precipitazioni totali** sono risultate complessivamente **nella norma** variando dai 800-1100 mm della costa, ai 1200-1600 mm della pianura, superando i 3600 mm sulle Prealpi Giulie, per poi scendere sotto i 2000 mm nelle zone alpine più interne.

Si sono discostate dalla media le pluviometrie di alcuni mesi: ha piovuto molto meno della norma a febbraio e molto di più a luglio e ottobre.

Ma al di là dei cumulati di pioggia mensili e dell'intero anno, tra i fenomeni legati alle precipitazioni sono degni di nota alcuni eventi estremi verificatisi nel 2023, che hanno determinato forti impatti in diverse aree del Friuli Venezia Giulia.

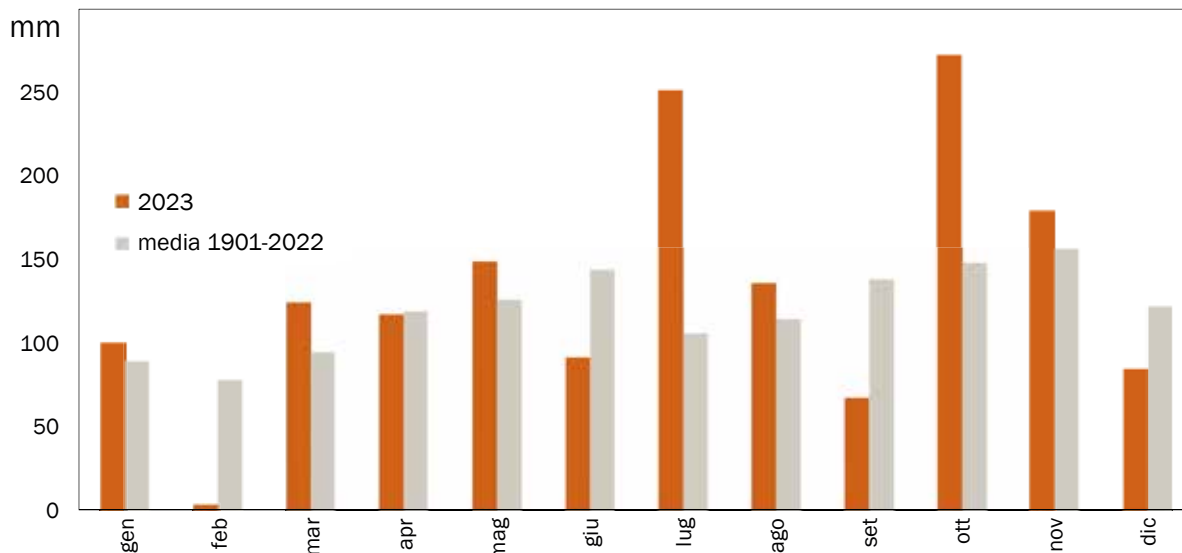
Passeranno sicuramente alla storia le **due eccezionali grandinate** che nella notte tra il **24 e il 25 luglio** del 2023 hanno attraversato la pianura regionale. I danni causati dagli enormi chicchi di grandine, che hanno raggiunto un diametro massimo fino a 20 cm, sono stati ingenti, specie sulla media pianura friulana, con tetti frantumati, cappotti delle case trivellati, veicoli distrutti, persone ferite ed evacuate dalle proprie abitazioni, danni alle colture e alberi abbattuti. Decisamente l'episodio di grandine più intenso verificatosi in regione almeno dagli anni '90.

A **luglio** si sono registrati anche altri **forti temporali**, in particolare in precedenza il giorno 13, quando venti forti, con raffiche oltre i 120 km/h, hanno attraversato la bassa pianura friulana.

Oltre ai temporali estivi **anche l'autunno** ha riservato eventi meteorologici molto intensi. Ricordiamo le **forti piogge** che **dal 19 ottobre per venti giorni** hanno interessato ripetutamente tutta la regione facendo totalizzare, specie nella zona prealpina, cumulati davvero notevoli. Dal 19 ottobre al 7 novembre a Ucea di Resia si sono registrati 1318 mm, quasi la metà della pioggia media annuale che si misura abitualmente nella località. Ulteriori informazioni, descrizioni e analisi dei fenomeni e degli andamenti meteo-climatici del 2023 in Friuli Venezia Giulia sono riportate nel "METEO FVG REPORT - RIEPILOGO ANNO 2023": https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/meteo-fvg/2023/meteo.fvg_2023-riepilogo_it.pdf

Andrea Cicogna
Valentina Gallina
Federica Flapp
ARPA FVG

PIOVOSITÀ MENSILE A UDINE



Precipitazioni mensili nel 2023 e confronto con la media del periodo 1901-2022 a Udine (Dati: serie HistAlp 1901-1991 ARPA FVG – RAFVG 1992-2023).



1) Danni causati dalle grandinate del 24 e 25 luglio a Mortegliano;
 2) e 3) Danni della mareggiata di inizio novembre 2023 sul lungomare di Barcola (Trieste).

2023: ALCUNI EVENTI METEO DA RICORDARE

Degni di nota sono alcuni eventi meteo che hanno caratterizzato la seconda metà dell'anno interessando alcune località del Friuli Venezia Giulia

13 LUGLIO

un forte temporale ha attraversato tutta la bassa pianura friulana causando raffiche di vento molto forti con raffiche oltre i 120 km/h.

24 E 25 LUGLIO

grandinate da record hanno attraversato la pianura regionale. I danni causati dagli enormi chicchi di grandine, che hanno raggiunto un diametro massimo fino a 20 cm, sono stati ingenti, specie sulla media pianura friulana, con tetti frantumati, cappotti delle case trivellati, veicoli distrutti, persone ferite ed evacuate dalle proprie abitazioni, danni alle colture e alberi abbattuti. Decisamente l'episodio di grandine più intenso verificatosi in regione almeno dagli anni '90.

19 OTTOBRE

forti piogge per venti giorni hanno interessato ripetutamente tutta la regione facendo totalizzare, specie nella zona prealpina, cumuli davvero notevoli. Dal 19 ottobre al 7 novembre a Ucea di Resia si sono registrati 1318 mm, quasi la metà della pioggia media annuale che si misura abitualmente nella località.

27 OTTOBRE

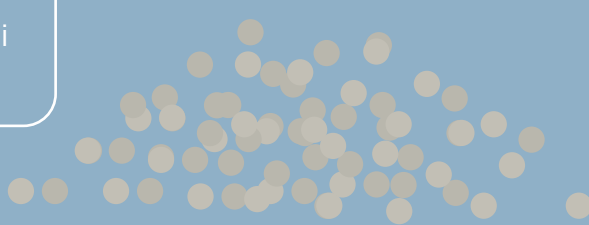
nell'isola di Grado è stato registrato un livello di acqua alta eccezionale di 167 cm sopra il livello medio mare.

2 E 3 NOVEMBRE

ancora piogge accompagnate da una forte libeccata con venti intorno ai 100 km/h che ha provocato danni ingenti lungo tutta la costa della nostra regione.

5 NOVEMBRE

di nuovo l'isola di Grado viene interessata da un livello di acqua alta eccezionale di 170 cm sopra il livello medio mare.



DAL LOCALE AL GLOBALE: ANOMALIE CLIMATICHE ED EVENTI ESTREMI NEL 2023 NEL MONDO

Foto: Wikimages da Pixabay

Il 2023 è stato un anno eccezionale dal punto di vista climatico. È stato l'anno più caldo a livello globale nel record storico, con una anomalia termica superiore di 0.15-0.17 °C rispetto al record precedente del 2016.

TEMPERATURE DA RECORD

Le temperature globali sono state di 1.46-1.48 °C più alte di quelle pre-industriali (media sul periodo 1850-1900), essendo quindi **molto vicine alla prima soglia di pericolo** identificata nell'accordo di Parigi di 1.5 °C di riscaldamento globale rispetto ai valori pre-industriali. Questo a causa dell'insorgere del fenomeno di El Niño, in cui gran parte dell'Oceano Pacifico raggiunge temperature relativamente alte, che ha amplificato il riscaldamento dovuto ai gas serra di origine antropica.

Tutti i mesi da giugno a dicembre 2023 sono stati i più caldi dei corrispondenti mesi precedenti nel record storico, in particolare luglio e agosto 2023 a livello globale sono stati i mesi più caldi mai registrati in tutto il record storico.

Queste temperature globali eccezionalmente alte hanno portato a numeri **record di giorni estremamente caldi** e ondate di calore. Per esempio:



IN TAILANDIA

ad aprile si sono registrati fino a 45.4 °C e in Vietnam il 6 maggio 44.1 °C

IN CINA

si è avuta la più alta temperatura mai registrata, 52.2 °C, in alcune cittadine dello Xinjiang, e a Pechino ci sono stati 27 giorni consecutivi con temperature al di sopra di 35 °C

IN CILE

le temperature eccezionalmente alte hanno causato incendi molto estesi, con decine di morti e 270.000 ettari di foreste bruciate

IN EUROPA E STATI UNITI

sono state raggiunte temperature record, per esempio 47 °C in Sardegna

GHIACCI POLARI RIDOTTI AL MINIMO

Anche i ghiacci polari sono stati influenzati da queste temperature record. L'estensione del ghiaccio Antartico ha raggiunto un record minimo per almeno 8 mesi dell'anno, con un minimo storico nel febbraio 2023, mentre l'estensione del ghiaccio Artico è stata la quarta più bassa del record storico in marzo e la sesta più bassa in settembre.

EVENTI IDROCLIMATICI ESTREMI

Dal punto di vista idroclimatico ci sono stati eventi particolarmente estremi. Basta ricordare l'alluvione dell'Emilia Romagna, che ha causato enormi danni e diverse vittime. In Libia, la tempesta Daniel ha causato l'inondazione della città di Derna, con migliaia di morti e la distruzione di interi quartieri. Il ciclone tropicale Freddy ha colpito un'area comprendente Madagascar, Malawi, Mozambico, Zimbabwe e Sud-Africa causando migliaia di vittime e più di 500.000 sfollati, mentre il tifone Categoria 5 Mocha ha colpito Myanmar con venti oltre i 250 km orari e numerose vittime.

LE CAUSE E LE PROSPETTIVE

Tutti questi eventi continuano un trend che va avanti ormai da decenni dovuto per la maggior parte all'aumento delle concentrazioni di gas serra da attività umane, in particolare l'uso di combustibili fossili. Infatti le concentrazioni di gas serra sono continuate a salire anche nel 2023.

Purtroppo, il 2024 potrebbe seguire le orme del 2023, se non essere anche più estremo, dato che il fenomeno di El Niño è ancora in atto, anche se in fase calante, e, come nel 2023, sta intensificando il riscaldamento globale di origine antropica. I mesi da gennaio ad aprile 2024, infatti, sono già stati i più caldi del record storico, e il mese di febbraio ha stabilito un record anche per il Friuli Venezia Giulia.

Filippo Giorgi

ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica



L'INCREMENTO DELLA TEMPERATURA MEDIA ANNUA IN FRIULI VENEZIA GIULIA: DAL MARE ALLA LIBERA ATMOSFERA

L'esame di lunghe serie di dati, raccolti in diversi siti, ci racconta del riscaldamento termico nella nostra regione, situata tra due "hot spot" climatici: il Mediterraneo e le Alpi. I dati confermano che l'aumento delle temperature in FVG è più accentuato rispetto a quello globale, con andamenti simili tra la temperatura del mare, quella dell'aria vicina al suolo in diverse località e quella della libera atmosfera.

La letteratura scientifica internazionale evidenzia come il bacino del Mediterraneo rappresenti una delle zone dove il riscaldamento climatico risulta più accentuato e questo si registra anche nelle stazioni di quota delle Alpi. Queste due aree sono quindi considerate degli "hot spot" (punti caldi) per i cambiamenti climatici. Il Friuli Venezia Giulia, che si trova tra il mare e l'arco alpino, risente di questo aumento più evidente delle temperature. Conferma di tale andamento può essere trovata nelle serie di temperatura raccolte in siti diversi della regione.

È interessante esaminare la temperatura dell'aria delle stazioni a terra, ma anche la temperatura del mare e quella nella libera atmosfera. In questo breve lavoro abbiamo esaminato dati raccolti in cinque siti sul territorio regionale.

Foto: Alberto Villani



Stazioni di rilevamento temperatura ARPA FVG: 1) Trieste; 2) Udine; 3) Enemonzo; 4) Monte Zoncolan e 5) radiosonda.

IL MARE

Per il mare abbiamo esaminato i dati raccolti nel porto di **Trieste**, dove esistono delle misurazioni della temperatura del mare a 2 metri di profondità fin dall'inizio del secolo scorso. In un recente lavoro a cura del CNR-ISMAR, sede di Trieste, queste serie sono state rese omogenee e analizzate (si può vedere l'andamento dell'intera serie storica nell'articolo di Fabio Raicich **TEMPERATURA MEDIA DEL MARE: NEL 2023 LA PIÙ ALTA DELL'INTERA SERIE TEMPORALE**, pag 117).

LA PIANURA

Per la pianura, a **Udine**, esiste una lunga serie di misure dell'aria iniziata da Girolamo Venerio, continuata da Arturo Malignani e integrata con i dati raccolti dal Servizio Idrografico del Ministero LL.PP. e poi della rete meteorologica regionale. Tale lunga serie è stata verificata dagli enti che via via sono subentrati nella raccolta dati e all'interno di progetti internazionali (per esempio progetto HISTAlp).

L'AREA MONTANA

A **Enemonzo**, nella valle del Tagliamento, a una quota di 438 metri è stata installata una stazione termometrica nel 1994 e, poco lontano, sul **monte Zoncolan** a 1750 metri di quota, le misure sono iniziate dal 1993. In entrambi i siti le misure proseguono ininterrottamente fino a oggi.

LA LIBERA ATMOSFERA

Un'ultima serie di dati termici è quella che deriva dalle misurazioni eseguite due volte al giorno con i **radiosondaggi di Udine effettuati dall'Aeronautica Militare Italiana**, dalla base di Campofornido fino al 17 gennaio 2016 e poi dalla base di Rivolto. La radiosonda sale in cielo grazie a un grande pallone riempito di elio e durante la salita misura pressione, umidità, vento e temperatura. Al salire della quota la pressione cala e quando questa arriva intorno agli 850 hPa si può ritenere che l'influenza del terreno sull'atmosfera sia molto limitata: siamo arrivati nella libera atmosfera. Qui l'escursione termica tra giorno e notte è ridotta. L'altezza da terra a cui si raggiungono gli 850 hPa è variabile in funzione delle condizioni atmosferiche ma si attesta mediamente **intorno ai 1300-1500 m** ed è proprio a questa quota isobarica che è stata esaminata la serie termica.

DAL 1901 A OGGI: IL CONFRONTO TRA LA TEMPERATURA DELL'ARIA A UDINE E DEL MARE A TRIESTE

Le temperature medie annuali del mare a Trieste e dell'aria a Udine negli ultimi decenni risultano mediamente più calde che in passato.

Infatti a **Udine** la temperatura media in tutto il periodo considerato (1901-2023) si attesta intorno ai 12.9 °C. Nel primo trentennio del secolo scorso la temperatura media era di 12.5 °C, 4 decimi più bassa della media dell'intero periodo, invece, nell'ultimo trentennio (1994-2023) la media si è attestata sui 13.9 °C, circa 1 °C in più rispetto alla media 1901-2023.

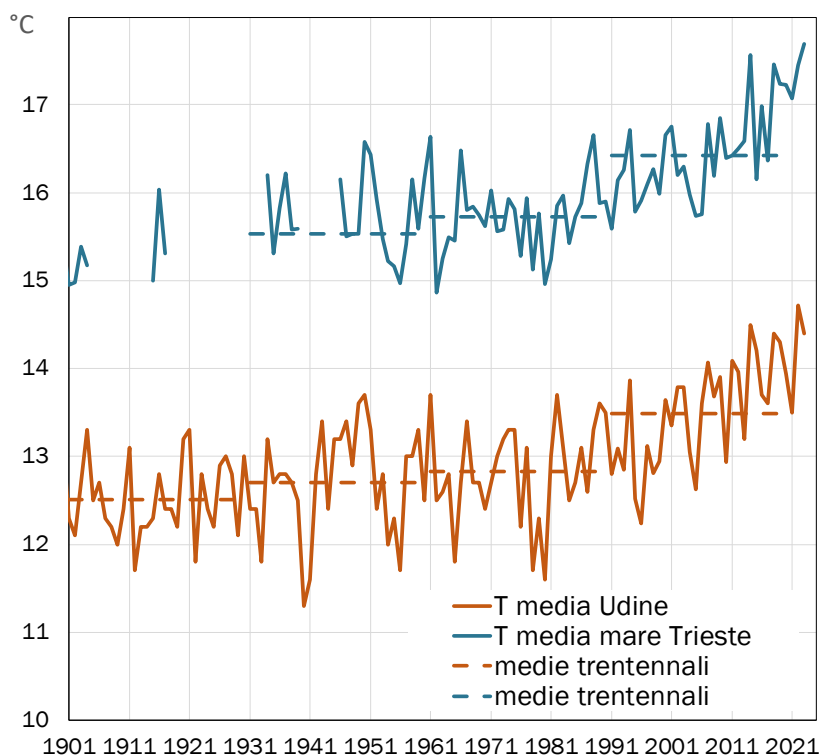
Si può inoltre osservare come la differenza tra le medie 1961-1990 e 1991-2020 sia di circa 0.7 °C a indicare la **forte accelerazione del fenomeno nell'ultimo trentennio**. A livello mondiale la differenza tra i due medesimi trentenni si attesta intorno 0.5 °C.

Seppure la serie di temperature del mare a Trieste non sia completa, l'andamento che si nota è molto simile.

Per confrontare meglio le due località possiamo passare dalla temperatura media annuale all'anomalia annuale. Per anomalia annuale si intende la differenza tra temperatura annuale e la media pluriennale di un periodo di riferimento abbastanza lungo, in questo caso il 1961-1990.

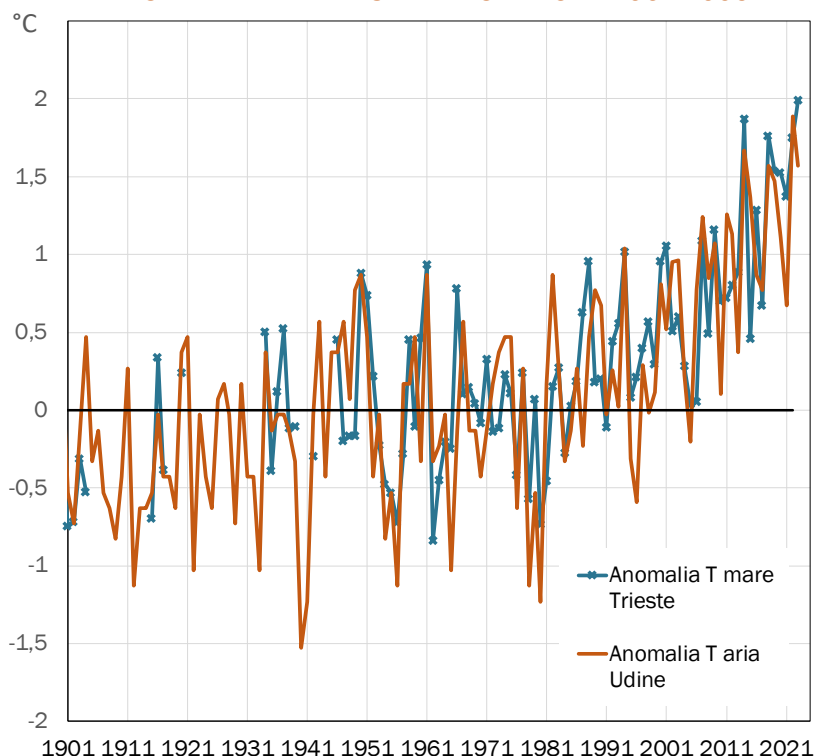
La sovrapposizione delle due serie così trasformate ci mostra come l'andamento di entrambe sia molto simile: dall'inizio del secolo scorso fino agli anni '80-'90 vi è un incremento piuttosto contenuto e che si confonde nella variabilità interannuale. Dal 2000 si assiste a un incremento molto più deciso della temperatura.

TEMPERATURE MEDIE ANNUE DEL MARE A TRIESTE E DELL'ARIA A UDINE



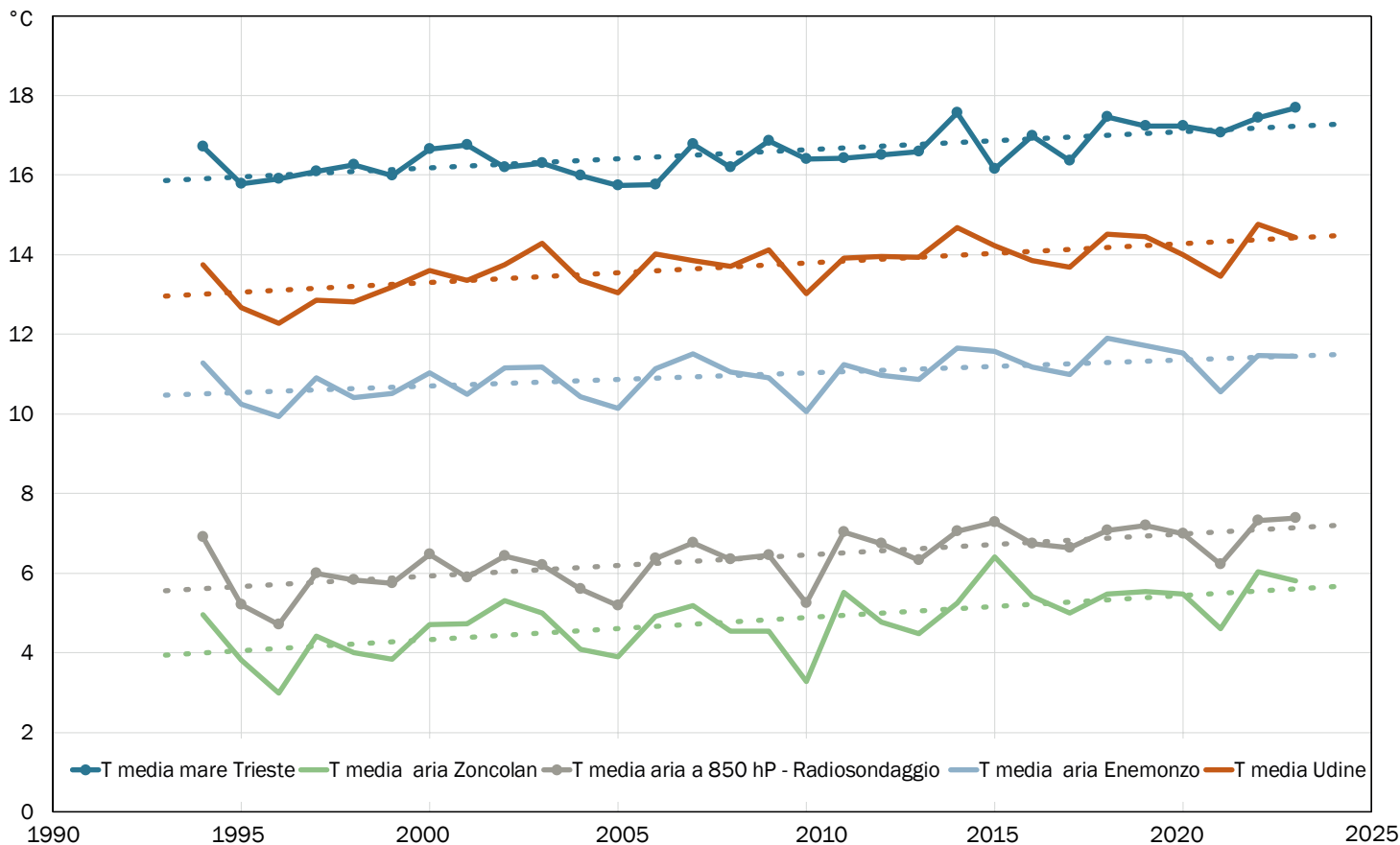
Andamento delle temperature medie annuali del mare a Trieste e dell'aria a Udine, dal 1901 al 2023 (Dati: per Udine serieHistAlp 1901-1991 ARPA FVG-RAFGV 1992-2023; per il mare a Trieste serie CNR - ISMAR 1900-2015 ARPA FVG-RAFGV 2016-2023).

ANOMALIA DELLE TEMPERATURE MEDIE ANNUE DEL MARE A TRIESTE E DELL'ARIA A UDINE RISPETTO AL 1961-1990



Andamento dell'anomalia delle temperature medie annuali del mare a Trieste e dell'aria a Udine, dal 1901 al 2023 rispetto alla media del periodo 1961-1990 (Dati: per Udine serieHistAlp 1901-1991 ARPA FVG-RAFGV 1992-2023; per il mare a Trieste serie CNR - ISMAR 1900-2015 ARPA FVG-RAFGV 2016-2023).

1994-2023 ANDAMENTO TEMPERATURE MEDIE ANNUE



Andamento delle temperature medie annue dal 1994 al 2023 nei cinque siti di misura. Le linee spezzate riproducono l'andamento termico annuale nelle diverse località. Le linee rette puntinate indicano i rispettivi trend.

DAL 1994 A OGGI: SALIAMO IN MONTAGNA E A BORDO DELLA RADIOSONDA

Considerando gli ultimi 30 anni (1994-2023) è possibile aggiungere al confronto anche le temperature medie annue misurate in valle a Enemonzo, sulla vetta del monte Zoncolan e nella libera atmosfera alla quota isobarica di 850 hPa (circa 1500 m di altitudine).

Le temperature negli anni diventano via via più alte: questi andamenti sono ben interpolati da linee di trend crescenti che risultano statisticamente significativi.

I tassi di incremento medi annui, individuati dai trend, variano da 0.033 °C (per Enemonzo, località di fondovalle) a 0.056 °C (per la vetta del Monte Zoncolan). Questi tassi, estesi sui trent'anni, danno degli aumenti medi che variano da 1 °C a 1.7 °C. La variabilità di questi incrementi è dovuta alle caratteristiche dei diversi siti, ma in quota l'aumento appare maggiore e ciò risulta in linea con quanto osservato in altre indagini.

CONCLUDENDO

L'analisi delle serie termiche più lunghe di Udine e Trieste ci racconta di un **incremento importante delle temperature** che diventa più accentuato negli ultimi 30-40 anni.

L'analisi più precisa dei trend negli ultimi 30 anni ci restituisce, in tutti i cinque siti, elevati tassi di incremento della temperatura.

Questi tassi sono in linea con i valori individuati in diverse zone del Mediterraneo e dell'arco alpino.

La **nostra regione** si conferma come zona dove **il riscaldamento climatico risulta più accentuato**.

EVENTI ESTREMI: ALCUNI SEGNALI DI CAMBIAMENTO IN FRIULI VENEZIA GIULIA

L'aumento degli eventi estremi è uno degli effetti più evidenti dei cambiamenti climatici a livello planetario, ma esiste una grande variabilità territoriale nell'incremento di tali fenomeni. Studi condotti da ARPA FVG confermano che durante l'estate in Friuli Venezia Giulia, a fronte di condizioni di instabilità atmosferica sempre più spiccate, non si evidenziano per ora incrementi significativi delle piogge estreme. Si registra invece un aumento delle dimensioni medie dei chicchi di grandine.

Foto: Giuseppe Visalli

Ciò che resterà più impresso della cronaca meteorologica del 2023 in Friuli Venezia Giulia sono le grandinate del 24 e 25 luglio che hanno portato sulla regione chicchi di grandine di eccezionali dimensioni. Tra gli importanti danni si annoverano tetti frantumati, cappotti delle case trivellati, veicoli distrutti, persone ferite ed evacuate dalle proprie abitazioni, ingenti danni alle colture e alberi abbattuti.

Secondo le stime trasmesse dalla Regione Friuli Venezia Giulia al Dipartimento di Protezione Civile i danni dovuti al maltempo registrati tra 12 luglio e il 25 agosto ammontano a 940 milioni di euro pari al 2.4% del PIL Regionale.

Nel 2023, accanto ai danni dei temporali di luglio, ricordiamo anche le piogge estremamente intense che hanno colpito Trieste il 28 agosto (115 mm in tre ore a Sgonico) e i forti venti di libeccio con raffiche che hanno superato i 100 km/h e le conseguenti mareggiate che a inizio novembre hanno provocato molti danni lungo la costa.

EVENTI ESTREMI: IN AUMENTO?

Quelli citati sono tutti eventi estremi cioè fenomeni meteorologici che, relativamente a un certo contesto geografico o stagionale, hanno un tempo di ritorno alto: prima che un evento dello stesso tipo riaccada nello stesso luogo possono intercorrere anche molte decine di anni.

Gli studi mettono in luce come l'aumento della frequenza e/o dell'intensità degli eventi estremi siano uno degli effetti più evidenti dei cambiamenti climatici a livello planetario. Nel contempo gli ultimi rapporti dell'IPCC evidenziano una grande variabilità territoriale di tali incrementi. Per esempio, proprio nell'area a noi più prossima non vi sono evidenze osservative dell'incremento delle piogge estreme, mentre dagli studi effettuati da ARPA FVG emerge che stanno aumentando le condizioni di instabilità atmosferica rilevate tramite i radiosondaggi e anche le dimensioni dei chicchi di grandine, rilevate tramite la rete di rilevamento regionale.

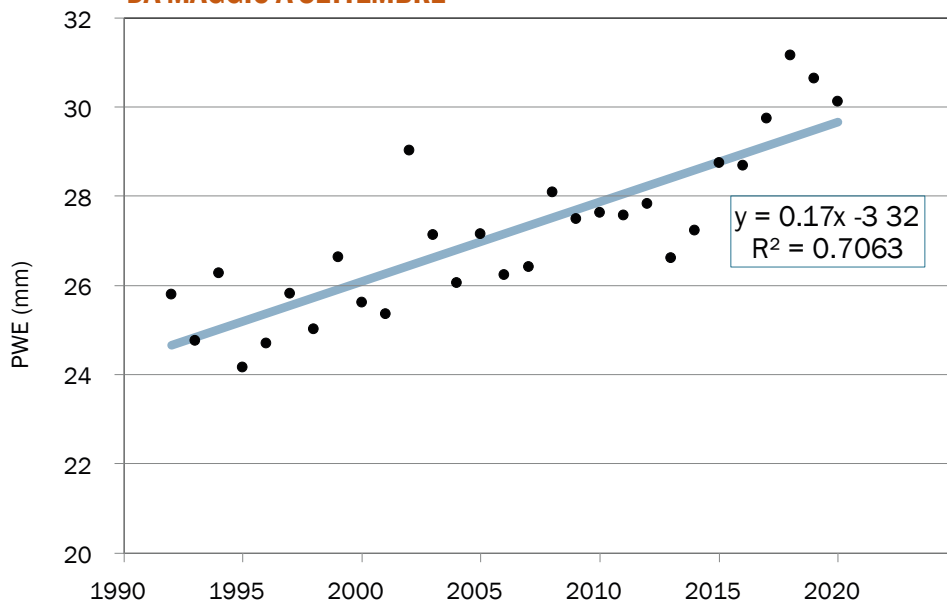
AUMENTA L'INSTABILITÀ ATMOSFERICA

In Friuli Venezia Giulia l'ARPA FVG ha analizzato gli andamenti nel tempo di alcuni parametri dedotti dal **radiosondaggio di Udine** dal 1992 al 2022, con il quale si rilevano le **condizioni dell'atmosfera** tramite i palloni-sonda lanciati quotidianamente dall'Aeronautica Militare.

Questi parametri descrivono alcune caratteristiche della troposfera, quali l'instabilità potenziale o il profilo verticale del contenuto d'acqua, cioè rappresentano le condizioni normalmente **associate al verificarsi di fenomeni meteorologici di forte intensità**. In molti studi vengono quindi utilizzati come proxy (ossia elementi correlati a determinati fenomeni) per temporali o piogge intense o per la grandine.

Queste informazioni sono state confrontate con i dati misurati tra aprile e settembre sul nostro territorio e che caratterizzano i temporali, come il numero di fulmini, la presenza grandine e la pioggia massima puntuale o media areale.

ANDAMENTO DELL'ACQUA PRECIPITABILE MEDIA DA MAGGIO A SETTEMBRE



Valor medio stagionale (da maggio a settembre) di tutti i valori di PWE (Precipitable water equivalent, acqua precipitabile) del radiosondaggio di Udine (0 e 12 UTC). La PWE rappresenta il contenuto di vapor acqueo in atmosfera e di solito viene associata alla capacità di creare pioggia.

COSA SI INTENDE PER “EVENTI ESTREMI”?

Gli eventi meteorologici si possono definire “estremi” in base a due criteri:

In base alla **RARITÀ**: gli eventi estremi sono fenomeni meteorologici che, relativamente a un certo contesto geografico o stagionale, hanno un tempo di ritorno alto: cioè prima che un evento dello stesso tipo riaccada (nello stesso luogo) possono intercorrere anche molte decine di anni.

In base agli **EFFETTI**: con evento meteorologico estremo si intende un fenomeno meteo particolarmente violento e intenso, in grado di determinare gravi danni sia all'ambiente dove si verifica sia alla popolazione.

È stato messo in luce come nel tempo vi sia stato un **aumento significativo degli indici di instabilità atmosferica e del vapor acqueo** contenuto nella troposfera (PWE), ma a questo incremento non corrisponde un aumento - statisticamente significativo - delle piogge intense o del numero di fulmini osservati tra aprile e settembre. Si osserva, invece, un aumento della grandezza dei chicchi di grandine (come vedremo nel prossimo paragrafo)

I dati elaborati fino a oggi per la nostra regione sembrano suggerire che, nonostante le condizioni associate allo sviluppo dei temporali siano più marcate, lo stesso non avvenga per l'innescò necessario a trasformare l'energia potenzialmente disponibile in atmosfera in un evento intenso.

Purtroppo tali studi non escludono che, con l'ulteriore incremento delle temperature, i fenomeni intensi, che per ora sembrano solo episodici, diventino significativamente più rilevanti anche sul nostro territorio.



Foto: Furio Pieri

Danni della grandinata eccezionale del 24 luglio 2023 su un edificio a Mortegliano.



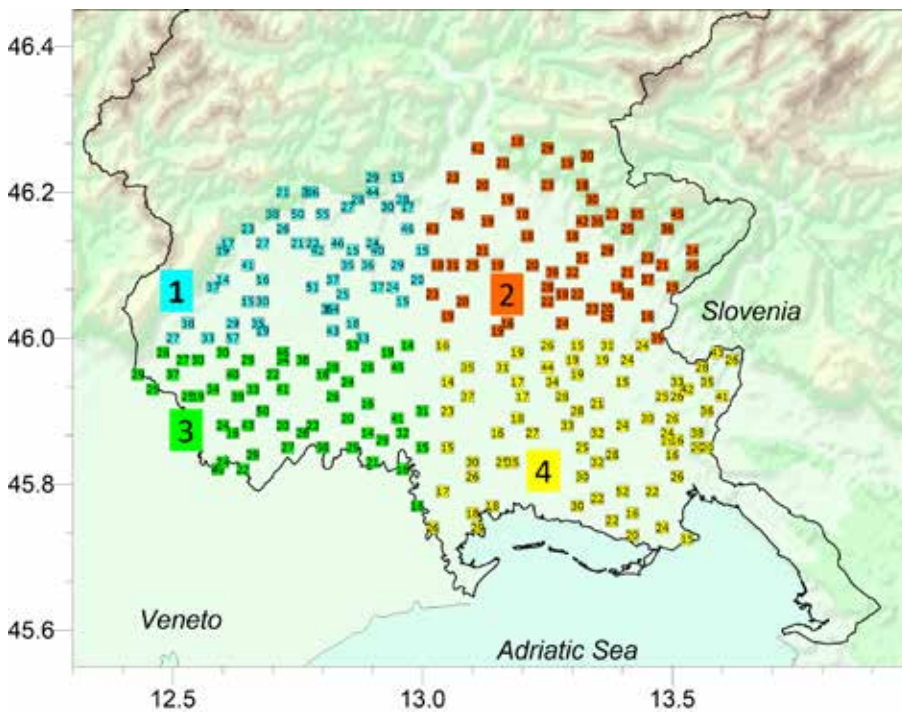
Foto: Federica Flapp

Chicchi di grandine (24 luglio 2023).

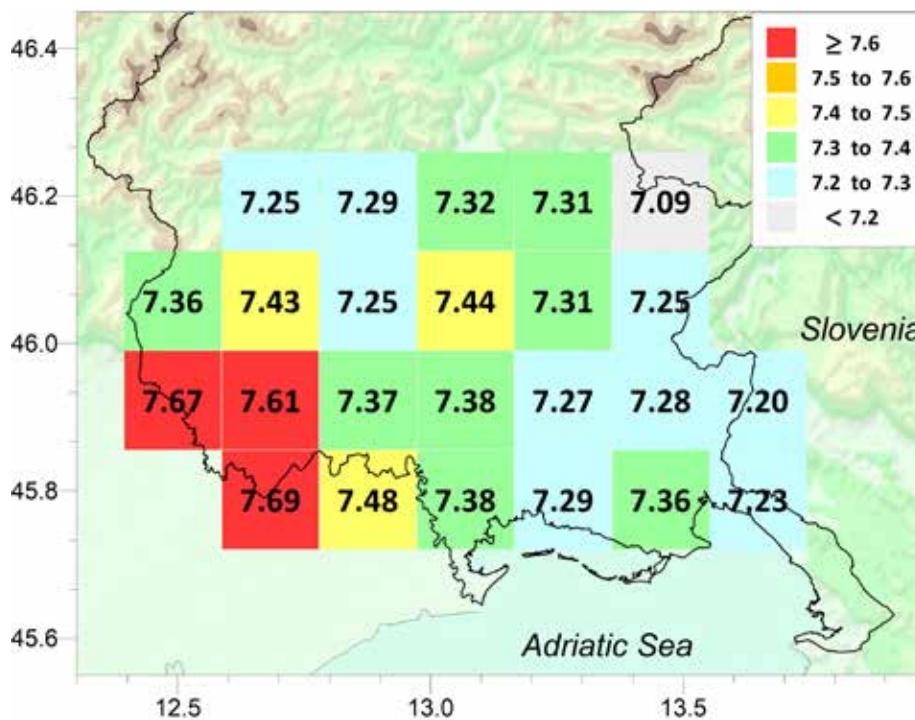
LO STUDIO DELLA GRANDINE IN FVG

Nel 1988 è iniziata un'attività di monitoraggio della grandine sulla pianura del Friuli Venezia Giulia che, se non proprio unica, ha pochi esempi simili nel mondo.

Il progetto derivava direttamente dagli accordi di Osimo del 1975 tra Italia e Jugoslavia ed è stato iniziato sotto la direzione scientifica del dott. Griffith Morgan. L'Ente Regionale per lo Sviluppo dell'Agricoltura (ERSA), attraverso il personale del Centro Servizi Agrometeorologici (CSA) - che oggi è confluito nell'osservatorio meteorologico regionale di ARPA FVG - da allora ha raccolto informazioni sulla grandine tramite una **rete di pannelli ("hailpads") distribuiti sulla pianura regionale**. Tra loro i pannelli hanno una distanza media di 3.5 km e sono gestiti da circa 360 **volontari** (la longevità e l'importanza di questa esperienza è sostanzialmente frutto della buona volontà e della costanza dei volontari, a cui ancora una volta ARPA FVG esprime il proprio ringraziamento).



Mappa dei punti di osservazione della grandine con il numero di pannelli colpiti e validati dal 1988 al 2016 e suddivisi in quattro macro-aree.



Media dei diametri mediani [mm] di tutti i chicchi per pannello per stazione (1988-2016).

Ogni volontario, in una zona ben esposta agli agenti atmosferici della sua proprietà, posiziona su un apposito supporto un *hailpad*, che consiste in un pannello di un polistirolo di densità nota e dipinto di vernice bianca.

L'impatto coi chicchi di grandine crea un'impronta sul pannello. Il compito del collaboratore è scrivere sul retro del pannello la data e l'ora della grandinata e quindi sostituirlo con uno nuovo. Questi pannelli vengono raccolti a fine campagna, inchiostrati e quindi scansionati con un apposito programma che interpola ogni colpo con un'elisse.

Lo studio sistematico dei pannelli colpiti dalla grandine e delle sue dimensioni permette di ricavare notevoli informazioni scientifiche su questo raro fenomeno, come la distribuzione dei diametri osservati e l'energia cinetica associata a ogni chicco. I dati raccolti nel corso degli anni e i conseguenti studi hanno portato alla pubblicazione di diversi articoli scientifici e divulgativi sulla materia, nonché del "Database aggregato di Grandine Giornaliera nella pianura del FVG 1988-2016" disponibile sul sito web tematico di ARPA FVG www.meteo.fvg.it. Da una recente analisi basata su questi dati, sembra che negli anni più recenti le grandinate producano chicchi di dimensioni maggiori.

Andrea Cicogna
Valentina Gallina
ARPA FVG



PIATTAFORMA PROIEZIONI CLIMATICHE PER IL NORD-EST: UNO STRUMENTO PER CONOSCERE E PROGETTARE IL FUTURO DEL FVG

La Piattaforma delle Proiezioni Climatiche per il Nord-Est (PPCNE) è un nuovo strumento accessibile a tutti che permette di conoscere i possibili futuri climatici di ogni località del FVG. Può essere utilizzata da diverse tipologie di utenti e per varie finalità: per approfondire le conoscenze individuali, per sviluppare studi e ricerche, per supportare la pianificazione locale e regionale e la progettazione di interventi in un'ottica di adattamento ai cambiamenti climatici.

Per affrontare il cambiamento climatico in atto è necessario attuare in modo sinergico misure di mitigazione e misure di adattamento.

La **mitigazione** è necessaria per ridurre le emissioni di gas serra a livello globale, con politiche di sviluppo che devono coinvolgere l'intera umanità. Tuttavia è bene sottolineare che anche la consapevolezza e l'azione del singolo individuo possono contribuire concretamente ad avviarsi verso la strada della mitigazione.

Contemporaneamente alla mitigazione risulta essenziale definire e dotarsi di misure di **adattamento**, da attuarsi principalmente a livello locale e regionale, per far fronte agli effetti dei cambiamenti climatici che comunque si stanno già manifestando.

Conoscere i possibili futuri climatici a cui andiamo incontro è fondamentale per entrambe le azioni: la Piattaforma PPCNE risponde a questa esigenza a scala regionale e locale.

SCENARI CLIMATICI

Gli scenari climatici tengono conto di diversi possibili sviluppi demografici, sociali ed economici responsabili delle emissioni di gas climalteranti ossia i “gas serra” che sono la causa principale del riscaldamento globale.

Approcciarsi ai cambiamenti climatici richiede di considerare diversi futuri possibili:



INCLUDERE IL CLIMA FUTURO IN PIANI E PROGETTI

Un'efficace misura di adattamento è senz'altro quella di **includere il cambiamento climatico nella progettazione**, prevedendo come le opere di nuova ideazione possano far fronte agli impatti dei cambiamenti climatici o come poter ristrutturare le opere già esistenti alla luce di un nuovo clima.

Quindi accanto alle specificità progettuali di ogni opera che deve tener conto della destinazione

d'uso e delle peculiarità territoriali e ambientali in cui è inserita, anche il clima che cambia diventa un elemento da valutare. Bisogna considerare se l'opera sarà adatta alle condizioni climatiche future o anche se l'opera potrà eventualmente aggravare gli impatti dei cambiamenti climatici. Lo stesso principio vale anche per la **redazione di piani e programmi** con cui gli enti competenti orientano e disegnano il futuro del territorio e dei diversi settori economici, a scala regionale o locale.

LA PIATTAFORMA PPCNE

Uno strumento utile per la conoscenza dei cambiamenti climatici in FVG nel futuro è la [Piattaforma Proiezioni Climatiche per il Nord-Est](#) (PPCNE, clima.arpa.veneto.it), che fornisce proiezioni ad alta risoluzione per il nostro territorio.

La Piattaforma PPCNE 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 undici **indicatori climatici**, calcolati per 3 possibili scenari climatici futuri.

Per i diversi scenari 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.

La Piattaforma PPCNE 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.

Un utilizzo immediato e molto utile della Piattaforma è quello 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.

Vediamo alcuni esempi di come la Piattaforma possa fornire informazioni interessanti per diversi utenti e finalità.


INDICATORI CLIMATICI [Piattaforma PPCNE](#)

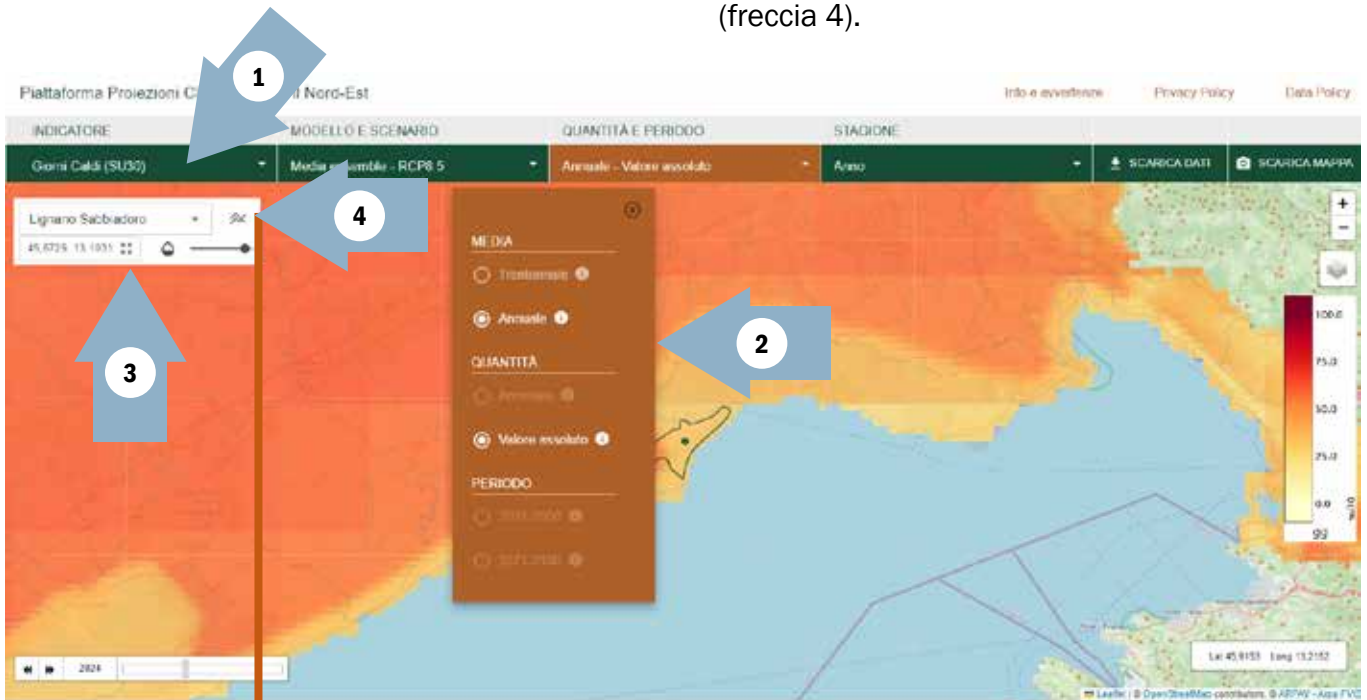
INDICATORE	DESCRIZIONE
Temperatura media (TAS)	Temperatura media giornaliera dell'aria vicino al suolo
Temperatura minima (TASMIN)	Temperatura minima giornaliera dell'aria vicino al suolo
Temperatura massima (TASMAX)	Temperatura massima giornaliera dell'aria vicino al suolo
Notti tropicali (TR)	Numero di notti con temperatura minima maggiore di 20 °C
Giorni caldi (SU30)	Numero di giorni con temperatura massima maggiore di 30 °C
Giorni di gelo (FD)	Numero di giorni con temperatura minima minore di 0 °C
Durata delle ondate di calore (HWDI)	Numero di giorni con temperatura massima maggiore di 5 °C rispetto alla media per almeno 5 giorni consecutivi
Precipitazione (PR)	Precipitazione giornaliera vicino al suolo
Precipitazione estrema (R95pTOT)	Precipitazione totale cumulata al di sopra del 95° percentile del periodo di riferimento
Giorni secchi (CDD)	Numero massimo di giorni consecutivi asciutti (precipitazione giornaliera inferiore a 1 mm)
Giorni con neve nuova (SNWDAYS)	Numero di giorni con temperatura media minore di 2 °C e precipitazione giornaliera maggiore di 1 mm


CITTADINI E TURISTI: I GIORNI CALDI LUNGO LA COSTA

Vediamo come potrebbe cambiare in futuro il numero di giorni caldi (giorni in cui la temperatura massima è superiore ai 30 °C e quindi si inizia a provare fastidio per il caldo) in una località di mare, prendendo come esempio il comune di Lignano Sabbiadoro.

In questo caso dopo aver selezionato l'indicatore "giorni caldi" (freccia 1) è necessario aprire il menù "QUANTITÀ E PERIODO", quindi selezionare nel sotto-menu "MEDIA" la voce "Annuale" e automaticamente verrà evidenziato nelle "QUANTITÀ" il "Valore assoluto" (freccia 2).

Una volta selezionato il comune di Lignano Sabbiadoro (freccia 3), al suo fianco apparirà l'icona  da cliccare per visualizzare il grafico (freccia 4).



**cliccando
l'icona 
nella schermata
precedente
si visualizza
il grafico**

Schermata della PPCNE con la selezione dell'indicatore "Giorni Caldi" (freccia 1, giorni con temperatura massima superiore ai 30 °C), nel menu "MEDIA" la selezione "Annuale" e automaticamente in "QUANTITÀ" il "Valore assoluto" (freccia 2). In questa elaborazione è stato selezionato il comune di Lignano Sabbiadoro (freccia 3); in mappa il punto identifica il centroide del comune (cioè il punto centrale dell'area comunale). Cliccando sull'icona a destra del comune (freccia 4) si può visualizzare il grafico con gli andamenti al 2100 dell'indicatore selezionato per i tre scenari presenti sulla Piattaforma.

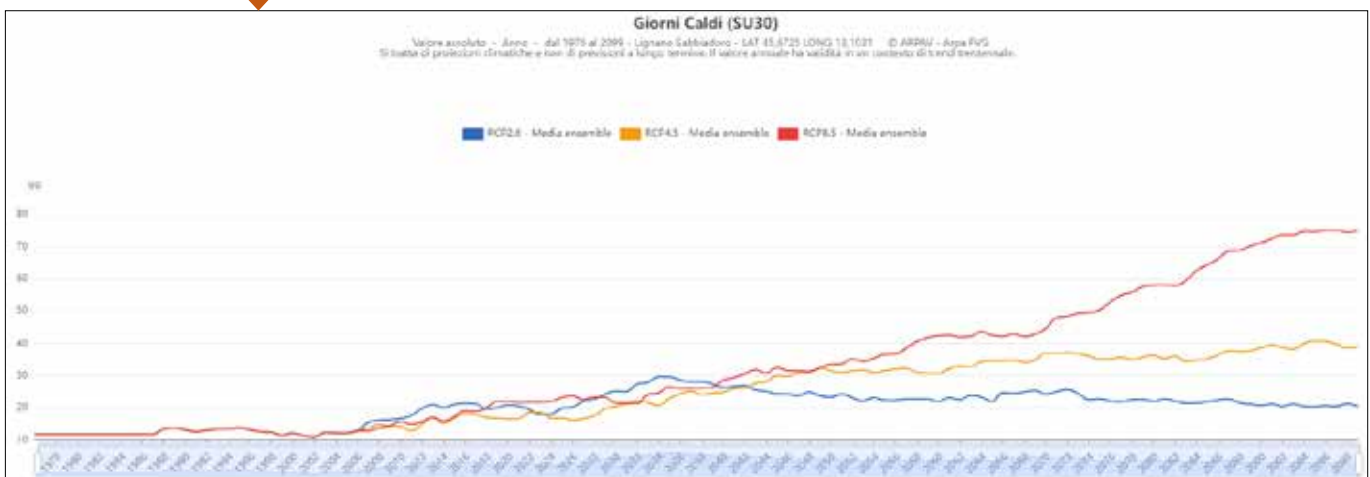


Grafico dell'andamento dal 1976 al 2100 del numero di Giorni Caldi (giorni con temperatura massima superiore ai 30 °C) per il centroide di Lignano Sabbiadoro nei tre diversi scenari: scenario a emissioni crescenti (RCP8.5, linea rossa), scenario intermedio (RCP4.5, linea arancione), scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP2.6, linea blu). Il periodo 1976 - 2005 è il periodo storico di riferimento ed è rappresentato da un'unica linea.

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 il numero di giorni caldi aumenterà di 10 giorni** rispetto al passato (periodo 1976-2005) ma **sarà molto simile 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 **il numero di giorni caldi aumenterà** in modo considerevole: si passerà dai circa 10-20 giorni caldi attuali ai quasi 80 a fine secolo.

La linea arancione rappresenta lo scenario RCP4.5, uno scenario intermedio tra i due sopra citati.

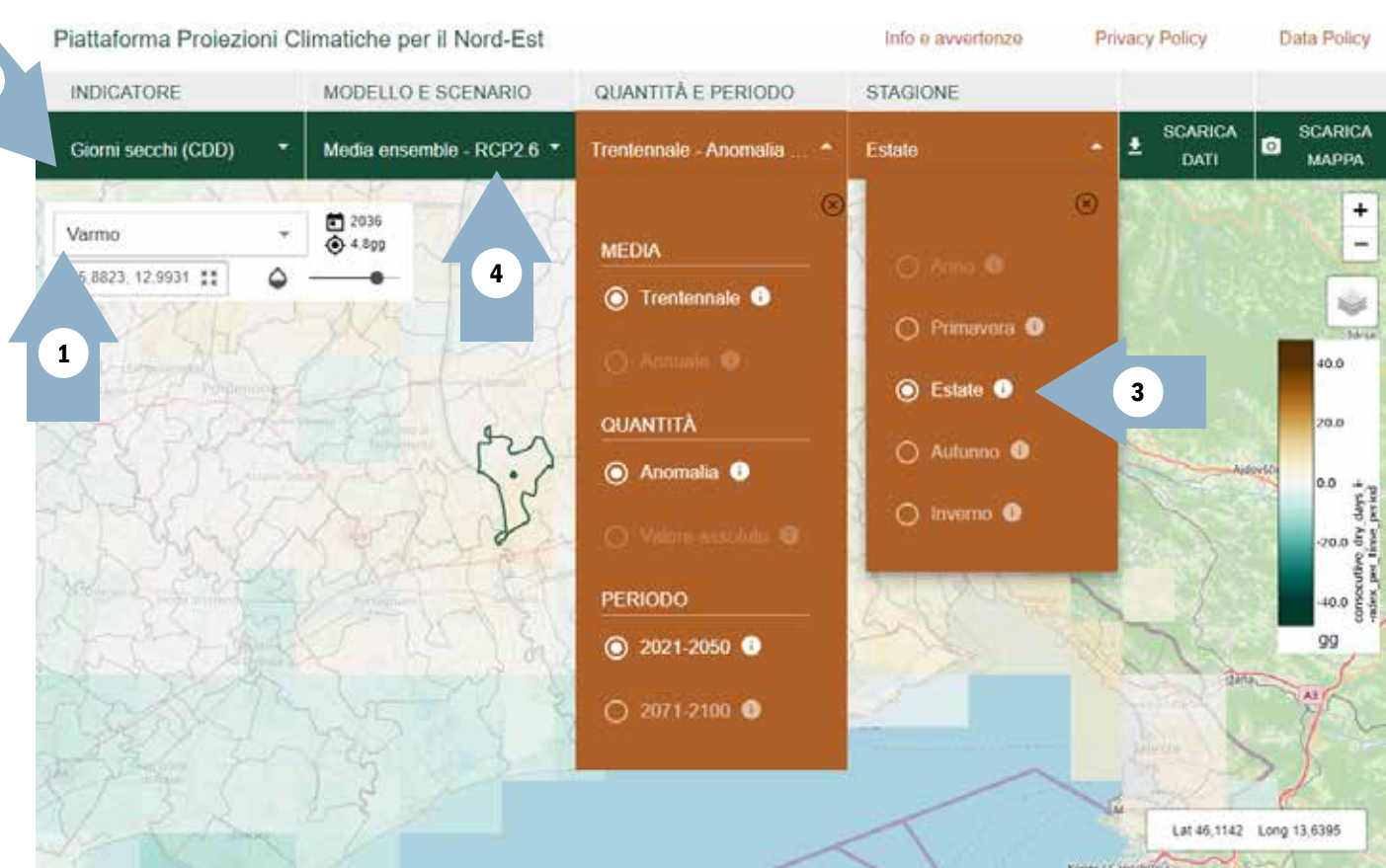
Quello che emerge osservando questo grafico è quanto sia importante ricorrere a delle azioni di mitigazione immediate in modo da limitare il più possibile delle modifiche del clima (in questo caso un aumento delle giornate calde) che potrebbero essere anche irreversibili.

AGRICOLTURA: GIORNI SECCHI

Un'altra utilità della Piattaforma riguarda l'utilizzo delle proiezioni climatiche ad alta risoluzione per il settore dell'agricoltura.

Prendiamo ad esempio il comune di Varmo (freccia 1) e vediamo come in estate potrebbe cambiare il **numero di Giorni Secchi** (giorni con precipitazioni inferiori a 1 mm, freccia 2) considerando **l'anomalia** rispetto al periodo di riferimento (1976-2005), cioè la differenza tra un periodo futuro considerato (2021-2050 o 2071-2100) e il periodo storico di riferimento.

Per fare ciò è possibile visualizzare l'indicatore direttamente sulla Piattaforma attraverso delle mappe, selezionando la stagione di interesse (in questo caso "estate", freccia 3). Tramite il menù "MODELLO E SCENARIO", nel sotto-menù "SCENARIO" possiamo **passare da uno scenario all'altro** e comparare, ad esempio, lo scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP2.6) e lo scenario "business as usual" (RCP8.5) (freccia 4).



Schermata della PPCNE con la selezione del comune di Varmo (freccia 1), dell'indicatore "Giorni Secchi" (freccia 2, giorni con precipitazioni inferiori a 1 mm). La "MEDIA" selezionata è "Trentennale" e la "QUANTITÀ" è "Anomalia". In questa elaborazione è stata selezionata la "STAGIONE" "estate" (freccia 3). Su menu "MODELLO E SCENARIO" è possibile selezionare diversi scenari per compararli tra di loro.

Accanto al comune selezionato (Varmo, nel nostro esempio) la Piattaforma indica l'anomalia dei giorni secchi per il trentennio futuro selezionato rispetto al periodo di riferimento.

Questo confronto permette di visualizzare la differenza tra un futuro vicino (2021-2050) e uno lontano (2071-2100) e tra due scenari diversi.

In questo caso specifico si può osservare che d'estate per lo scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP2.6) nel futuro vicino i giorni secchi aumenteranno di circa 5 giorni rispetto al periodo di

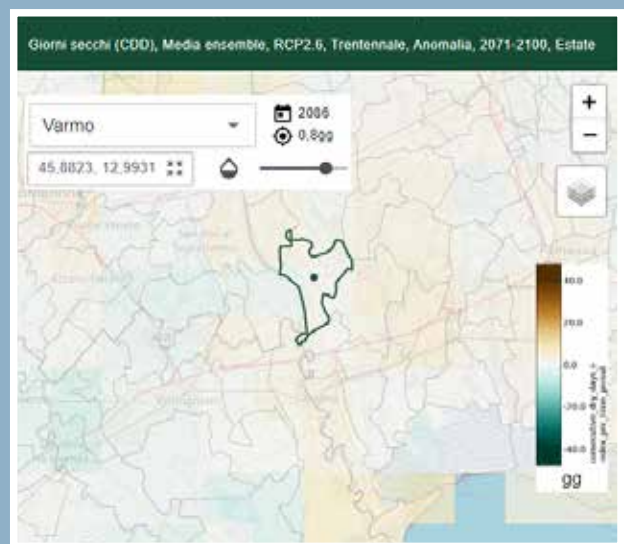
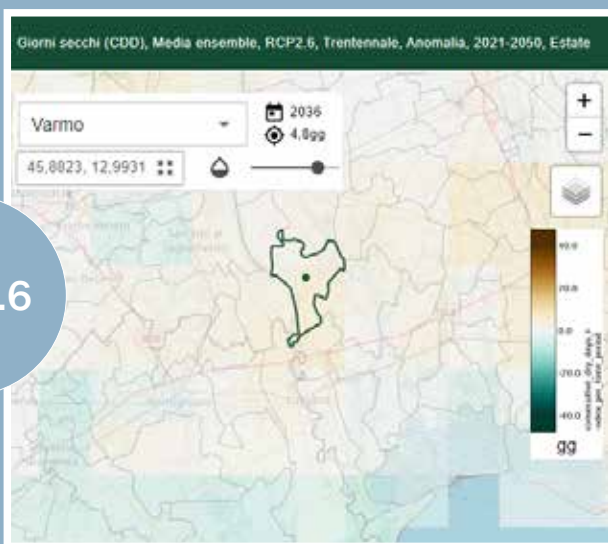
riferimento, mentre per il trentennio di fine secolo i giorni secchi saranno circa 1 in più.

La differenza maggiore si osserva per lo scenario a emissioni crescenti (RCP8.5): si passerà da circa 1.5 giorni secchi in più nel futuro vicino a circa 11 giorni secchi in più per il futuro più lontano.

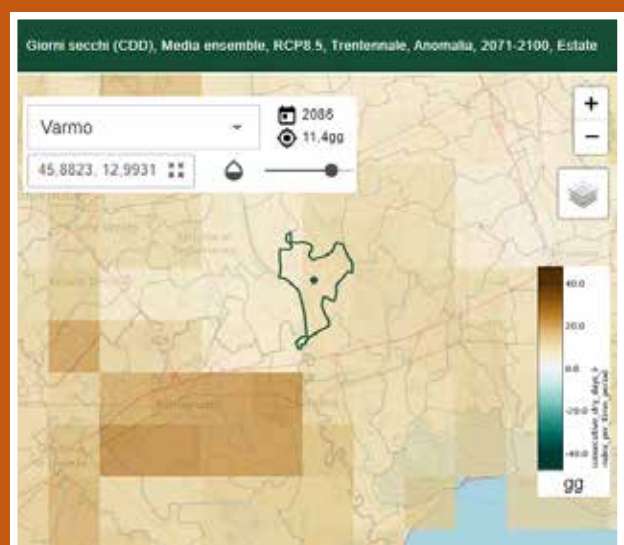
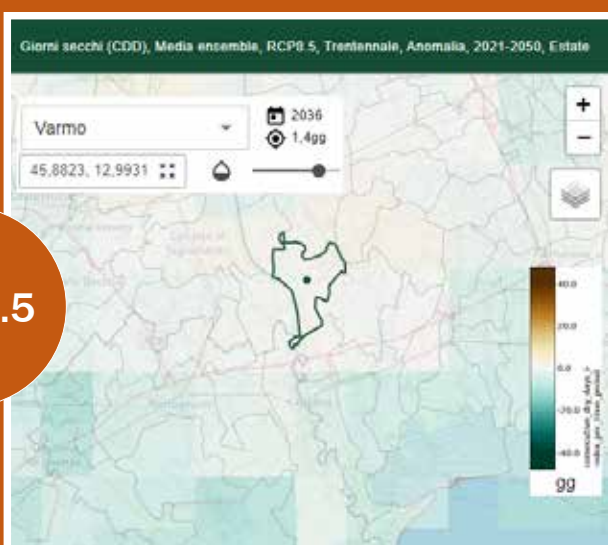
Queste mappe consentono in primo luogo di visualizzare le differenze che possono creare le nostre scelte emissive odierne nel futuro e possono essere utili per pianificare un'agricoltura resiliente ai cambiamenti climatici in Friuli Venezia Giulia.

2021-2050 vs 1976-2005

2071-2100 vs 1976-2005



RCP2.6



RCP8.5

Mappe che rappresentano l'anomalia dei giorni secchi (giorni con precipitazioni inferiori a 1 mm) per lo scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP2.6, riga sopra) e per emissioni crescenti (RCP8.5, riga sotto), per il futuro più vicino (colonna a sinistra) e per quello più lontano (colonna a destra). Nel box bianco accanto al comune di Varmo si può leggere, per il centroide (cioè il punto centrale dell'area comunale), quale sia l'anomalia. N.B. l'anno evidenziato nel box bianco è rappresentativo di tutto il trentennio futuro selezionato (2036 significa 2021-2050, 2086 significa 2071-2100).


TURISMO INVERNALE: GIORNI CON NEVE FRESCA

La Piattaforma fornisce anche informazioni utili per il settore del turismo invernale selezionando come indicatore “Giorni con neve nuova” (giorni con precipitazioni superiori a 1 mm e temperatura inferiore a 2 °C, freccia 1).

In questo caso, prendendo come esempio il comprensorio di Piancavallo, è possibile selezionare il punto preciso in cui è situato il comprensorio (freccia 2) cliccando direttamente sulla mappa. Infatti, se selezionassimo “Aviano” (in cui è compreso Piancavallo) dall’elenco dei comuni otterremmo il suo centroide e avremmo quindi un dato che

rappresenta una località della prima pedemontana e che non rispetta le caratteristiche montane del comprensorio.

Nel menù “QUANTITÀ E PERIODO”, selezioniamo nel sotto-menu “MEDIA” la voce “Annuale” e automaticamente verrà evidenziato nelle “QUANTITÀ” il “Valore assoluto” (freccia 3).

Una volta selezionato il punto di Piancavallo, nel box bianco apparirà il comune di appartenenza (Aviano): al suo fianco apparirà l'icona  da cliccare per visualizzare il grafico (freccia 4).



Schermata della PPCNE con la selezione dell’indicatore “Giorni con neve nuova” (freccia 1, giorni con precipitazioni superiori a 1 mm e temperatura inferiore a 2 °C), nel menu “MEDIA” la selezione “Annuale” e automaticamente in “QUANTITÀ” il “Valore assoluto” (freccia 3). In questa elaborazione è stato selezionato sulla mappa il punto del comprensorio sciistico di Piancavallo (freccia 2). Nel box bianco, cliccando sull’icona a destra del comune a cui appartiene il comprensorio di Piancavallo (freccia 4) si può visualizzare il grafico con gli andamenti al 2100 dell’indicatore selezionato per i tre scenari presenti sulla Piattaforma.

cliccando
l'icona 
nella schermata
precedente
si visualizza
il grafico

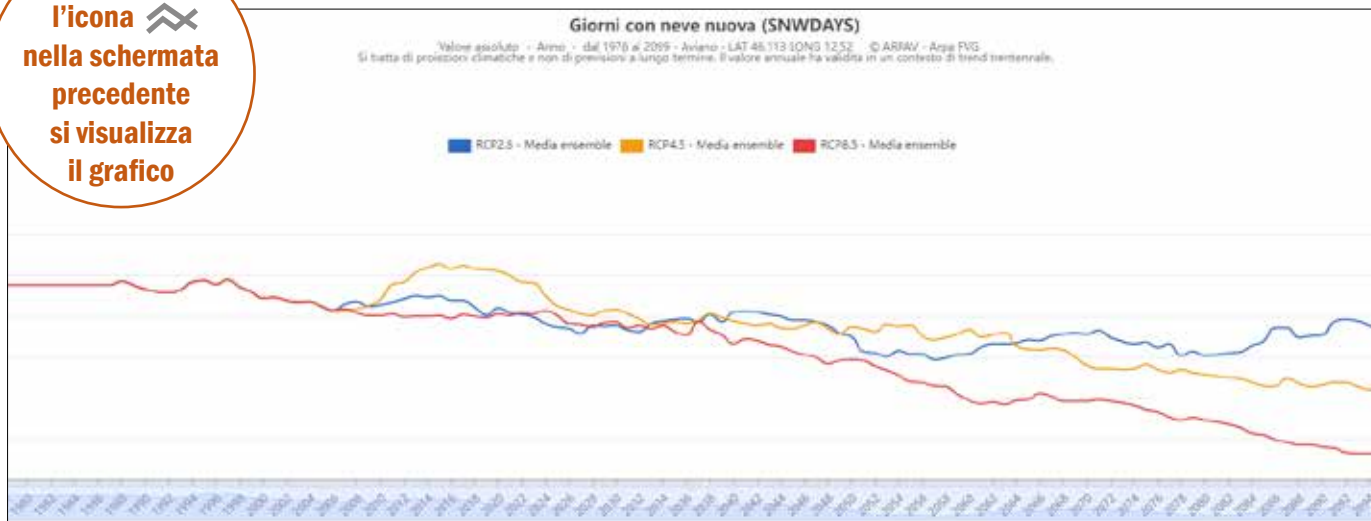


Grafico dell'andamento dal 1976 al 2100 del numero di Giorni con neve nuova (giorni con precipitazioni superiori a 1 mm e temperatura inferiore a 2 °C) per il comprensorio sciistico di Piancavallo (comune di Aviano) nei tre diversi scenari: scenario a emissioni crescenti (RCP8.5, linea rossa), scenario 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.

Il grafico fa emergere come la mitigazione spinta che si otterrebbe seguendo l'Accordo di Parigi (linea blu, scenario RCP2.6) permetterebbe di limitare in futuro la diminuzione di giorni con neve nuova rispetto a oggi. Invece lo scenario con emissioni crescenti (linea rossa, scenario RCP8.5) vedrebbe una diminuzione dei giorni con neve

nuova che a fine secolo sarebbero poco più di 5 in un intero anno. La linea arancione rappresenta lo scenario RCP4.5, uno scenario intermedio tra i due sopra citati.

Valentina Gallina
ARPA FVG



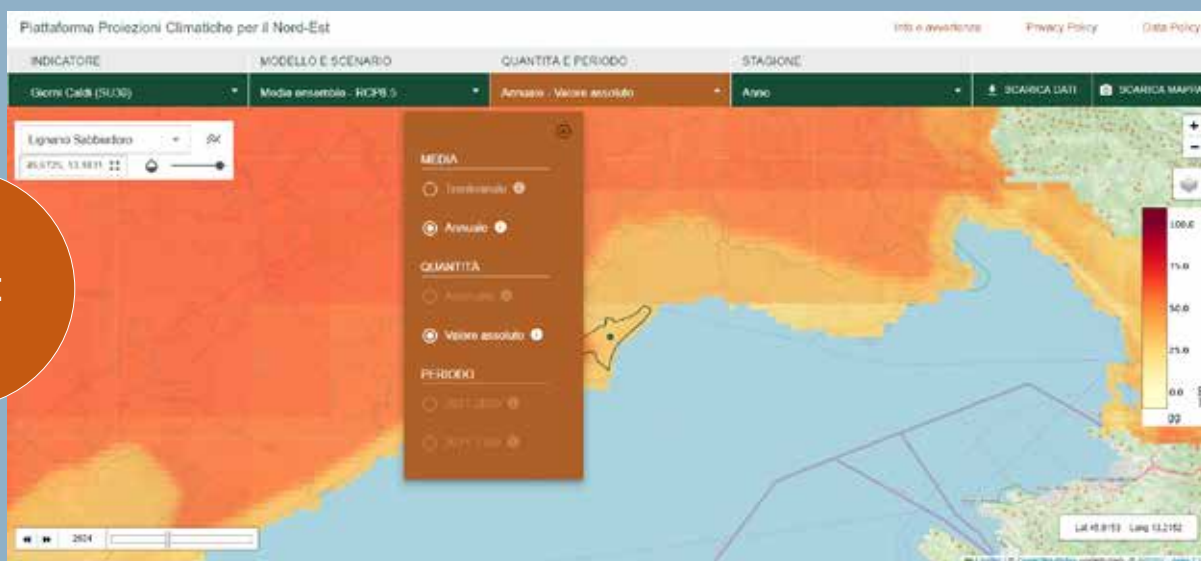
INFO & AVVERTENZE

I dati presentati derivano da proiezioni climatiche e non da previsioni a lungo termine. Pertanto, il valore annuale (o stagionale) non va considerato come una previsione (ad es non ha alcun significato vedere quale sarà la temperatura media nell'estate del 2047), ma esclusivamente come elemento di un andamento sul lungo periodo.

- Si consiglia di utilizzare sempre la media di ensemble che può essere considerata come la proiezione futura più probabile (ed è l'opzione che appare selezionata in automatico nel menù "MODELLO E SCENARIO").
- Il 1976 – 2005 è considerato il trentennio storico di riferimento, uguale per tutti gli scenari. Nei grafici questo periodo è rappresentato da un'unica linea.
- Tutti i dati, i grafici e le mappe possono essere liberamente scaricati e utilizzati, citando la fonte e nel rispetto della Data Policy della Piattaforma.
- Per un migliore utilizzo della Piattaforma PPCNE si consiglia di leggere le informazioni ai seguenti link:
<https://clima.arpa.veneto.it/info>;
https://clima.arpa.veneto.it/PPCNE_approfondimento.pdf
- Il manuale d'uso è consultabile al seguente link:
<https://github.com/venetoarpa/Arpav-PPCV-backend/wiki/Manuale-utente>

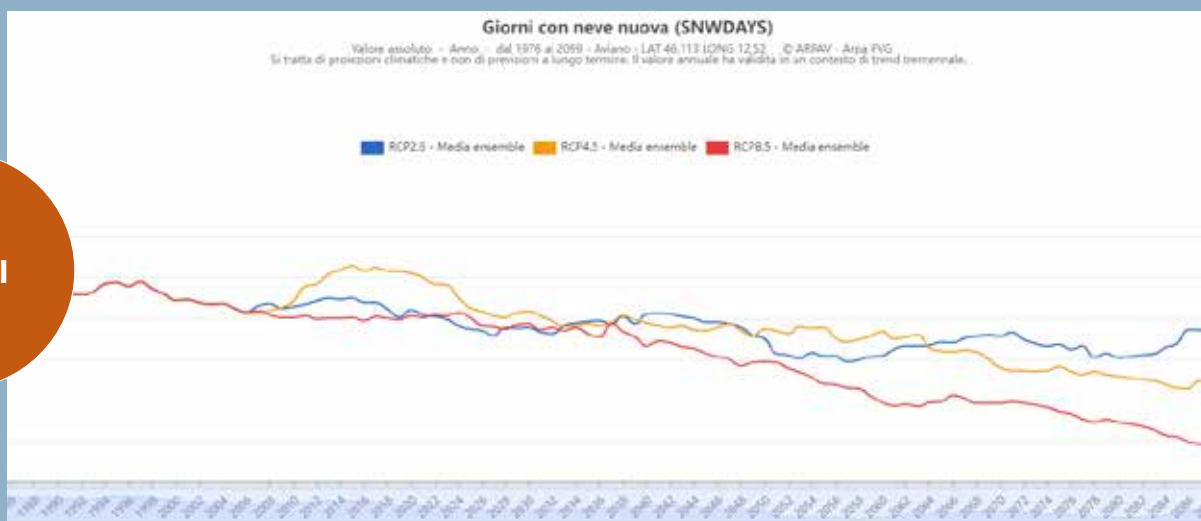
GLI STRATI INFORMATIVI DELLA PIATTAFORMA PPCNE

MAPPE



- le mappe sono consultabili direttamente sulla piattaforma;
- selezionando la grandezza da indagare appare automaticamente la rappresentazione in mappa;
- cliccando su un punto della mappa o digitando il nome del comune (centroide, cioè il punto centrale dell'area comunale) apparirà il valore della grandezza rappresentata su quel punto;
- permettono di ottenere una visualizzazione areale di come sarà il futuro;
- la mappa può essere scaricata in formato immagine tramite l'apposita icona.

GRAFICI



- i grafici sono consultabili sulla piattaforma selezionando MEDIA ANNUALE;
- è necessario cliccare su un punto della mappa o digitare il nome del comune (centroide, cioè il punto centrale dell'area comunale);
- permettono di visualizzare l'andamento di un indicatore su un punto per i 3 scenari (RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5);
- è possibile scaricare i dati del grafico in formato csv;
- il grafico può essere scaricato in formato immagine tramite l'apposita icona.

netCDF
per un utilizzo
tecnico-
scientifico

dati di riepilogo

selezione dominio spaziale

dati di riepilogo

SCARICA NETCDF

- sono file binari auto-descrittivi (includono informazioni sui dati che contengono);
- sono divisi in una parte iniziale (header) con le informazioni che descrivono il dato e di un “corpo” dove viene immagazzinato il dato vero e proprio (dati grigliati che evolvono nel tempo);
- la scadenza temporale è trentennale o annuale (a seconda della «quantità» selezionata);
- possono essere letti ed elaborati su QGIS o altri strumenti adatti;
- permettono di elaborare successive analisi sul clima futuro (ad esempio: per includere i cambiamenti climatici nella progettazione).

I PROCESSI DI “FEEDBACK” CHE AMPLIFICANO IL RISCALDAMENTO GLOBALE

Foto: Christel da Pixabay

Esistono nel sistema climatico terrestre dei processi chiamati processi di retroazione (o *feedback*), che, autoalimentandosi, possono amplificare (*feedback* positivo) o indebolire (*feedback* negativo) il riscaldamento globale dovuto all'effetto radiativo dei gas serra. La maggior parte di questi processi tende ad amplificare il riscaldamento globale, e infatti il contributo di questi *feedback* al riscaldamento globale è dello stesso ordine di grandezza del contributo dell'effetto radiativo dei gas serra.

FEEDBACK DEL VAPOR D'ACQUA

Il principale processo di *feedback* positivo viene chiamato “*feedback* del vapor d'acqua”. **Un'atmosfera più calda può contenere più vapor d'acqua** a causa della legge di Clausius-Clapeyron e a causa della maggiore evaporazione dagli oceani. Il vapor d'acqua, però, è **esso stesso un gas serra**, quindi questo aumenta il riscaldamento, aumentando ulteriormente la quantità di vapor d'acqua in atmosfera e così via, in un ciclo che si autoalimenta e amplifica il riscaldamento globale.

FEEDBACK DEL GHIACCIO

Un secondo processo di *feedback* positivo, particolarmente importante nelle zone polari e in quelle montuose, è il *feedback* del ghiaccio. Il ghiaccio e la neve hanno una **riflettività molto alta** della luce solare, oltre l'80%. Se con l'aumento delle temperature la neve e il ghiaccio **fondono**, lasciando dietro una **superficie più scura**, e quindi meno riflettente, la superficie stessa **aumenterà l'assorbimento di luce solare**, riscaldandosi, fondendo più ghiaccio, liberando più superficie relativamente scura e così via, in un processo di *feedback* che amplifica il riscaldamento. È a causa di questo meccanismo che il riscaldamento nelle zone polari, in particolare l'Artico, e in quelle montuose è molto maggiore della media globale.

FEEDBACK DEL CICLO DEL CARBONIO

Un altro *feedback* positivo è quello del ciclo del carbonio. Questo ha due aspetti.

Da un lato, temperature maggiori tendono ad **umentare l'attività microbica del suolo**, che causa maggiori emissioni di anidride carbonica e metano, i principali gas serra, intensificando così il riscaldamento.

Il secondo aspetto è legato al permafrost, uno strato di suolo con temperature minori di 0 °C, che si trova soprattutto nelle zone settentrionali di Asia, Nord America ed Europa. Questo strato contiene grandi quantità di anidride carbonica e specialmente metano incapsulate nel terreno ghiacciato. Il **permafrost scongela** a causa di una emissione di questi gas, che quindi riscalda l'atmosfera, fonde ulteriormente il permafrost e così via, innescando un *feedback* positivo.

FEEDBACK DELLE NUBI

Infine troviamo il feedback delle nubi, che può essere **positivo o negativo**, a seconda della distribuzione verticale e delle caratteristiche delle nubi stesse.

Le nubi sono degli **schermi serra** praticamente perfetti, cioè assorbono tutta la radiazione infrarossa che li colpisce, e in questo modo, rimettendone una parte verso la superficie, riscaldano la bassa l'atmosfera. Le nubi però **sono anche potenti riflettori** della luce solare e in questo modo tendono a raffreddare l'atmosfera.

Il riscaldamento globale, modificando la struttura dinamica e termodinamica dell'atmosfera, può modificare la distribuzione delle nubi, e questo può contribuire ad amplificare o indebolire il riscaldamento globale a seconda di quale modifica delle caratteristiche delle nubi prevale.

Nubi alte e sottili sono efficaci nel trattenere la radiazione infrarossa emessa dal suolo, ma essendo relativamente fredde emettono poca radiazione infrarossa verso lo spazio (più un corpo è caldo più emette radiazione infrarossa). Al tempo stesso queste nubi sono relativamente trasparenti alla luce solare, cioè ne riflettono una piccola frazione. Quindi un aumento di nubi alte e sottili tende ad **amplificare il riscaldamento globale**.

Viceversa, **cumuli e cumulonembi** sono molto efficienti nell'assorbire e riflettere la luce solare, ed essendo relativamente basse, sono più calde e quindi più efficienti nell'emettere radiazione infrarossa verso lo spazio. Quindi un aumento di questo tipo di nubi tende a raffreddare l'atmosfera.

A oggi non è chiaro quale di questi due effetti prevale, e cioè se il *feedback* delle nubi sia prevalentemente positivo o negativo.

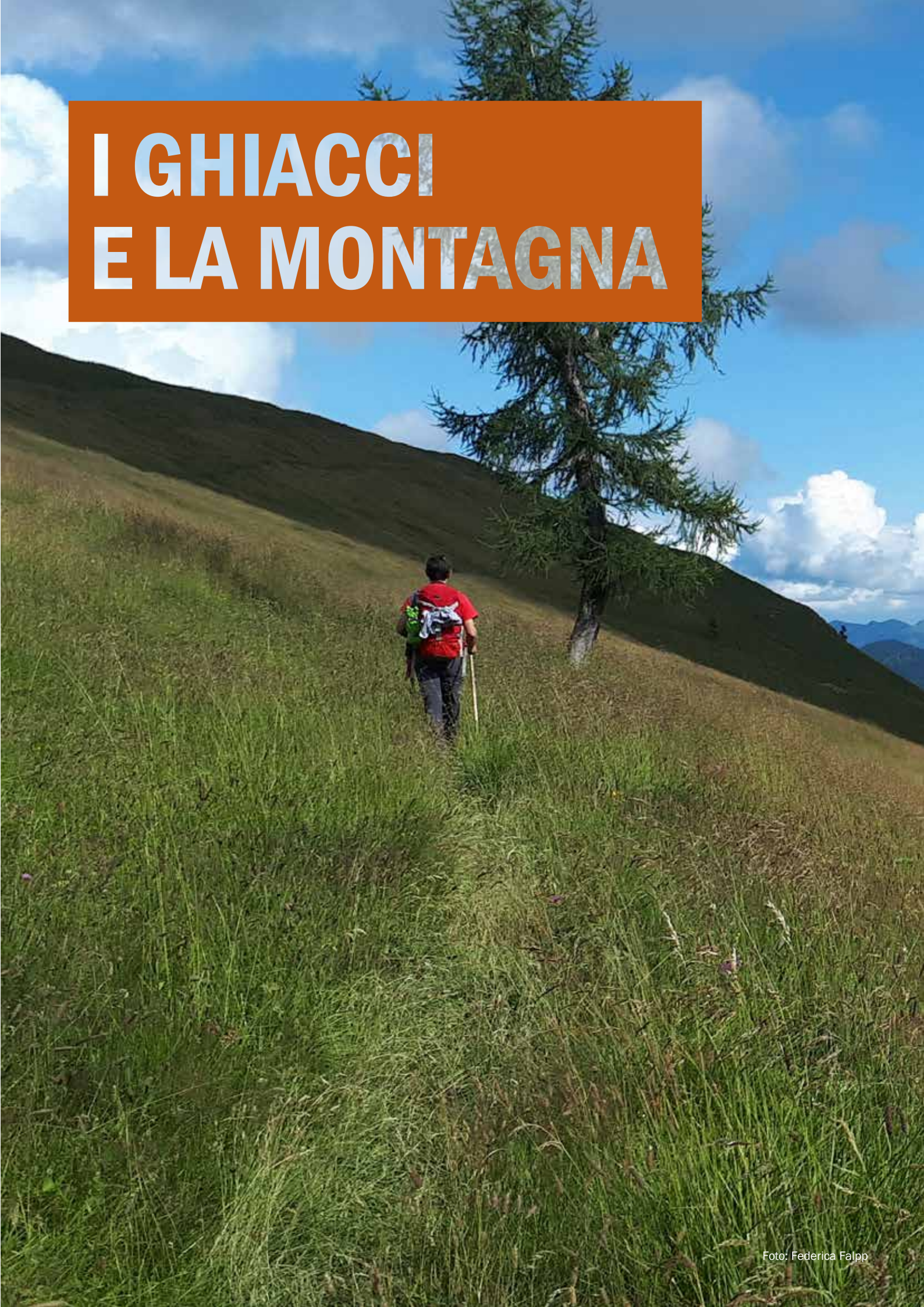
Filippo Giorgi

ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica

Permafrost lungo la costa dell'Alaska.



I GHIACCI E LA MONTAGNA



I GHIACCI E LA MONTAGNA

I cambiamenti dell'ambiente, gli effetti sulle comunità, le opportunità per il futuro

La montagna è un contesto particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici. Essi hanno effetti diretti sull'ambiente naturale e sulle attività dell'uomo, che possono però essere ripensate cogliendo nuove opportunità per uno sviluppo sostenibile e desiderabile per le comunità locali. Ci accompagna nell'avvicinamento a questi temi l'articolo introduttivo che Maurizio Fermeglia aveva preparato per Segnali dal clima in FVG 2024, con la competenza, l'impegno e la passione per la divulgazione che gli erano propri.

Maurizio Fermeglia

In un mondo in continua evoluzione, poche persone sono riuscite a incarnare con tale profondità la bellezza e la fragilità della natura come Maurizio. Alpinista accademico del Club Alpino Italiano, istruttore di sci alpinismo e capo per oltre un decennio della stazione del Soccorso Alpino e Speleologico di Trieste, Maurizio è stato un vero e proprio punto di riferimento per chiunque abbia frequentato, amato e rispettato la montagna.

La sua passione per l'ambiente alpino è stata costantemente alimentata da un amore incondizionato per le cime innevate e le vie più impervie. Ogni scalata, ogni passo da lui compiuto è stato testimone di una devozione sincera e di un impegno instancabile nel comprendere e rispettare le leggi della natura che regolano questo fragile habitat. Le sue imprese alpinistiche non hanno rappresentato solamente prove di coraggio, tecnica e resistenza, ma anche atti di profonda contemplazione e rispetto per l'ambiente.

Maurizio, però, non si è limitato a conquistare vette tra le più alte del mondo. Come scienziato di fama internazionale ha sempre condiviso con generosità il suo vasto bagaglio di conoscenze. I suoi contributi scientifici sui cambiamenti climatici sono infatti documenti importanti per comprendere le trasformazioni che minacciano i nostri ecosistemi montani. Con una chiarezza e una precisione ineguagliabili, Maurizio ci ha guidati attraverso i complessi intrecci tra natura e clima, svelando i segreti di un mondo in pericolo.


Convinto difensore dell'ambiente e Consigliere Regionale del WWF, Maurizio si è distinto non

solo per il suo sapere, ma per il suo impegno attivo nella protezione delle nostre preziose risorse naturali. Le sue battaglie per la sostenibilità e la conservazione della biodiversità e dei differenti habitat sono state e saranno ancora in futuro fonte di ispirazione non solo per generazioni di alpinisti e ambientalisti ma anche per tutta la società civile. La sua narrazione appassionata, condita sempre con un pizzico di ironia, ha sempre risuonato come un invito all'azione per preservare ciò che abbiamo di più caro.

Maurizio è stato un uomo di straordinaria abnegazione nel suo ruolo di docente universitario, instancabile e amatissimo dai suoi studenti. La sua bontà e generosità si riflettevano non solo nel suo impegno Accademico ma anche nella profonda cura e attenzione verso la sua famiglia. Con un cuore grande, Maurizio è sempre riuscito a bilanciare con armonia il rigore dell'insegnamento e la passione per la conoscenza, il rispetto profondo per la sua Istituzione – l'Università degli Studi di Trieste, della quale è stato Rettore dal 2013 al 2019 – e l'amore e il sostegno incondizionato per i suoi cari, dimostrando quotidianamente come il vero successo risieda nell'equilibrio tra il servizio alla comunità e la dedizione agli affetti più profondi.

Il percorso di Maurizio è stato un viaggio che deve invitare tutti noi a riflettere sull'importanza del nostro ruolo, per piccolo che sia, nel proteggere l'ambiente in cui viviamo perché, come ripeteva spesso, "Non abbiamo un pianeta B".

Sabrina Pricl



LA MONTAGNA E I CAMBIAMENTI CLIMATICI: UN EQUILIBRIO FRAGILE IN UN AMBIENTE VULNERABILE

Gli effetti dei cambiamenti climatici sono particolarmente evidenti in montagna, un ambiente molto vulnerabile dove anche “piccoli” aumenti di temperatura hanno effetti amplificati e possono compromettere i delicati equilibri che ruotano intorno ai 0 °C. Le conseguenze sono rilevanti, dalla fusione dei ghiacciai e del permafrost agli impatti sugli ecosistemi e sulle attività montane. Importanti cambiamenti sono già oggi percepiti dai frequentatori della montagna: escursionisti, alpinisti, sciatori e scialpinisti.

Foto: Alberto Villani

Il recente rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC parla chiaro: le attività umane sono responsabili del riscaldamento globale a cui stiamo assistendo. Le ragioni principali sono l'utilizzo di combustibili fossili, la deforestazione, e l'uso di allevamenti intensivi. L'IPCC rilancia l'allarme sulle conseguenze del riscaldamento globale, sottolinea l'attuale impreparazione a fronteggiare le minacce alla biosfera e alla nostra civiltà e raccomanda alle autorità politiche di tutto il mondo di intervenire per cercare di evitare che gli effetti del riscaldamento globale diventino ancora più devastanti.



Foto: Alberto Villani

Pian delle Streghe, passo Zauf.

LA “TEMPESTA PERFETTA”

Era il 2009 quando John Beddington, consulente scientifico del governo inglese, per primo parlò della “tempesta perfetta di eventi globali” posizionando questo evento temporalmente **nel 2030**. Beddington disse che “Se non affrontiamo questo concatenarsi di cause ci possiamo aspettare grandi destabilizzazioni, con un aumento di disordini e potenziali notevoli ondate migratorie a livello internazionale, in fuga per evitare le carenze di cibo e di acqua”. Il punto di partenza del ragionamento di John Beddington è **l'aumento della popolazione mondiale** (previsti 8,3 miliardi nel 2030) che inevitabilmente si rifletterà in una maggiore richiesta di cibo (aumento del 50% rispetto all'attuale), ma non supportata da una adeguata produzione. Analogamente la richiesta di energia si prevede aumenterà, nel 2030, del 60%, ancora con una produzione non adeguata, mentre la domanda globale di acqua potabile aumenterà del 30% (50% in paesi in via di sviluppo e 20% nei paesi sviluppati).

ANCHE MEZZO GRADO CONTA

La raccomandazione dell'accordo di Parigi del 2015 è di contenere l'aumento della temperatura del pianeta a **1,5 °C o al massimo a 2 °C** rispetto ai valori pre-industriali, cioè circa 0,3 °C e 0,8 °C rispetto a quelli attuali: aumenti di temperatura

che a prima vista potrebbero sembrare piccoli, ma non lo sono. Questi valori sono le **soglie** individuate dalla comunità scientifica per evitare che le conseguenze del riscaldamento globale divengano catastrofiche e ingestibili, ma anche un aumento della temperatura globale di “soltanto” 1,5 °C o 2 °C indurrà cambiamenti e impatti importanti. E anche quel mezzo grado in più o in meno può fare molta differenza nel determinare quanto saranno gravi ed estesi gli effetti dei cambiamenti climatici: la fusione dei ghiacciai, l'intensificazione del ciclo idrologico, con un aumento di eventi meteorologici estremi e l'alterazione delle precipitazioni, l'innalzamento del livello del mare, la modifica della produttività delle piante, lo sconvolgimento della distribuzione delle specie vegetali e animali. Limitare l'innalzamento della temperatura a 1,5 °C anziché a 2 °C può consentire di ridurre questi rischi, Un mezzo grado rilevante, soprattutto per gli ambienti più vulnerabili, come le zone di montagna.

IL FVG TRA DUE HOT-SPOT

Non tutti gli ambienti naturali sono egualmente sensibili agli effetti del riscaldamento globale che in particolare risultano più evidenti nelle **Alpi** e nel **Mediterraneo**. Il Friuli Venezia Giulia, trovandosi compreso **tra due questi hot-spot**, ne soffrirà maggiormente. Già ora ci sono segni evidenti di questa tendenza: le ondate di calore, gli incen-

di nel Carso isontino e triestino, la sparizione dei ghiacciai e la fusione del permafrost, l'innalzamento del livello del mare, la siccità estiva e la scarsità di portata di acqua nei fiumi, gli impatti sugli ecosistemi e sulla biodiversità.

L'EQUILIBRIO È IMPORTANTE, SOPRATTUTTO IN MONTAGNA

Stiamo perdendo l'equilibrio. Chi va in montagna sa che l'equilibrio è importante e perderlo, se poi si riesce a recuperare, non è drammatico: resta solo una sensazione di paura. Perderlo per non recuperarlo più risulta invece molto pericoloso: tutti dovremmo prendere consapevolezza del fatto che **stiamo perdendo l'equilibrio** e siamo molto vicini al tempo limite per poterlo recuperare.

La montagna è un ambiente fragile, in cui il rispetto degli equilibri climatici è fondamentale. Le montagne sono tanto **importanti** quanto

vulnerabili. Le regioni fredde sono le più sensibili perché **rispondono in maniera amplificata** all'aumento di temperatura e in montagna la situazione è più critica che in pianura. Il riscaldamento globale, oltre alla fusione dei ghiacci terrestri ha come conseguenza la **diminuzione dell'albedo** e l'aumento della radiazione solare assorbita (i ghiacci riflettono la radiazione solare, il terreno la assorbe). Come conseguenza **il suolo si riscalda** e questo amplifica ancora il riscaldamento. Ma ci sono anche **altri fenomeni** che amplificano l'aumento della temperatura in montagna, quali la presenza di vapore acqueo, il ruolo delle nubi, la presenza di aerosol nella bassa troposfera montana e la sua deposizione sulle superfici innevate e ghiacciate.

Due fattori fondamentali che spiegano perché in montagna riusciamo a percepire direttamente gli effetti del riscaldamento globale sono la fusione dei ghiacciai e del permafrost.





Foto: Pierpaolo Colussi

Monte Avanza.

LA FUSIONE DEI GHIACCIAI

Il primo fenomeno è dovuto all'innalzamento della **linea di equilibrio (la ELA)** che separa la parte superiore di un ghiacciaio, il bacino collettore, dalla parte inferiore, l'area di ablazione, dove avviene la riduzione della massa glaciale per fusione o evaporazione. La ELA in altre parole delimita le zone di accumulo da quelle di ablazione. La ELA non è stabile nel tempo e dipende fortemente dalle situazioni climatiche, quindi risulta estremamente sensibile al riscaldamento globale: il suo **spostamento verso quote più alte** determina la graduale scomparsa dei ghiacciai dovuta a fusione.

Il **rapporto tra Area di Accumulo e area totale** del ghiacciaio (definito AAR - Accumulation Area Ratio) per un ghiacciaio alpino "sano" e in equilibrio con il clima dovrebbe avere un valore di 0,67. La quasi totalità dei ghiacciai alpini ha oggi un valore molto inferiore e alcuni, come la Marmolada, sono oramai dei morti che camminano.

LA FUSIONE DEL PERMAFROST

Il secondo fenomeno riguarda la fusione del permafrost, definito come una particolare condizione termica del sottosuolo, molto diffusa nei climi freddi, che attualmente interessa circa il 25% della superficie terrestre. Per definizione il permafrost include qualsiasi substrato (terreno, detrito, roccia, ...) che rimane congelato per almeno 2 anni consecutivi. In montagna anche alle nostre latitudini il permafrost esiste **nei versanti nord e ad alta quota**, principalmente in parete o nei ghiaioni alpini: si tratta di suolo congelato che non si trova in superficie e si estende in una zona

sotterranea delimitata da **due superfici**: una superiore e una inferiore. Un ambiente che si scalda ha come effetto l'aumento delle due temperature fondamentali del permafrost, che delimitano lo strato di suolo gelato. Gli effetti, quindi, sono il riscaldamento e l'assottigliamento del permafrost con conseguente risalita della base del permafrost. Questa fusione provoca **instabilità del terreno** ghiaioso e roccioso ed evidenti **frane e crolli** di pareti rocciose.

Entrambi questi fenomeni sono caratterizzati da un equilibrio attorno al punto di fusione del ghiaccio di 0°C: modificare anche solo di qualche grado questo valore (e specialmente in montagna, come abbiamo visto, si tratta di ben di più) significa creare un **forte disequilibrio**, al quale né la natura né l'essere umano sarà in grado di adattarsi se non in tempi estremamente lunghi, perché si tratta di modificare complessi cicli biologici e naturali.

GLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI VISTI DAI FREQUENTATORI DELLA MONTAGNA



ALPINISTI

osservano i crolli in parete a causa della fusione del permafrost e devono ripensare alla ripetizione di vie classiche e all'apertura di vie nuove. Inoltre, si rendono conto dell'aumentata pericolosità delle discese a causa di crolli e smottamenti. In ghiacciaio sono sorpresi dalla continua modifica della struttura dei seracchi e sono preoccupati per la pericolosità delle vie di ghiaccio e delle discese in ghiacciaio, come il recente dramma della Marmolada fa ben capire.



SCI ALPINISTI

percepiscono come i manti nevosi siano meno stabili di un tempo, con un aumento dei pericoli per valanghe e crolli di seracchi in ghiacciaio. La modifica della struttura e conformazione dei crepacci nei ghiacciai dovuta alla fusione del ghiaccio comporta uno sconvolgimento dei percorsi normalmente seguiti nelle gite di sci alpinismo. Per esempio, la salita al ghiacciaio dell'Adamello dal rifugio Mandrone è modificata sia d'estate che d'inverno rispetto alla via classica.



ESCURSIONISTI

vedono sentieri in traverso nei versanti sud, anche a bassa quota, che sono franati e osservano una aumentata pericolosità nel percorrere i ghiaioni nei versanti nord a causa della instabilità dei massi, dell'ispessimento dello strato di ghiaia superficiale (che oltre alla pericolosità fa aumentare la fatica nella salita) e della presenza di profondi canali scavati dall'acqua.



SCIATORI DA PISTA

si stanno rendendo ben conto di cosa voglia dire sciare su una striscia di neve artificiale, circondati da terreno spoglio e da alberi verdi, anche perché sono informati della enorme quantità di acqua e di energia necessarie per la preparazione delle piste.

GLI EFFETTI SUL TERRITORIO E SULLE ATTIVITÀ MONTANE

Oltre a questi fenomeni direttamente collegati al riscaldamento globale, non sono da trascurare altre evidenze quali l'andamento delle precipitazioni nevose in montagna e il danneggiamento dei sentieri a quota più bassa nei versanti soleggiati.

Il calo delle temperature e la irregolarità delle **precipitazioni nevose** stanno già mettendo a rischio il **turismo invernale** legato allo sci. Impianti di risalita e piste da sci sotto ai 1500 metri difficilmente potranno funzionare nei prossimi anni a causa della mancanza di neve, non rimpiazzata dall'innevamento artificiale che, oltre a impattare pesantemente sull'utilizzo di acqua e sul consumo di energia elettrica, renderanno economicamente non conveniente l'operazione.

Anche i **sentieri a bassa quota**, tipicamente i traversi su pendii ripidi, subiscono evidenti **crolli nella parte a valle** del sentiero. Ciò è dovuto al fatto che la **prima neve** quando cade trova un **terreno caldo** e fonde rapidamente per entrare nelle fessure del terreno dove, alla prima gelata, si congela e indebolisce il terreno, il quale poi a primavera, quando il ghiaccio fonde, frana o addirittura fa collassare il sentiero a valle. Questo fenomeno non si verificava in passato in quanto la prima neve scendeva su un terreno molto più freddo, protetto quindi dalle infiltrazioni di acqua. Per avere la prova di questo fatto basta vedere il degrado di sentieri storici.

E questo è solo un esempio dei cambiamenti sempre più evidenti che osservano i frequentatori della montagna: escursionisti, alpinisti, sciatori, scialpinisti. Ecco spiegato perché i **frequentatori della montagna** oggi sono sorpresi, spaesati, chiedono spiegazioni e non si capacitano di non poter più percorrere in sicurezza sentieri, pareti, canaloni, ghiaioni come avevano fatto anni addietro.



Foto: Pierpaolo Colussi



I PICCOLI GHIACCIAI DI CANIN E MONTASIO: COME SONO CAMBIATI NEL TEMPO E NEL 2023

I piccoli corpi glaciali presenti sul Montasio e sul Canin sono ciò che rimane di ghiacciai un tempo molto più consistenti, ridottisi drammaticamente nell'ultimo secolo e soprattutto negli ultimi decenni. Collocati a quote basse, si sono conservati per particolari condizioni locali. I glaciologi ne monitorano l'evoluzione e ne calcolano ogni anno il "bilancio di massa": quello del 2023 è negativo, ma la perdita di ghiaccio è stata meno marcata di quella registrata nel 2022.

Foto: Università di Udine

Nel settore italiano delle Alpi Giulie sono presenti numerosi piccoli corpi glaciali. I ghiacciai storicamente più studiati sono quelli del Canin e l'Occidentale del Montasio. Si tratta di corpi glaciali molto piccoli e posizionati ad una quota estremamente bassa se rapportati al resto del sistema alpino. Il motivo è principalmente legato alle elevate precipitazioni nevose che interessano la zona, e alla morfologia delle rocce calcaree e dolomitiche che creano condizioni favorevoli all'ombreggiamento e alla concentrazione delle valanghe in aree favorevoli alla preservazione della neve e del ghiaccio.



Foto di Renato R. Colucci

Il corpo glaciale orientale del Canin ripreso da drone il 27 settembre 2023.

UN SECOLO DI GRAVE PERDITA DI MASSA GLACIALE

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 dei ghiacciai è stata particolarmente significativa. Le Alpi Giulie nel complesso (considerando anche il settore sloveno) hanno perso il 96% del loro volume. Più in dettaglio, la stima di perdita di volume del ghiacciaio del Canin è ben del 99%, mentre quella dell'Occidentale del Montasio è molto inferiore e pari al 78%. Per questo motivo esso conserva ancora una certa dinamica, vi si rileva la presenza di alcuni crepacci e *bergschrund* e può essere ancora classificato come ghiacciaio montano.

IL GHIACCIAIO OCCIDENTALE DEL MONTASIO: UN CASO "FORTUNATO"

Una **fortunata combinazione di fattori** morfologici e topo-climatici ha **preservato** l'Occidentale del Montasio da una riduzione più marcata. Esso infatti riceve poca radiazione solare perché espo-

sto a nord e incassato alla base di una nicchia orografica tra la Torre Palizza e la Torre Amalia. Nel contempo, tutta la neve che cade sulla soprastante parete nord dello Jôf di Montasio scivola a causa della forte pendenza andando a incrementare la già elevata quantità di precipitazioni nevose che lo interessano durante l'inverno.

Utilizzando le foto austriache della prima guerra mondiale e il primo rilievo di Ardito Desio, nel 2020 è stato possibile stimare la perdita di volume del ghiacciaio del Montasio nell'ultimo secolo, così sappiamo che, mentre l'**area** del ghiacciaio è cambiata di poco, il suo **spessore** è mediamente diminuito di circa 30 m.

L'Università di Udine effettua il monitoraggio sistematico del ghiacciaio da circa quindici anni.

I GLACIONEVATI DEL CANIN

La Società Meteorologica Alpino-Adriatica, in collaborazione con l'Istituto di Scienze Polari del CNR, monitora invece nel medesimo arco temporale il glacionevato orientale del Canin e il glacionevato di Prevala. I rilievi anche qui sono condotti

in collaborazione con il Parco Naturale delle Prealpi Giulie e grazie all'importante supporto logistico di TurismoFVG e Protezione Civile FVG. I rilievi sul campo sono effettuati in particolare per i calcoli di bilanci di massa annuale e invernale.

Come già illustrato nell'edizione 2023 di *Segnali dal clima in FVG* (nell'articolo "La criosfera delle Alpi Giulie, evoluzione passata e recente"), a partire dalla metà del XIX secolo si è assistito a un'imponente riduzione dei ghiacciai del Canin, quantificabile in una perdita di volume del ghiaccio di quasi il 99%, di cui la maggior parte si è verificata in una rapida fase parossistica iniziata dalla metà degli anni '80 del '900.

IL BILANCIO DEL 2023

Il 2023 non è stato un anno così negativo dal punto di vista glaciologico come lo era stato il 2022.

L'accumulo di neve invernale misurato al Rifugio Gilberti nell'area del Canin è stato leggermente superiore alla media 1979-2022, ma molto significativo alle quote più elevate con quasi 12 metri di accumulo totale all'osservatorio della Kredarica-Triglav nella parte slovena delle Alpi Giulie. L'accumulo è stato più modesto alle quote più basse rispetto ai valori usuali, e all'Occidentale di Montasio si sono misurati circa 5,50 m (2,80 m w.e. - *Water Equivalent*). La copertura nevosa ha subito però un ritiro molto rapido da luglio in poi a causa delle elevate temperature. A fine settembre la copertura nevosa residua risultava del tutto assente.

CANIN ORIENTALE

2022

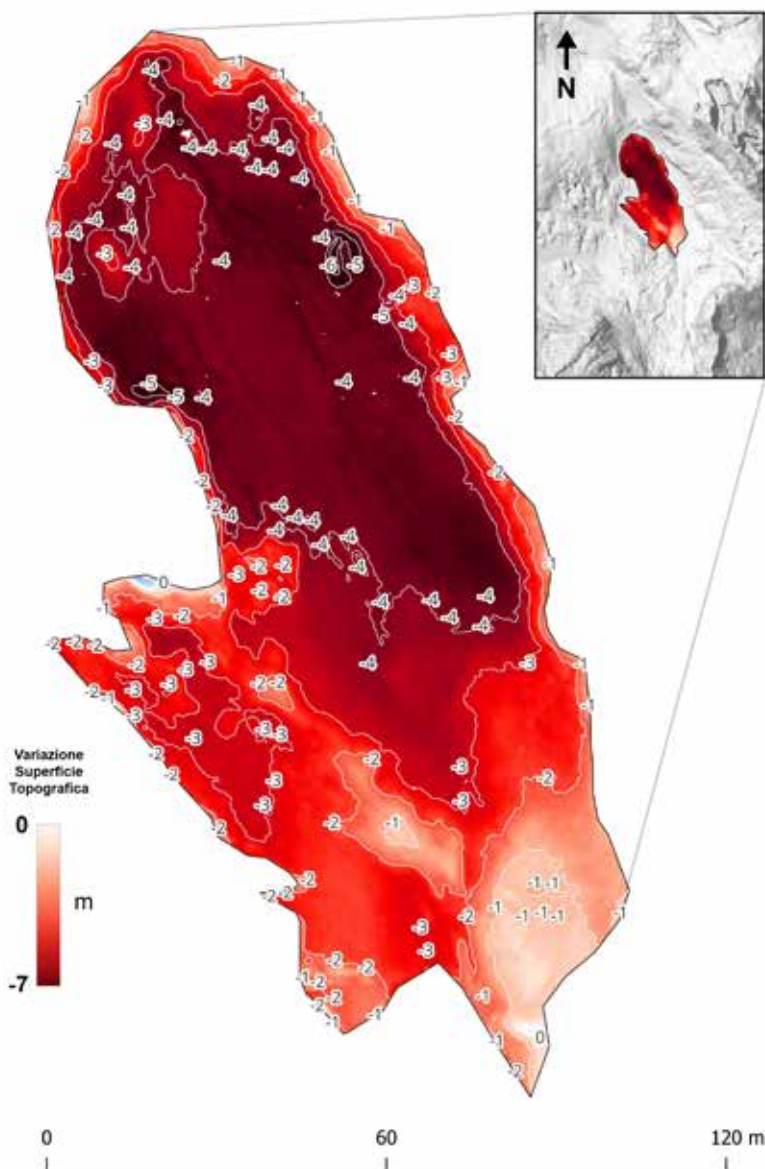


2023



Variazione superficie topografica

Media	Massima
- 3,15 m	- 6,99 m



Variazione topografica del corpo glaciale orientale del Canin fra il 2022 (13 settembre) e il 2023 (27 settembre). La freccia indica la posizione del profondo mulino glaciale formatosi in occasione delle forti piogge di inizio agosto 2023.

Il **bilancio annuo** è stato solo leggermente negativo all'Occidentale di Montasio con -0,63 m w.e., molto più negativo sul Canin orientale con -2,48 m w.e.. Sul glacionevato di Prevala il bilancio è risultato più simile all'Occidentale del Montasio e pari a -0,47 m w.e..

Per quanto riguarda il **Canin orientale** la diminuzione topografica mediata su tutta la superficie è stata di 3,15 m, con un massimo di 6,99 m per sé nel settore frontale. Nei rilievi autunnali per la prima volta dai rilievi del 2006 si è notata la **diffusa presenza di detrito**, nella parte inferiore così come in quella superiore dell'apparato. Nel corso di fasi di forte regresso glaciale, il detrito, costituito dai clasti caduti nel corso del tempo dalle vicine pareti rocciose e inglobati nel ghiaccio, tende ad affiorare in superficie in quanto la fusione è maggiore della dinamica stessa del ghiacciaio.

In condizioni "normali" il detrito verrebbe gradualmente trasportato verso valle a formare la morena frontale. Diversi mulini glaciali e diffuse *bedières* superficiali hanno drenato l'acqua di fusione nel corso dell'estate evidenziando lo stato di **netto ritiro** del glacionevato rispetto all'annata precedente, già di per sé eccezionalmente negativa in termini di bilancio di massa.

A seguito delle forti precipitazioni nei primi giorni di agosto sia l'Occidentale del Montasio sia il Canin orientale hanno visto la concomitante **apertura di larghe cavità** al centro degli apparati glaciali.

Nel caso dell'**Occidentale di Montasio** la pioggia si è incanalata lungo il canalone "Kugy" e il flusso si è incuneato all'interno del ghiacciaio entrando nella *randkluft* (crepaccio iniziale tra ghiacciaio e parete rocciosa) e ha ripercorso verosimilmente



Foto di Università di Udine

una cavità residua di quella che si era formata nel 2008 da un analogo evento. L'**erosione del corpo glaciale** ha pesantemente interessato anche le fasce laterali che nel 2008 non risultavano compromesse, mentre nel 2023 si presentavano nettamente staccate dalle pareti rocciose. Inoltre, la copertura di detrito è risultata decisamente più estesa, in particolare nella fascia mediana del ghiacciaio.

Sul **Canin orientale**, invece, la pioggia di inizio agosto ha allargato un mulino glaciale preesistente formatosi nel corso dell'estate 2022, facendo **collassare parte della zona frontale** del corpo glaciale nella sua parte più a valle (come si vede nella figura precedente, in corrispondenza della freccia) .

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.

Renato R. Colucci

CNR-ISP e Società Meteorologica Alpino-Adriatica

Andrea Securo

Università Cà Foscari e Società Meteorologica Alpino-Adriatica

Federico Cazorzi

Sara Cucchiaro

Università di Udine



PAROLE CHIAVE



CREPACCI

fratture nel ghiaccio dovute a sforzi decompressivi che modificano la velocità di flusso del ghiaccio facendolo frammentare trasversalmente o longitudinalmente. Nei ghiacciai montani sono spesso indicatori di asperità topografiche del terreno sul quale il ghiacciaio si muove (ad esempio dossi o balze rocciose).

BERGSCHRUND

crepaccio che si forma dove il ghiaccio in movimento si separa dal ghiaccio/firn stagnante nella zona di accumulo, quindi nella parte più ad alta quota del ghiacciaio. In italiano è spesso indicata come “crepacciata terminale”.

RANDKLUF

crepaccio marginale tipicamente localizzato tra la parete rocciosa sommitale e il corpo glaciale e si trova quindi generalmente poco al di sopra della Bergschrund, se presente.

GLACIONEVATO

corpo glaciale in cui la dinamica di scorrimento tipica di un ghiacciaio non è più presente. È spesso il relitto di un ghiacciaio.

MULINI GLACIALI

cavità verticali prodotte dall'acqua di fusione che penetra all'interno di piccole fratture nel ghiaccio e le allarga gradualmente. Come avviene in un sistema carsico, l'acqua tende a raggiungere la base del ghiaccio formando una rete di canali e caverne interna al ghiacciaio.

BEDIÈRES

canale di scorrimento superficiale che drena l'acqua di fusione glaciale. Tende a creare un percorso meandriforme seguendo le pendenze e le irregolarità della superficie topografica del ghiacciaio.

FIRN

fase intermedia del processo di trasformazione della neve delle stagioni precedenti in ghiaccio. Ha aspetto granulare e risulta piuttosto compatto con densità tra 400 e 830 kg al metro cubo.

I GHIACCI RACCONTANO: ESPLORARE I CLIMI DEL PASSATO CON I METODI DELLA PALEOCLIMATOLOGIA

Conoscere i climi del passato ci consente di comprendere meglio i cambiamenti climatici attuali e futuri. La paleoclimatologia si avvale di diverse modalità di indagine, integrandole per ricostruire in modo dettagliato le variazioni climatiche nel corso dei millenni. Tra le più efficaci, l'analisi delle carote di ghiaccio estratte dai ghiacciai e dalle calotte polari. Un nuovo progetto di ricerca consentirà di esplorare i climi del passato fino a 1,5 milioni di anni fa.

Foto: NOAA da Unsplash

L'interesse per la comprensione del clima passato è cresciuto esponenzialmente negli ultimi decenni, poiché la consapevolezza dei cambiamenti climatici globali ha assunto un ruolo sempre più centrale nella nostra società. L'analisi dei cambiamenti climatici nel corso dei millenni, nota come **paleoclimatologia**, rappresenta un'importante disciplina scientifica che contribuisce significativamente alla nostra comprensione del clima passato e presente. Gli scienziati impiegano una vasta gamma di metodologie avanzate per ricostruire con precisione i pattern ossia gli andamenti climatici delle ere passate, fornendo così preziose informazioni per la comprensione dei meccanismi climatici naturali e antropogenici. Le metodologie più utilizzate negli studi paleoclimatici contemporanei comprendono lo studio delle carote di ghiaccio e di sedimento marino, la dendrocronologia, i proxy climatici e la modellazione paleoclimatica; vediamole in dettaglio.

CAROTE DI GHIACCIO

Le carote di ghiaccio estratte dai ghiacciai e dalle calotte polari costituiscono uno degli strumenti più potenti per l'estrazione di dati paleoclimatici. Questi depositi di ghiaccio contengono un registro stratigrafico unico delle variazioni climatiche nel corso dei millenni. Attraverso l'**analisi delle bolle d'aria intrappolate nei cristalli di ghiaccio**, i ricercatori possono determinare le concentrazioni dei gas presenti in atmosfera al momento delle precipitazioni nevose originarie che hanno portato alla formazione di quello specifico strato di ghiaccio. Grazie a queste bolle d'aria, quindi, è possibile estrapolare direttamente la chimica dell'atmosfera del passato e analizzare ad esempio **le concentrazioni di gas serra** come il biossido di carbonio e il metano. Inoltre, gli isotopi dell'ossigeno e dell'idrogeno presenti nel ghiaccio forniscono informazioni preziose sulla **temperatura atmosferica passata**. Le carote di ghiaccio consentono quindi di ricostruire con grande precisione i cambiamenti del clima e le dinamiche atmosferiche nel corso del tempo. Al momento, uno sforzo internazionale sta cercando di estendere la conoscenza paleoclimatica fino a circa 1,5 milioni di anni fa grazie al progetto *Beyond EPICA* (vedi box di approfondimento).

CAROTE DI SEDIMENTO MARINO

I sedimenti marini depositati sul fondo oceanico rappresentano un altro archivio fondamentale per la ricostruzione del clima passato. Dalle carote di sedimento prelevate dai fondali oceanici è possibile analizzare varie proprietà chimiche e biologiche dei sedimenti stessi. Ad esempio, i resti fossili di microorganismi marini, come i foraminiferi, forniscono **informazioni preziose sulla temperatura e sulla salinità dell'acqua oceanica** nel corso del tempo. Inoltre, le variazioni nella composizione chimica dei sedimenti, come i rapporti isotopici e le concentrazioni di elementi chimici, consentono di ricostruire i **cambiamenti climatici globali e regionali**, nonché le variazioni delle correnti oceaniche nel corso dei millenni.

DENDROCRONOLOGIA

La dendrocronologia, o datazione degli anelli degli alberi, è un'altra metodologia importante per gli studi paleoclimatici. Gli alberi, attraverso la formazione di anelli annuali, registrano le variazioni climatiche stagionali e interannuali

durante il loro ciclo di crescita. I ricercatori possono analizzare la larghezza, la densità e altre caratteristiche degli anelli degli alberi per estrarre **informazioni dettagliate sulle condizioni climatiche passate**, come temperature estive e inverni rigidi, periodi di siccità o abbondanti precipitazioni. La dendrocronologia fornisce quindi una cronologia climatica ad alta risoluzione **per specifiche regioni geografiche**.

PROXY CLIMATICI

I proxy climatici sono **indicatori indiretti** del clima passato, utilizzati quando i dati diretti non sono disponibili o insufficienti. Questi includono una vasta gamma di materiali e fenomeni, come i resti di **polline** conservati nei sedimenti lacustri, le **conchiglie di foraminiferi** negli oceani, gli **speleotemi** (concrezioni carbonatiche che si formano nelle grotte, come stalattiti e stalagmiti), i resti **fossili di piante e animali**. Gli scienziati utilizzano queste fonti di dati per ricostruire variabili climatiche come temperatura, umidità, precipitazioni e pressione atmosferica. Ad esempio, la distribuzione spaziale e temporale dei pollini fornisce informazioni dettagliate sui cambiamenti nell'ecosistema vegetale e nelle condizioni climatiche locali nel corso del tempo.

MODELLAZIONE CLIMATICA

Infine, la modellazione climatica rappresenta uno strumento essenziale per integrare e interpretare i dati paleoclimatici. I ricercatori sviluppano modelli climatici complessi basati sulle leggi fisiche che regolano il clima della Terra. Questi modelli possono essere utilizzati per **simulare il comportamento del sistema climatico passato e futuro**, testando ipotesi e valutando l'impatto di fattori naturali e antropogenici sul clima globale. L'integrazione di dati paleoclimatici con modelli climatici avanzati consente agli scienziati di ottenere una comprensione più completa e approfondita delle dinamiche climatiche del passato e di fornire previsioni più accurate per il futuro.

BEYOND EPICA: RICOSTRUIRE IL CLIMA DELLA TERRA FINO A 1,5 MILIONI DI ANNI FA

Il progetto *Beyond EPICA* rappresenta un ambizioso sforzo internazionale per ottenere nuove e dettagliate informazioni sui cambiamenti climatici del passato attraverso il miglioramento delle tecniche di carotaggio dei ghiacciai. Questo progetto, avviato nel 2018, mira a perforare uno dei ghiacciai più antichi e spessi della Terra, l'Antartide orientale, al fine di ottenere una delle carote di ghiaccio più lunghe e dettagliate mai estratte.

Il principale obiettivo di *Beyond Epica* è quello di estendere il record paleoclimatico ottenuto dalle carote di ghiaccio fino a 1,5 milioni di anni fa. Attualmente, il record più lungo disponibile risale a circa 800.000 anni fa, ottenuto dal progetto EPICA (*European Project for Ice Coring in Antarctica*) e dal Progetto *IceCube*, entrambi condotti in Antartide. Estendere questo record fino a 1,5 milioni di anni consentirebbe agli scienziati di esaminare i cicli climatici attraverso molte ere glaciali-interglaciali, fornendo una visione senza precedenti delle dinamiche climatiche a lungo termine della Terra.

Per raggiungere questo obiettivo ambizioso, il progetto *Beyond EPICA* si avvale di tecniche innovative di perforazione e di analisi dei campioni di ghiaccio. Gli scienziati utilizzano trivelle specializzate, in grado di penetrare attraverso i chilometri di ghiaccio dell'Antartide orientale in modo efficiente e preciso. Una volta estratte, le carote di ghiaccio sono trasportate in laboratori appositamente attrezzati, dove vengono analizzate utilizzando una vasta gamma di tecniche, come la misurazione degli isotopi, delle bolle d'aria intrappolate e delle impurità presenti nel ghiaccio.

Il completamento del progetto *Beyond EPICA* avrà importanti implicazioni per la comprensione dei cambiamenti climatici passati e futuri. Il lungo record paleoclimatico ottenuto consentirà agli scienziati di analizzare dettagliatamente i meccanismi che guidano le variazioni climatiche naturali su scale temporali più

lunghe, inclusi i cicli di Milanković, le variazioni dell'attività solare e gli effetti delle concentrazioni di gas serra atmosferici. Queste informazioni sono essenziali per migliorare la nostra comprensione dei modelli climatici e per valutare l'impatto delle attività umane sul clima globale. I risultati ottenuti saranno di fondamentale importanza per l'attuazione dei futuri rapporti di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) e per l'obiettivo Azione per il clima (#13) degli Obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite che mira a intraprendere azioni urgenti per combattere il cambiamento climatico e i suoi impatti.

Il progetto *Beyond EPICA* è guidato dall'Istituto di Scienze Polari (ISP) del CNR e ha come responsabile scientifico il Prof. Carlo Barbante, Direttore dell'ISP-CNR fino ad aprile 2024. È finanziato dalla Comunità Europea su fondi Horizon 2020. Il consorzio di ricerca include istituzioni di grande rilievo in Europa e nel mondo come, tra le altre, l'*Institute for Marine and Atmospheric research (IMAU)* dell'Università di Utrecht nei Paesi Bassi, l'*Alfred Wegener Institute (AWI)* in Germania, il *British Antarctic Survey (BAS)* nel Regno Unito, il *Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)* in Francia, il *French Polar Institut*, e il *Norwegian Polar Institute*. Di fondamentale importanza la logistica fornita dal PNRA (Piano Nazionale di Ricerca in Antartide) attraverso la base Concordia.

beyondepica.eu/en/about/

Un settore di carota di ghiaccio estratta dal sito di Little Dome C.
Credits Scoto©PNRA/IPEV.



UN APPROCCIO MULTIDISCIPLINARE E INTEGRATO

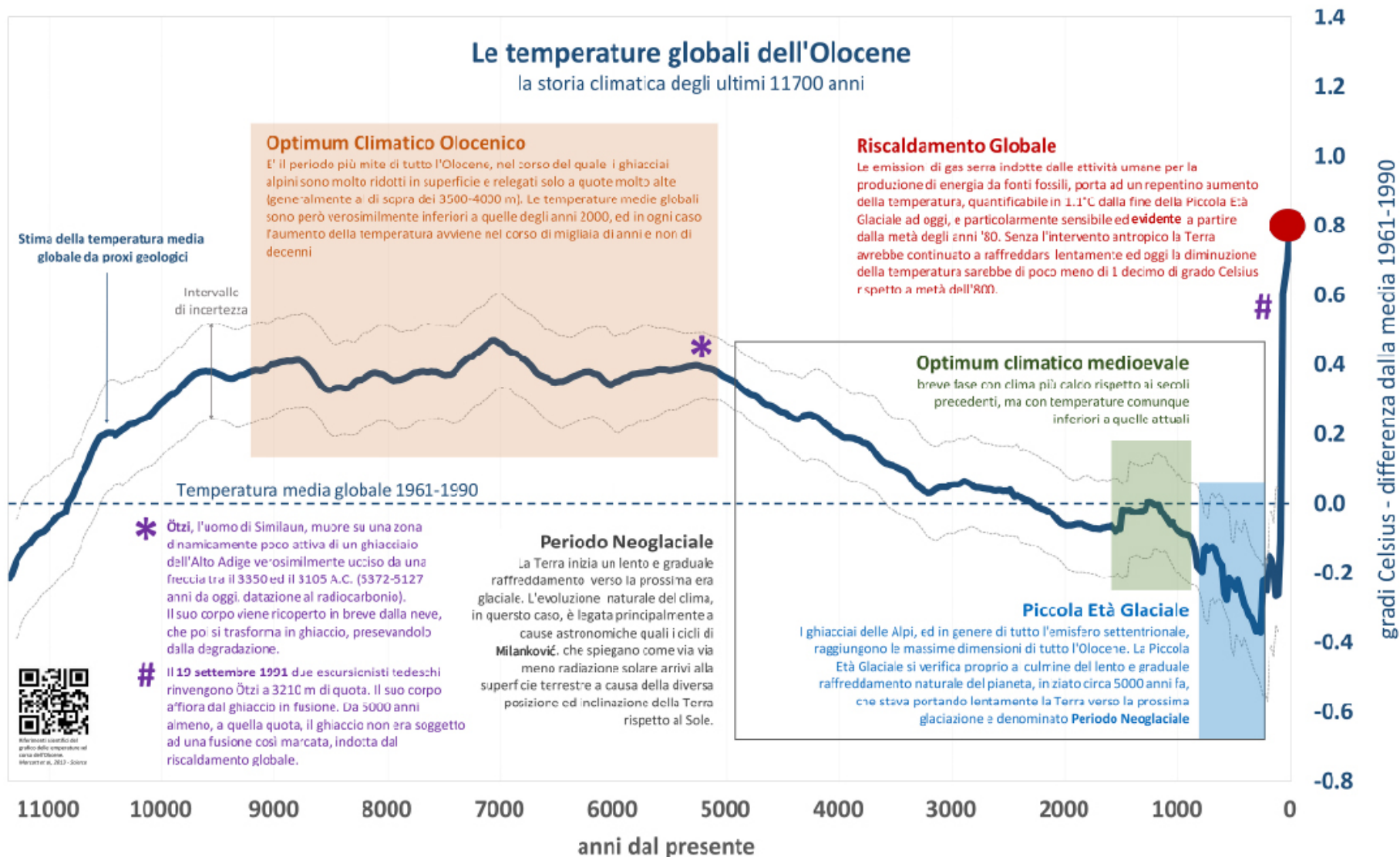
Le metodologie utilizzate negli studi paleoclimatici contemporanei riflettono dunque un approccio multidisciplinare che combina dati empirici provenienti da una varietà di fonti con modelli climatici avanzati.

Questa integrazione di approcci fornisce una visione dettagliata e articolata delle variazioni climatiche nel corso dei millenni, contribuendo così alla nostra comprensione dei cambiamenti climatici attuali e futuri.

Renato R. Colucci

CNR-ISP e Società Meteorologica Alpino-Adriatica

Anomalie globali della temperatura media terrestre osservate nel corso dell'Olocene, rispetto ai valori normali del periodo 1961-1990 (rielaborazione effettuata su dati/sull'immagine originale da "A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years", Marcott S. A., www.science.org/doi/10.1126/science.1228026). La figura è stata realizzata per la mostra "Canin, memoria di climi antichi. Un viaggio sugli effetti del riscaldamento globale" www.aametsoc.org/post/canin-memoria-di-climi-antichi-un-viaggio-sugli-effetti-del-riscaldamento-globale.





MONTAGNE IN TRASFORMAZIONE: CAMBIAMENTI CLIMATICI E ALTRI CAMBIAMENTI

Foto: Valeria Muzzolini

La montagna subisce gli effetti dei cambiamenti climatici e altri cambiamenti, ai quali può rispondere adottando nuovi modelli di sviluppo sostenibile che portino benefici non solo socioeconomici, ma anche ambientali. Attraverso la diversificazione delle attività turistiche e nuove opportunità di formazione per le comunità locali, la montagna può trovare efficaci soluzioni di adattamento e continuare a essere luogo di vita, lavoro, svago, benessere, cultura.

Il clima sta cambiando e gli effetti si fanno sentire soprattutto in montagna. I più evidenti, anche agli occhi dei non esperti, riguardano le **precipitazioni nevose**: stiamo assistendo, infatti, alla risalita del limite delle nevi e alla riduzione della durata dell'inverno; le nevicate diventano meno frequenti e spesso vengono sostituite dalla pioggia. Ciò determina la diminuzione dell'estensione delle aree coperte da neve e ghiaccio e il conseguente aumento dello spazio a suolo più scuro, che sono alla base del fenomeno dell'**amplificazione del riscaldamento** in montagna. Ma anche altri cambiamenti interessano la montagna soprattutto dal secondo dopoguerra del secolo scorso.

I CAMBIAMENTI DELLA MONTAGNA

Il processo di industrializzazione, l'importazione di modelli di sviluppo inadeguati per le aree montane basati prevalentemente su standardizzazione e aumento della scala produttiva, la difficoltà a modificare le piccole aziende agrosilvopastorali “dalla sussistenza familiare” al “mercato”, hanno dato inizio a un graduale esodo e **spopolamento** della montagna. L'abbandono dei territori montani, il venir meno delle azioni di cura necessarie affinché un territorio possa mantenersi vitale, hanno causato il **degrado di quel patrimonio** di diversità naturale (si pensi ai prati) e antropico (terrazzamenti, casere, stavi ecc.) creatosi in secoli di attività umane.

Si tratta di cambiamenti con conseguenze negative per la montagna, e inevitabilmente ne devono seguire altri affinché essa possa continuare a

essere un luogo, anzi tanti luoghi di vita, lavoro, svago, benessere, cultura. In altre parole, in un mondo che cambia, anche il modo di agire per lo **sviluppo socioeconomico** delle aree montane deve evolversi, immaginando nuovi modelli che sappiano dare valore, non solo economico, alle tante risorse naturali e antropiche che la montagna incorpora.

Mi voglio soffermare qui su due iniziative che assieme ad alcuni colleghi dell'Università di Udine stiamo conducendo nell'ambito delle nostre attività di ricerca e di didattica su tematiche riguardanti lo sviluppo delle aree montane, in particolare dei sistemi agrosilvopastorali: le opportunità di diversificazione turistica attraverso la **frequentazione delle foreste per il benessere e la salute**, e un master universitario per accrescere le **competenze imprenditoriali e territoriali** dei nuovi abitanti della montagna.



Foto: Ivana Bassi

Frequentazione della montagna invernale: ciaspolata a Casera e Col Montof, Forni di Sotto.



Foto: Ivana Bassi

Fare impresa e costruire territori in montagna: un connubio inscindibile. Casera Giaveada e Monte Bivera, Sauris

ESPLORARE LA MONTAGNA: UN MONDO OLTRE LO SCI

Lo sci ha rappresentato e rappresenta ancora per alcuni territori un'importante risorsa in termini di occupazione e reddito, oltre ad essere di per sé una valida attività ludico-sportiva. Tuttavia, la riduzione delle precipitazioni nevose mette in seria difficoltà questo settore, per superare la quale si fa troppo spesso ricorso a soluzioni – mi riferisco all'**innevamento artificiale** – che portano con sé rilevanti impatti ambientali e sociali negativi. Basti pensare all'utilizzo delle risorse idriche ed energetiche, nonché agli ingenti finanziamenti pubblici, risorse così sottratte ad altre priorità.

Nel corso degli anni anche la **domanda di turismo** in montagna è cambiata a causa di diversi fattori, tra cui l'evoluzione dei gusti dei viaggiatori, la crescente attenzione alla sostenibilità e l'impatto dei cambiamenti climatici. Complessivamente, essa sta evolvendo verso esperienze più autentiche, sostenibili e orientate alla natura, con una maggiore diversificazione delle attività offerte e una crescente attenzione alla conservazione dell'ambiente.

Il turismo ha certamente portato ricchezza in molte aree montane. Tuttavia questi cambiamenti impongono la definizione di **nuove strategie di sviluppo turistico**, al fine di ridurre il rischio derivante dalla dipendenza da un solo settore, diversificando l'offerta e dunque le possibilità di occupazione e reddito.

ALCUNE ESPERIENZE DI SUCCESSO

In alcune località già da tempo sono state fatte scelte lungimiranti. Nel **parco naturale del Monte Dobratsch** (nei pressi di Villach, a pochi chilometri dal confine di Tarvisio) circa una ventina di anni fa si è deciso di smantellare i vecchi impianti della stazione sciistica e di promuovere altri modi di frequentare la montagna: si fa scialpinismo o sci di fondo, si usano le ciaspole o la slitta, si cammina, o semplicemente si trascorre una bella giornata all'aria aperta. E così sono nati nuovi posti di lavoro, punti vendita di prodotti, gruppi di guide, insomma, un importante indotto che non ha fatto rimpiangere le scelte effettuate.

Un altro esempio è quello della **Val Maira**, una valle piemontese nelle Alpi occidentali, dove alla

fine del secolo scorso il locale Consorzio Turistico ha dato avvio a un progetto di sviluppo turistico non di tipo industriale incentrato sugli impianti di risalita, come andava di moda in quegli anni, ma finalizzato al recupero delle tradizioni locali e alla tutela e valorizzazione delle tante risorse ambientali di pregio presenti. L'intera valle è diventata così una meta "slow" di scialpinisti, ciaspolatori, camminatori, alpinisti o semplici visitatori, economicamente sostenibile e capace di attrarre appassionati da tutta Europa.

LE FORESTE COME RISORSA PER SALUTE E BENESSERE

Una valida opportunità di diversificazione dell'offerta turistica è data oggi da alcune interessanti pratiche di frequentazione della montagna, in particolare degli ambienti boschivi, per la salute e il benessere: **i bagni di foresta e la terapia forestale**. Oramai numerosi studi a livello internazionale hanno dimostrato una relazione diretta tra frequentazione delle foreste e salute umana derivante soprattutto dall'inalazione di sostan-

ze organiche volatili, i terpeni. Oltre ai **benefici fisiologici**, quali ad esempio la cura di patologie dell'apparato respiratorio, a quelli **psicologici**, come la diminuzione dell'ansia (vedi l'articolo di Maria Da Re **OLTRE L'ECO-ANSIA: CONNETTERSI CON LE EMOZIONI PER CAMBIARE IL CLIMA DENTRO E FUORI DI NOI**, pag. 213), e **sociali**, quest'ultimi derivanti in particolare dal miglioramento delle interrelazioni personali e degli stili di vita, vanno annoverati anche i benefici **socioeconomici** derivanti dai servizi correlati all'implementazione della pratica. Essi sono riconducibili alle attività di accompagnamento lungo i percorsi individuati, che devono essere svolte da persone adeguatamente formate (conoscenza dell'ambiente, operatori sanitari), come pure al vitto, preferibilmente con prodotti locali, all'alloggio, alle attività culturali, di svago e sport che possono essere svolte nei momenti della giornata non dedicati alla pratica. I bagni di foresta e la terapia forestale diventano così occasione per creare nuove opportunità di lavoro e reddito, e dunque di sviluppo delle comunità locali, come testimoniano le esperienze che si stanno diffondendo anche in Friuli Venezia Giulia.



Foto: Ivana Bassi

Esperienza di forest bathing nella foresta di Tarvisio.



Foto: Irene Marcuzzi

Testimonial, studenti e alcuni docenti all'evento di avvio della prima edizione 2024 del master.

UN PERCORSO DIDATTICO-CULTURALE PER E CON LA MONTAGNA

A marzo 2024 ha preso avvio la prima edizione del **master di primo livello** in “Innovazione dei sistemi agrosilvopastorali della montagna. Imprese e territori” organizzato dal Dipartimento di Scienze agroalimentari, ambientali e animali dell’Università di Udine (uniud.it/mastermontagna).

Si tratta di un **percorso formativo finalizzato a innescare processi** orientati alla creazione di nuova imprenditorialità in montagna, alla partecipazione e rigenerazione delle comunità locali e alla valorizzazione dei territori montani, secondo un approccio multifunzionale e integrato. Il focus è sui **sistemi agrosilvopastorali**, che hanno svolto e continuano a svolgere un ruolo fondamentale nella costruzione dei paesaggi della montagna e nella conservazione dei manufatti, della biodiversità vegetale e animale, di pratiche, tradizioni e conoscenze locali. Non meno importante è il loro ruolo di presidio della montagna, svolgendo azioni di controllo degli equilibri ecologici e idrogeologici e di cura dei luoghi.

Le lezioni in aula e online, le visite di studio, i laboratori e i lavori in gruppo intendono accrescere conoscenze e competenze per la **gestione di imprese agrosilvopastorali montane multifunzionali**, in cui le attività primarie si integrano con altre funzioni quali quella gastronomica, turistica, didattica, sociale ecc., nonché per la definizione e attuazione di **progetti di sviluppo territoriale integrato**, attraverso il coinvolgimento delle comunità locali. A tale scopo il master approfondisce aspetti riguardanti gli ecosistemi montani (vegetazione, fauna, entomologia, geologia, idrologia, cambiamenti climatici) e le filiere produttive (produzioni vegetali, filiera legno, produzioni zootecniche, trasformazioni alimentari). Tratta di imprese e **network** (creazione e innovazione d’impresa, **network** imprenditoriali, turismo e altre economie montane), come pure di territorio e governance (rigenerazione territoriale, processi partecipativi, politiche per la montagna, gestioni collettive). Dedicando ampio spazio alla progettazione e alla comunicazione (**business plan**, strumenti per la co-progettazione territoriale, GIS, **group facilitation**).

Il master non poteva non affrontare anche il **tema dei cambiamenti climatici**, sia attraverso lezioni *ad hoc* su “Climatologia dei territori montani e impatti del cambiamento climatico”, sia nell’ambito di altre lezioni e attività didattiche (flora e fauna alpina, idrologia, imprese ecc.), tra cui una visita di studio presso l’azienda Baldovin in quel di Forni di Sotto, che di recente ha avviato un impianto viticolo e la cantina di trasformazione alla quota più alta (865 m slm) dell’intero Friuli Venezia Giulia, e una visita al ghiacciaio occidentale del Montasio, per conoscerne da vicino l’evoluzione.

Il master intende così contribuire anch’esso all’**adattamento delle comunità montane ai cambiamenti climatici e altri cambiamenti**, innescando processi di transizione culturale, imprenditoriale e territoriale capaci di supportare la definizione di strategie e l’attuazione di interventi di sviluppo in montagna coerenti e sostenibili.


Ivana Bassi

Università degli Studi di Udine

L’AMPIO PARTENARIATO DEL MASTER DELLA MONTAGNA

Il master è sostenuto da un vasto e importante partenariato che comprende le sei comunità di montagna del Friuli Venezia Giulia: Dolomiti friulane, Cavallo e Cansiglio; Prealpi friulane orientali; Carnia; Canal del Ferro e Valcanale; Gemonese; Natisone e Torre. Inoltre, vi fanno parte il Consorzio dei comuni del bacino imbrifero montano (Bim) Tagliamento, Carnia Industrial Park, Prima Cassa, Confcooperative e Legacoop del Friuli Venezia Giulia. Il supporto di questi partner ha consentito la partecipazione di giovani provenienti da tutto l’arco alpino della regione.

Il partenariato annovera anche numerosi collaboratori tra cui i GAL Montagna Leader, Euroleader, Open Leader e Torre Natisone; i due Parchi regionali, delle Dolomiti Friulane e delle Prealpi Giulie; il Consorzio Boschi Carnici e Legno Servizi; la Fondazione Comelico Dolomiti; il Segretariato Permanente della Convenzione delle Alpi e CI-PRA; Club Arc Alpin e CAI, Sede centrale e Delegazione del FVG.



OLTRE LA NEVE: SOLUZIONI E PARTECIPAZIONE PER UNO SVILUPPO RESILIENTE DELLA MONTAGNA

Attraverso il progetto *BeyondSnow* (“oltre la neve”) diverse località di montagna di tutto l’arco alpino stanno affrontando costruttivamente le sfide poste da un futuro in cui ci sarà meno neve.

Si analizzano le vulnerabilità e si condividono le possibili soluzioni per uno sviluppo che nel tempo accresca la resilienza di comunità e territori. In Carnia è stato avviato un processo partecipato per disegnare “futuri desiderabili” per le diverse generazioni, che includano gli abitanti di oggi e di domani.

Foto: Alberto Villani

Il progetto *BeyondSnow* – Oltre la Neve, inserito nel programma di finanziamento Interreg Spazio Alpino, si pone come obiettivo l’elaborazione di nuovi percorsi e processi di sviluppo sostenibili che, nonostante la sempre più critica mancanza di neve, permettano a piccole comunità e destinazioni turistiche alpine invernali a media e bassa quota di adattarsi alle condizioni ambientali, economiche, sociali e culturali determinate dal cambiamento climatico e, al contempo, di mantenere e aumentare la loro attrattività per residenti e turisti.

Interreg

Co-funded by
the European Union

BeyondSnow

Alpine Space

BeyondSnow coinvolge 13 enti, provenienti da sei Paesi europei che toccano l'arco alpino: Slovenia, Italia, Austria, Germania, Svizzera, Francia. L'ente capofila è Eurac Research (Bolzano, IT) e per il Friuli Venezia Giulia il partner operativo del progetto è la Comunità di montagna della Carnia, affiancata da ARPA FVG, Promoturismo FVG e Università degli Studi di Trieste in qualità di partner osservatori.

La Comunità di montagna della Carnia ha individuato l'impianto di risalita di Pradibosco come laboratorio di studio nell'ambito di *BeyondSnow* nel corso del triennio 2022-2025.

GLI OBIETTIVI E I PRODOTTI DEL PROGETTO

BeyondSnow si prefigge di **umentare la resilienza climatica socio-ecologica** delle piccole stazioni turistiche invernali per consentire loro di mantenere o addirittura aumentare la loro attrattività per residenti e turisti. Durante il progetto, **nuovi percorsi di sviluppo sostenibile, processi di transizione e soluzioni implementabili** vengono ideati congiuntamente all'interno di dieci specifiche aree di lavoro pilota (PWA), distribuite spazialmente in sei paesi alpini, diverse per dimensioni, livello di sviluppo e criticità. Grazie ad attività di **formazione e sensibilizzazione**, cittadini e decisori ai diversi livelli tecnici e politici sono coinvolti in questo processo.

Inoltre, i partner del progetto stanno sviluppando uno **strumento digitale di supporto alle decisioni** sulla resilienza, innovativo e facile da usare, che sarà reso disponibile gratuitamente e accessibile al pubblico in tutta la comunità alpina.

Alcuni prodotti sono già stati realizzati e sono disponibili sul sito del progetto alpine-space.eu/project/beyondsnow/. Si tratta di **rapporti** (pubblicati in lingua inglese, dato il carattere internazionale del progetto) che trattano diversi aspetti del tema "oltre la neve": dalle caratteristiche delle aree pilota, alle criticità rilevate dalle popolazioni e le emozioni a esse collegate, alla vulnerabilità e resilienza delle aree montane.

Riportiamo qui due esempi di contenuti tratti dai report del progetto: la mappa di vulnerabilità e

alcune possibili risposte agli effetti dei cambiamenti climatici nelle località che finora hanno basato fortemente la loro economia sul turismo (sciistico) invernale.

LA MAPPA DI VULNERABILITÀ

Uno dei rapporti disponibili è la "Mappa di vulnerabilità delle destinazioni turistiche alpine legate alla neve" ("*Vulnerability Map of Alpine STDs*") www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2024/03/BeyondSnow-Vulnerability-Map-deliverable-1.1.2.pdf.

Nel report è spiegato il **concetto di vulnerabilità**, a partire dalla definizione dell'IPCC che la intende come "la propensione o predisposizione a essere influenzati negativamente, una qualità che dipende da diversi fattori, tra cui esposizione, sensibilità e capacità adattiva".

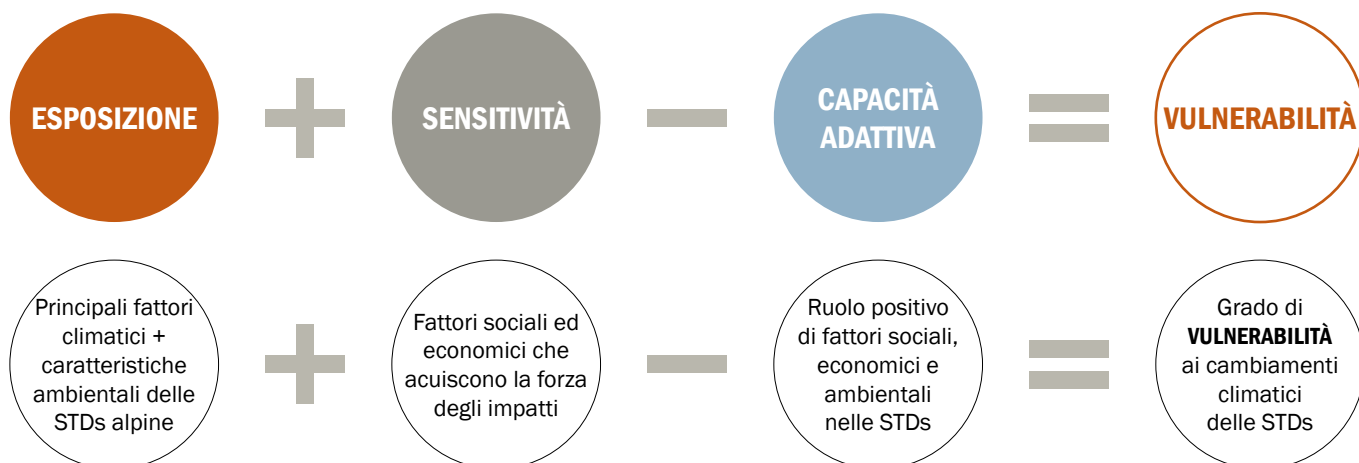
Per valutare la vulnerabilità nel contesto specifico di *BeyondSnow*, gli esperti hanno preso in considerazione **12 indicatori** di esposizione, sensibilità e capacità di adattamento collegati alle diverse dimensioni della vulnerabilità: i fenomeni fisici, l'ambiente, l'economia, la società.

Il risultato della prima elaborazione è la Mappa delle Vulnerabilità delle destinazioni turistiche alpine legate alla neve (STDs). I livelli di vulnerabilità vanno da bassi ad acuti. **La maggior parte dei comuni dell'area progettuale Spazio Alpino presentano un elevato livello di vulnerabilità**. In un primo momento, sembra che i comuni montani nelle aree più interne delle Alpi presentino per lo più un livello di vulnerabilità moderato, mentre le aree nella parte orientale delle Alpi o in prossimità della pianura sono caratterizzate da un livello di vulnerabilità grave. Tuttavia, è **difficile generalizzare** i risultati per l'intero Spazio Alpino trattandosi di una valutazione iniziale, e uno sguardo più attento e preciso alle scale più piccole può fornire deduzioni più accurate.

Il report riporta poi i singoli elementi che hanno concorso all'elaborazione della mappa di vulnerabilità: le mappe di esposizione, sensibilità e impatto potenziale, con i relativi indicatori, per concludere con la mappa della capacità di adattamento.

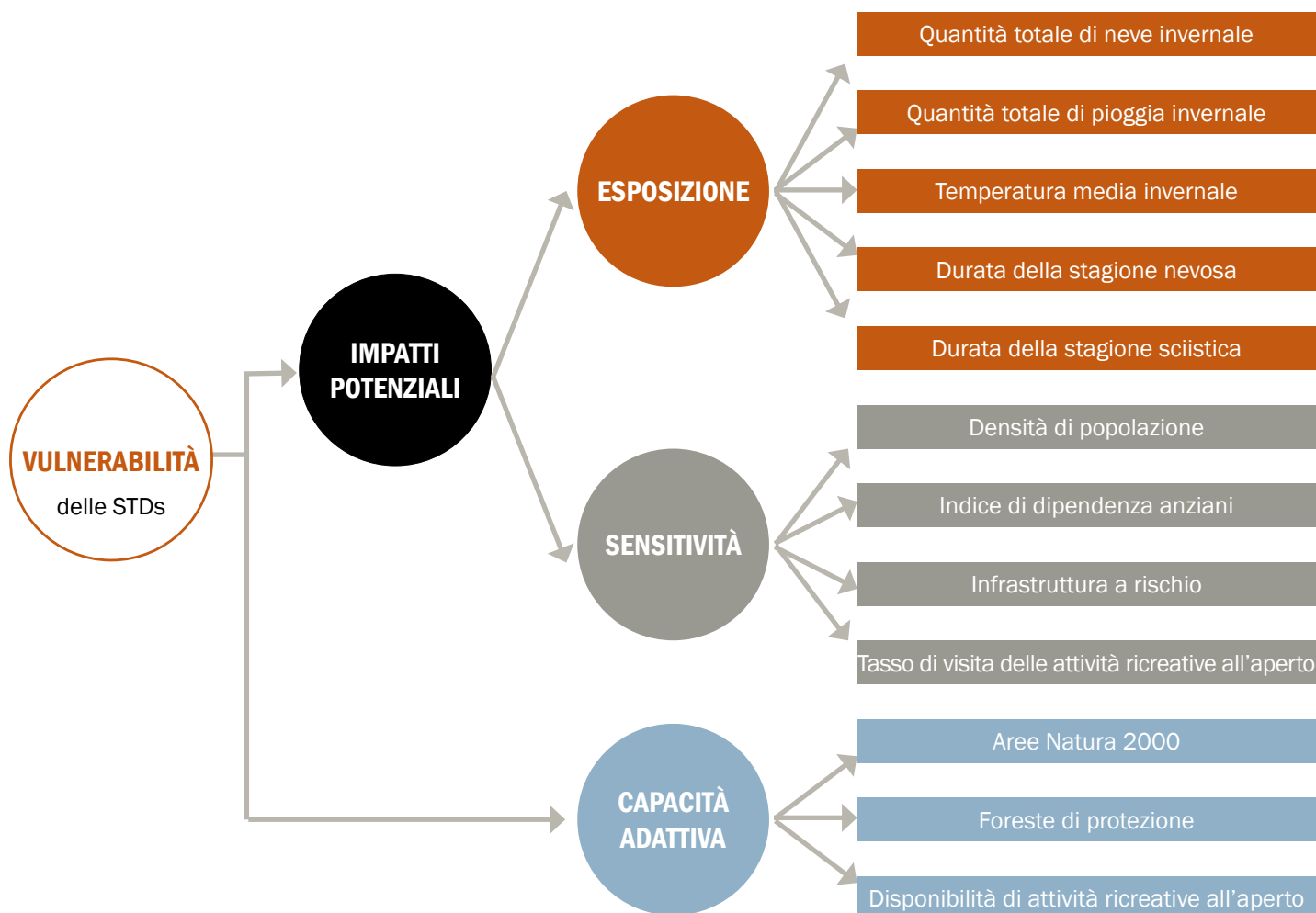
VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ AL CAMBIAMENTO CLIMATICO DELLE DESTINAZIONI TURISTICHE INVERNALI

STDs: destinazioni turistiche legate alla neve



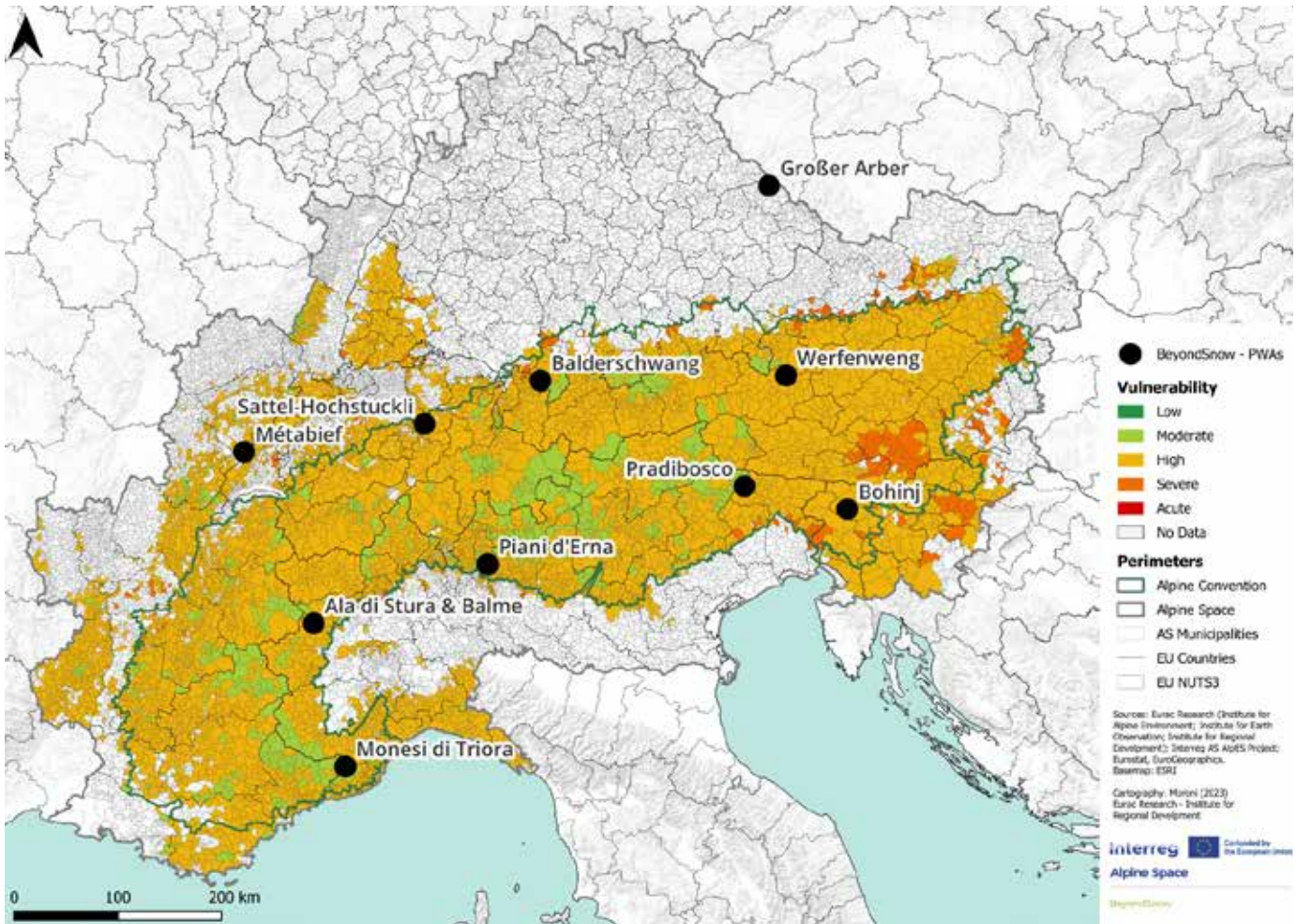
Cornice concettuale generale per la valutazione della vulnerabilità al cambiamento climatico nelle destinazioni turistiche invernali legate alla neve nel progetto *BeyondSnow* (basata su IPCC, 2022). Tratto e tradotto da "Conceptual document on AS STD vulnerability and resilience assessment" <https://www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2024/03/BeyondSnow-Conceptual-document-on-AS-STD-vulnerability-deliverable-1.2.1.pdf>

12 INDICATORI DELLA VULNERABILITÀ DELLE DESTINAZIONI TURISTICHE INVERNALI



Schema degli indicatori selezionati per la prima mappa di vulnerabilità delle destinazioni turistiche legate alla neve. Tratto e tradotto da: "Vulnerability Map of Alpine STDs" <https://www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2024/03/BeyondSnow-Vulnerability-Map-deliverable-1.1.2.pdf>

MAPPA DI VULNERABILITÀ DELLE DESTINAZIONI TURISTICHE LEGATE ALLA NEVE



Mappa di vulnerabilità delle destinazioni turistiche legate alla neve STDs (ottobre 2023). La scala di colori dal verde al rosso indica livelli di vulnerabilità crescenti, da “bassa” (verde) ad “acuta” (rosso). Tratta da: “Vulnerability Map of Alpine STDs” <https://www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2024/03/BeyondSnow-Vulnerability-Map-deliverable-1.1.2.pdf>

La **capacità adattiva** è la capacità di un sistema di adattarsi ai cambiamenti climatici. Gli interventi di adattamento sono attività che mirano a **ridurre la vulnerabilità climatica** a diversi livelli. Nel contesto del progetto *BeyondSnow*, sono stati considerati 3 indicatori: aree Natura 2000, foreste a protezione del sito e disponibilità di attività ricreative all’aperto.

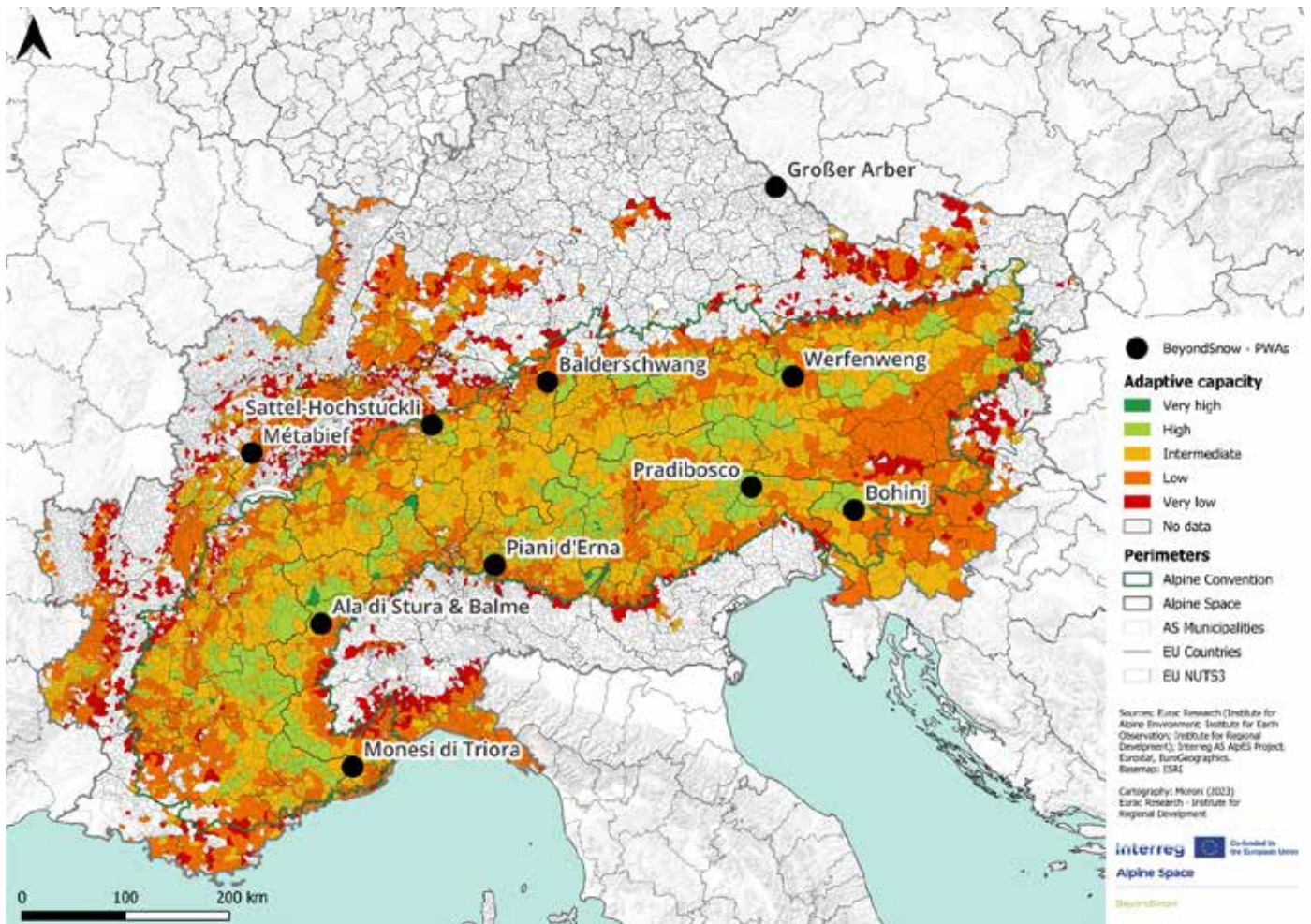
La mappa mostra un **quadro molto differenziato** in termini di capacità di adattamento nell’area di Spazio Alpino, che va da livelli di adattività molto bassi ad alti (e pochi “molto alti”). Ciò che si può osservare in generale è che le aree alle estremità delle Alpi tendono a avere livelli di capacità di adattamento inferiori rispetto a quelle più centrali.

Concludendo la valutazione della vulnerabilità, i fattori che contribuiscono alla capacità di adattamento delle destinazioni turistiche legate alla neve sono molteplici. In particolare, **i servizi basati sugli ecosistemi emergono come una**

soluzione preziosa. Il ruolo essenziale svolto dalle aree protette, dalle foreste e dai siti ricreativi all’aperto è della massima importanza nel migliorare la capacità di un sistema di adattarsi ai cambiamenti climatici e ridurre la vulnerabilità. Riconoscere e utilizzare questi elementi diventa fondamentale per sviluppare strategie efficaci per rafforzare la resilienza delle destinazioni del turismo legate alla neve di fronte all’evoluzione delle condizioni climatiche.

L’approccio olistico adottato in *BeyondSnow* mira a fornire una comprensione completa della vulnerabilità, aprendo la strada a un processo decisionale informato e a pratiche di gestione sostenibile nelle destinazioni turistiche legate alla neve, aumentando la capacità di adattamento e diminuendo la vulnerabilità per **aumentare la resilienza complessiva del sistema**.

MAPPA DELLA CAPACITÀ DI ADATTAMENTO DELLE DESTINAZIONI TURISTICHE LEGATE ALLA NEVE



Mappa della capacità di adattamento delle destinazioni turistiche legate alla neve STDs (ottobre 2023). La scala di colori dal verde al rosso indica livelli di capacità adattiva decrescenti, da “molto alta” (verde) a “molto bassa” (rosso). Tratta da: “Vulnerability Map of Alpine STDs” <https://www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2024/03/BeyondSnow-Vulnerability-Map-deliverable-1.1.2.pdf>

STRATEGIE E OPPORTUNITÀ PER UN TURISMO RESILIENTE

Un altro rapporto prodotto nell’ambito di BeyondSnow riguarda **gli effetti dei cambiamenti climatici sulle destinazioni turistiche legate alla neve** dell’arco alpino (“Report on the effects of Climate Change on the Alpine Space Snow Tourism Destinations” <https://www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2024/03/Beyondsnow-Report-on-the-effects-of-CC-on-the-AS-Snow-Tourism-Destinations-deliverable-1.1.1-april-2023-DEF.pdf>). Il rapporto analizza anche **potenziali risposte che possono essere messe in atto** per fronteggiare le difficoltà e cogliere le opportunità che le nuove condizioni presentano.

Come si legge nel rapporto, negli ultimi anni, gli effetti dei cambiamenti climatici hanno portato alla necessità di riconsiderare alcuni degli elementi essenziali delle destinazioni del turismo invernale legato alla neve (Snow Winter Tourism –

SWT). Inverni più brevi e miti potrebbero mettere a dura prova le imprese turistiche, non solo nelle Alpi. L’industria del turismo dovrebbe quindi essere preparata a **sviluppare e implementare altre attività e prodotti** oltre alle attività ricreative basate sulla neve e a offrire opzioni di mitigazione per questo importante settore economico. La diminuzione e l’irregolarità delle nevicate hanno costretto molte stazioni sciistiche a differenziare la propria offerta, utilizzando possibilmente le risorse già presenti sul territorio e creando nuove reti con altri attori locali e regionali. Sebbene il principale fattore di attrazione di una stazione sciistica rimanga lo sci, la **differenziazione dell’offerta turistica** consente alla destinazione di essere attrattiva diminuendone la dipendenza dalle condizioni meteorologiche favorevoli.

A questo proposito, due strategie prevedono la creazione di **opportunità per prodotti turistici non legati alla neve**, pur rispondendo alle aspettative dei non sciatori. Da un lato, le stazioni sciistiche

hanno iniziato a proporre diverse offerte legate a **possibilità culturali, gastronomiche, ma anche sportive** basate su “reti corte” (*short networks*), con sportivi del territorio, o su “reti lunghe” (*long networks*), con sportivi di altri territori. Dall’altro lato, molte destinazioni SWT che concentravano i loro sforzi principali esclusivamente sulla stagione invernale, hanno iniziato a sviluppare **prodotti e attività anche per il turismo estivo**. Hanno convertito la propria immagine sul mercato turistico all’*outdoor tout court*, ampliando il proprio portafoglio di attività con nuove opportunità sportive, ma anche con iniziative culturali (festival, fiere del libro, rassegne cinematografiche, manifestazioni enogastronomiche, ecc.). A causa degli autunni e delle primavere sempre più miti, questa strategia è propedeutica anche al **prolungamento della stagione estiva** e alla **destagionalizzazione dei flussi**, consentendo agli ospiti di svolgere attività estive come trekking, mountain bike e canoa anche durante queste stagioni intermedie e basse.



Foto: cooperativa GRAMARS



COME I COMPENSORI SCIISTICI AFFRONTANO LA MANCANZA DI NEVE (STRATEGIE E NETWORKING)

RETI A BREVE DISTANZA	RETI A SCALA PIÙ AMPIA
Collaborazioni con il sistema locale del patrimonio culturale: musei locali, eco-musei, edifici di interesse storico e artistico.	Collaborazioni con il sistema del patrimonio culturale a scala più ampia, inclusi siti e città delle aree collinari e di pianura circostanti.
Collaborazione con le fattorie locali per l’inclusione di prodotti a km zero nell’offerta enogastronomica. Proposte per una cucina stellata in ristoranti locali. Visite alle fattorie per famiglie.	Collaborazione con altri sistemi turistici regionali (es. turismo del vino, percorsi legati a determinati prodotti e/o attività culturali ecc.).
Organizzazione di eventi e spettacoli legati alla cultura dell’area e/o della regione (es. eventi a tema organizzati con parchi naturali e associazioni locali, serate enogastronomiche, visite ad artigiani locali).	Organizzazione di gite giornaliere (es. visite a città, shopping in centri commerciali, parchi tematici).
Offerta integrata di attività all’aperto (<i>outdoor</i>) che includa altre proposte (es. escursionismo, ciclismo, golf, parapendio, canoa, pesca), ma anche modalità diverse di fruizione dei percorsi tradizionali, come escursionismo con animali, escursioni notturne, percorsi tematici. Attività al coperto (<i>indoor</i>) integrate (es. arrampicata in palestra, nuoto, tennis).	Organizzazione di eventi locali legati a specificità regionali (es. serate di assaggio dei vini che includano prodotti delle aree collinari o di pianura).
Offerta per il benessere, sia nelle strutture di accoglienza che nei centri Spa.	

Strategie per superare il turismo invernale basato sulla neve. Schema tratto e tradotto da (“*Report on the effects of Climate Change on the Alpine Space Snow Tourism Destinations*” <https://www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2024/03/Beyondsnow-Report-on-the-effects-of-CC-on-the-AS-Snow-Tourism-Destinations-deliverable-1-1-4-april-2023-DEF.pdf>)



Foto: Margherita Mabel Costantini

Primo laboratorio di futuro a Prato Carnico (19 aprile 2024).

L'AREA DI LAVORO PILOTA PER IL FVG: VAL PESARINA

Il progetto “Oltre la neve - *Beyond Snow*” finanziato dal programma europeo Interreg *Alpine Space* prevede come area pilota in Friuli Venezia Giulia la Val Pesarina. In questa zona della Carnia si trova il più piccolo impianto di risalita d'Europa: un piccolo skilift che misura 110 mt di lunghezza situato nella località di **Pradibosco**. La zona è stata scelta perché l'impianto già attualmente risente dei cambiamenti climatici, ovvero della carenza di neve a bassa quota, e i giorni di apertura durante l'anno sono davvero pochissimi.

Il progetto, in carico all'Ufficio Europa della Comunità di montagna della Carnia, mira a trovare proposte e soluzioni per **aumentare la resilienza socio-economica di questa vallata**, attraverso il coinvolgimento della popolazione nella definizione di un futuro desiderabile, alla luce delle nuove condizioni climatiche.

LA PARTECIPAZIONE E I LABORATORI DI FUTURO

Il percorso include una serie di **interviste** faccia a faccia volte a valutare il grado di sensibilità degli abitanti della Val Pesarina, sul tema della crisi climatica e dell'assenza della neve, e dei **questionari** mirati a studiare le attitudini dei turisti di fronte al clima che cambierà.

Nel 2024 è stato attivato un **processo partecipativo** per coinvolgere, sensibilizzare e informare la popolazione locale, ma anche quella dell'intero comprensorio carnico, profondamente collegato con l'area pilota.

Questo percorso si compone di una serie di laboratori guidati da Rocco Scolozzi, specialista in studi sul futuro, che attraverso le tecniche di *Design Thinking* e *Future Thinking*, insegna a **ripensare e riprogettare le prospettive di futuro** considerando la variabile dei cambiamenti climatici. Nei laboratori si cerca di arrivare a una definizione di “**futuro desiderabile**” e anche di “**abitante/visitatore desiderabile**” di una Val

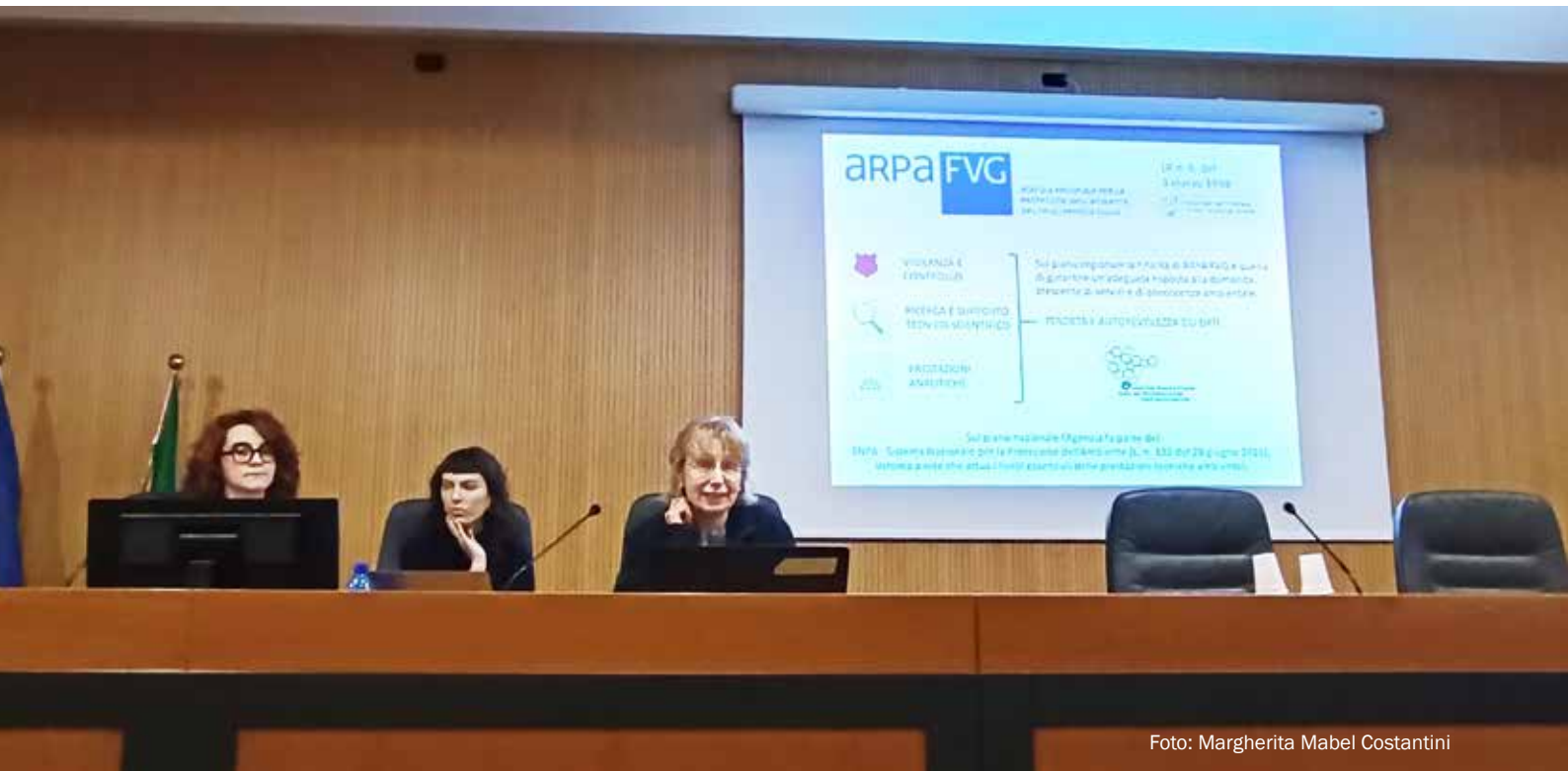


Foto: Margherita Mabel Costantini

Conferenza sui cambiamenti climatici tenuta da ARPA FVG a Tolmezzo (5 aprile 2024).

Pesarina del futuro, in modo tale da creare una definizione collettiva di come la comunità vuole essere, per mettere poi in atto tutte le azioni necessarie per farlo, considerando che il clima non sarà più quello attuale. Grazie al supporto della cooperativa Cramars i partecipanti sono stati facilitati nel contribuire attivamente al percorso proposto dall'esperto. Si tratta di un lavoro di gruppo estremamente prezioso che pone le basi per definire - già da ora - l'approccio più adatto e adattativo anche per l'incerto domani.

IL LABORATORIO PER I GIOVANI

Un particolare focus è posto sui giovani, per i quali è stato organizzato **un laboratorio specifico** che coinvolgerà: una ricercatrice che studia un modello climatico per la Carnia del futuro, una dottoressa che tratterà il tema dell'”Ecoansia”, ovvero delle emozioni suscitate dai cambiamenti climatici, e uno specialista in studi sul futuro che porterà la tecnica del pensiero sul futuro anche alle giovani menti della Carnia.

Infine, dopo il primo evento realizzato a Tolmezzo ad aprile 2024 in collaborazione con ARPA FVG, “Come cambia e cambierà il clima in Carnia”, saranno organizzati altri **eventi divulgativi** che tratteranno degli impatti dei cambiamenti climatici nei diversi ambiti della vita di montagna (il turismo, la demografia, il lavoro, ecc.). Questi

appuntamento interesseranno le vallate più interne della Carnia, al fine di diffondere i temi del progetto, di instaurare **un dialogo costruttivo e informato** e di generare consapevolezza condivisa sulla questione.

Federica Flapp

ARPA FVG

Patrizia Gridel

Michele Colusso

Margherita Mabel Costantini

Comunità di montagna della Carnia



LA PRECARIA SICUREZZA IDRAULICA DEL TERRITORIO MONTANO

Le precipitazioni intense possono innescare il pericoloso fenomeno delle colate di detrito. Studi e ricerche nel bacino del Moscardo consentono di migliorare sia la comprensione dei fenomeni torrentizi, sia le misure da mettere in atto per la riduzione del rischio.

Foto: Università di Udine

Tra gli effetti del riscaldamento dell'atmosfera vi è, a livello globale, anche un aumento delle precipitazioni di elevata intensità, di cui si rileva qualche segnale anche localmente: ciò può provocare una intensificazione dei fenomeni di colata di detrito.

Il bacino del torrente Moscardo, a Paluzza, è stato attrezzato negli anni '80 dal CNR per il monitoraggio delle colate. Abbandonato negli anni '90, è stato riattrezzato a partire dal 2010 con **strumenti di ultima tecnologia** in collaborazione tra il CNR-IRPI di Padova e l'Università di Udine. Due **telecamere** collocate in punti strategici riprendono continuamente l'alveo, due **sismografi** registrano le vibrazioni prodotte dal trasporto solido, tre **pluviometri** e una **stazione meteorologica** registrano le precipitazioni e altre variabili, due **sensori a ultrasuoni** sono sospesi nella parte finale dell'alveo e registrano, al centimetro e al secondo, il passaggio di ogni evento di trasporto, e in particolare delle colate.



Stazione in quota per il rilievo delle colate e drone per la scansione laser.



Rilievi topografici con GNSS di precisione.



Pluviometro in quota a "Le Muse".

UN BACINO INSTABILE, IDEALE PER LO STUDIO

Gran parte del bacino del Moscardo è geologicamente **instabile e franosa** a causa della presenza di rocce poco compatte con stratificazioni e giaciture che favoriscono il distacco. Ciò, unito a **precipitazioni** tutt'altro che trascurabili (anche se non tra le più elevate che si registrano in regione) rende il bacino del Moscardo ricco di dissesto e il torrente particolarmente propenso a generare colate. Dal 2010 a oggi il sistema ha registrato una

quindicina di eventi di un certo rilievo, una poco invidiabile media di **più di una colata all'anno!** Un ottimo terreno di studio.

Nel 2022 si è concluso un progetto di ricerca europeo, INADEF (inadef.com), che ha visto il Moscardo protagonista in un complesso sistema di **monitoraggio e modellazione** con lo scopo di prevedere le situazioni di possibile innesco di colata. Tuttavia, nonostante i notevoli miglioramenti, i fenomeni di colata restano sostanzialmente imprevedibili, e quindi ancor più pericolosi.



Foto: Università di Udine

Il bacino del Moscardo: panoramica dall'alto. È evidente il carattere instabile e franoso dei versanti.

CHE COS'È UNA COLATA DI DETRITO?

La colata di detrito (debris flow) è il più pericoloso dei fenomeni torrentizi.

Un evento di precipitazione intenso e/o prolungato può mobilizzare il sedimento presente in alveo o sul versante (argilla, sabbia, ghiaia, massi, detriti, legname, ecc.) trasformandolo in una colata semifluida che, data la considerevole velocità e l'elevata massa volumica, può letteralmente spazzare tutto quello che trova sul proprio percorso: briglie, difese spondali, edifici, ponti.

Normalmente la colata si propaga per pulsazioni successive, un po' come la lava vulcanica, e i moti interni spingono spesso i massi più grandi e compatti verso la superficie, come se galleggiassero.

I depositi prodotti da una colata di detrito sono imponenti e possono sbarrare l'alveo provocando la formazione di invasi temporanei, a loro volta pericolosissimi in caso di repentino svuotamento.

Torrente Moscardo.
Sequenza di fotogrammi
della colata del 22
luglio 2016 ripresa dalla
stazione di monitoraggio
dell'Università di Udine.



NUOVE TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO

Uno strumento davvero utile per accrescere la conoscenza dei fenomeni di colata detritica è il costante monitoraggio degli eventi. Oggigiorno il monitoraggio dei fenomeni di colata detritica può essere effettuato mediante le classiche strumentazioni come i sensori a ultrasuoni o anche sfruttando le nuove tecnologie come quelle legate al **telerilevamento** o *remote sensing*. Infatti, tecniche come la **fotogrammetria digitale** (e in particolare la *Structure from Motion-SfM*) o il **laser scanner** (**LiDAR**) terrestre o aereo permettono di effettuare rilievi frequenti del territorio, or-

mai anche a basso costo grazie alla disponibilità di piattaforme di acquisizione come i **droni** (SAPR – sistema aeromobile a pilotaggio remoto).

I dati topografici acquisiti mediante rilievi ripetuti nel tempo in zone soggette a fenomeni di colata detritica permettono di ricavare **continue e tempestive informazioni** sui cambiamenti morfologici in atto, sulla dinamica dei processi e sui volumi di sedimento movimentati. Questo è possibile ricavando dai rilievi multi-temporali i **Modelli Digitali Del Terreno** (*Digital Terrain Models -DTM*) attraverso i quali si possono quantificare i processi erosivi e di deposito, monitorare la dinamica del sedimento e identificare le aree più a rischio.



Foto: Università di Udine

Bacino del Moscardo, panoramica dal basso.



Foto: Università di Udine

Tratto del Moscardo monitorato con ultrasuoni e relativa stazione di monitoraggio.

MONITORARE LE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICO-FORESTALI

I dati ricavati sfruttando le tecniche di remote sensing abbinati all'utilizzo di strumenti informatici di tipo GIS (*Geographic Information System*) permettono anche di monitorare **lo stato e la funzionalità delle opere** di sistemazione idraulico-forestali (SIF) realizzate in difesa dei fenomeni di colata detritica. Questo è di fondamentale importanza per l'individuazione delle **priorità**

d'intervento nella manutenzione delle strutture, la **valutazione dell'efficacia** degli interventi realizzati e il **miglioramento** della progettazione futura. Infatti, i DTM multi-temporali possono essere sfruttati per analizzare l'interazione tra le opere e la dinamica dei fenomeni di colata detritica. Queste ultime informazioni arricchite da indicatori di stato e funzionalità delle opere hanno permesso di ottenere già ottimi risultati nell'identificazione delle priorità d'intervento all'interno di alcuni bacini torrentizi delle montagne friulane.

Sara Cucchiario
Federico Cazorzi
Università di Udine



Foto: Università di Udine

Briglia con danni da colata detritica.

LE ACQUE DOLCI E LA PIANURA

LE ACQUE DOLCI E LA PIANURA

Falde, fiumi, ecosistemi e paesaggi

Il tema dell'acqua è uno dei primi che vengono alla mente quando parliamo di cambiamenti climatici.

Il pensiero corre alla disponibilità della risorsa idrica e agli impatti degli eventi siccitosi: ma il livello del serbatoio costituito dalle nostre acque sotterranee dipende solo dal clima? Inoltre le acque interne non sono solo una risorsa per persone e attività produttive: gli ecosistemi delle acque dolci svolgono funzioni fondamentali - come l'autodepurazione - che risultano vulnerabili agli effetti dei cambiamenti climatici e dell'inquinamento.

Anche il reticolo idrografico costituito per bonificare e irrigare la campagna friulana svolge importanti servizi ecosistemici, i cui benefici potrebbero essere ridotti da alcuni interventi con cui si cerca di rispondere all'aumento del fabbisogno idrico in agricoltura. Quest'ultimo lo riscontriamo anche in assenza di eventi siccitosi perché con l'aumento delle temperature aumenta l'evapotraspirazione delle colture.

Il tema dell'acqua porta quindi con sé questioni complesse, che richiedono una visione d'insieme e la capacità di trovare soluzioni articolate che integrino le diverse esigenze.

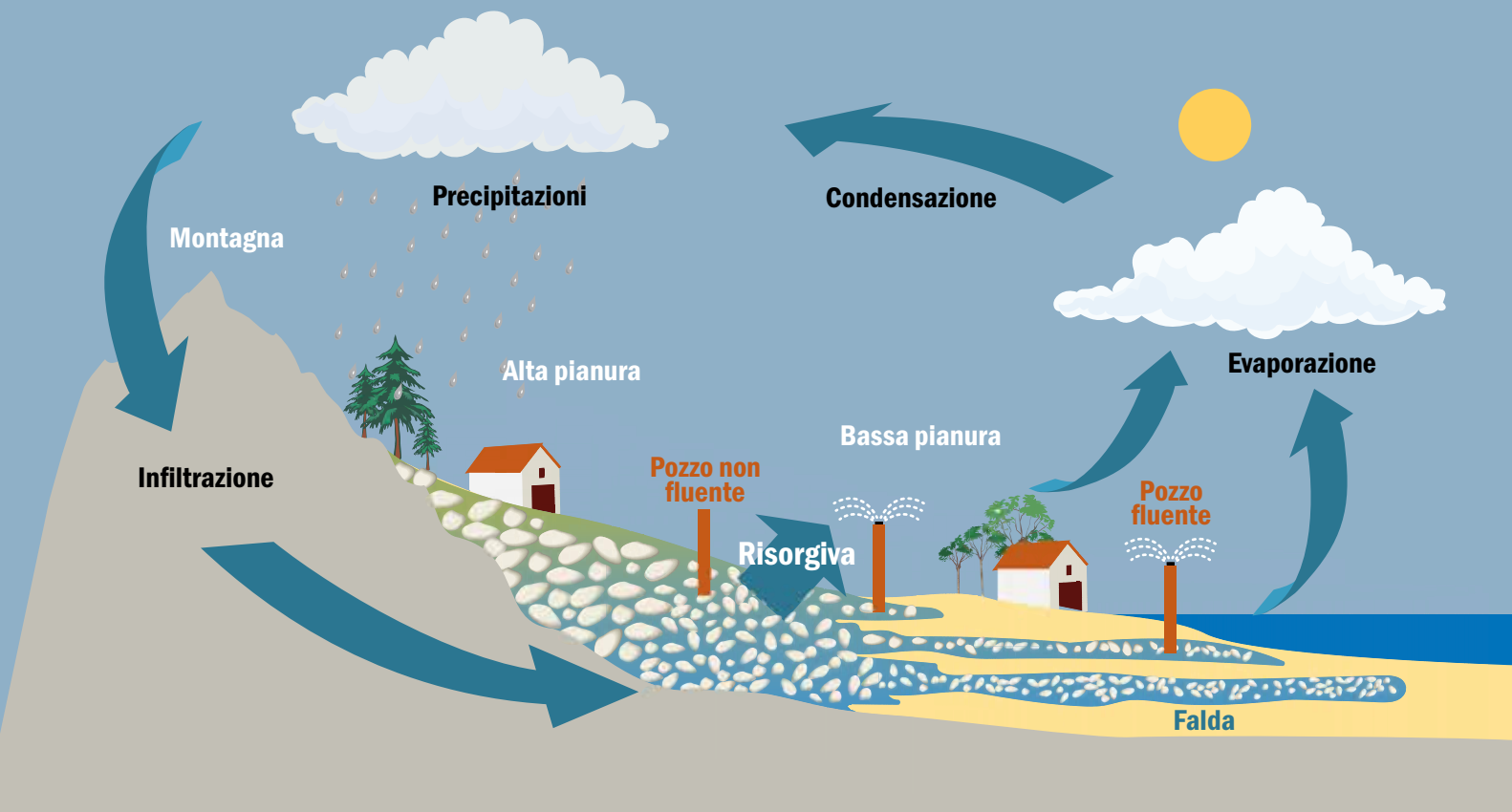


I LIVELLI DELLE FALDE IN FVG: VARIAZIONI NEL BREVE E NEL LUNGO PERIODO

Foto: Alberto Deana

Le esigue piogge dell'autunno 2021 e di tutto il 2022 hanno portato i livelli delle falde sotterranee a valori negativi da record. Tuttavia il graduale abbassamento del livello delle falde, che si sta manifestando negli ultimi decenni nella nostra regione, deve essere attribuito più a un utilizzo non equilibrato della risorsa idrica che all'andamento climatico. In futuro anch'esso potrà incidere negativamente su questa risorsa preziosa, per cui un utilizzo più virtuoso delle acque è fin da oggi molto importante.

Le abbondanti precipitazioni dell'autunno 2023 e dell'inverno 2024 hanno rimosso dall'immaginario collettivo il tema della siccità. Tuttavia, la carenza idrica del 2022 ha causato effetti ben visibili in superficie (danni alle colture, fiumi e laghi in secca, incendi, morie di pesci); meno intuitivo è comprendere l'effetto e le conseguenze sulle acque sotterranee.



LE FALDE DEL FRIULI VENEZIA GIULIA: UN GRANDE SERBATOIO D'ACQUA...

La pianura del Friuli Venezia Giulia è costituita da una potente coltre di sedimenti con uno spessore che va dai pochi metri nell'area orientale fino ai 600 m di Latisana. Si è formata grazie all'opera dei corsi d'acqua che dai monti hanno provveduto a portare a valle detriti di varie dimensioni: quelli più grandi e più pesanti sono stati depositati prima mentre quelli più fini e quindi più leggeri sono stati portati più lontano.

Nei millenni, quindi, si è venuto a formare un grande serbatoio (*materasso alluvionale ghiaioso*) dove si accumulano sia le acque di pioggia che penetrano nel terreno sia le acque provenienti dalle dispersioni dei corsi d'acqua. Questo serbatoio appoggia su uno strato roccioso (*bedrock*) sostanzialmente impermeabile e quindi le perdite sia in profondità che verso il mare sono praticamente nulle. La presenza nel sottosuolo di materiale via via più fino favorisce la parziale venuta a giorno delle acque sotterranee lungo la fascia delle risorgive da cui si originano i

Schema della Pianura Friulana. A ridosso della zona montana troviamo la cosiddetta Alta Pianura costituita da depositi di materiale grossolano e molto permeabile; man mano che ci spostiamo verso il mare i sedimenti diventano più fini e si alternano a strati di materiale argilloso impermeabile: questa zona viene comunemente identificata con il nome di Bassa Pianura.



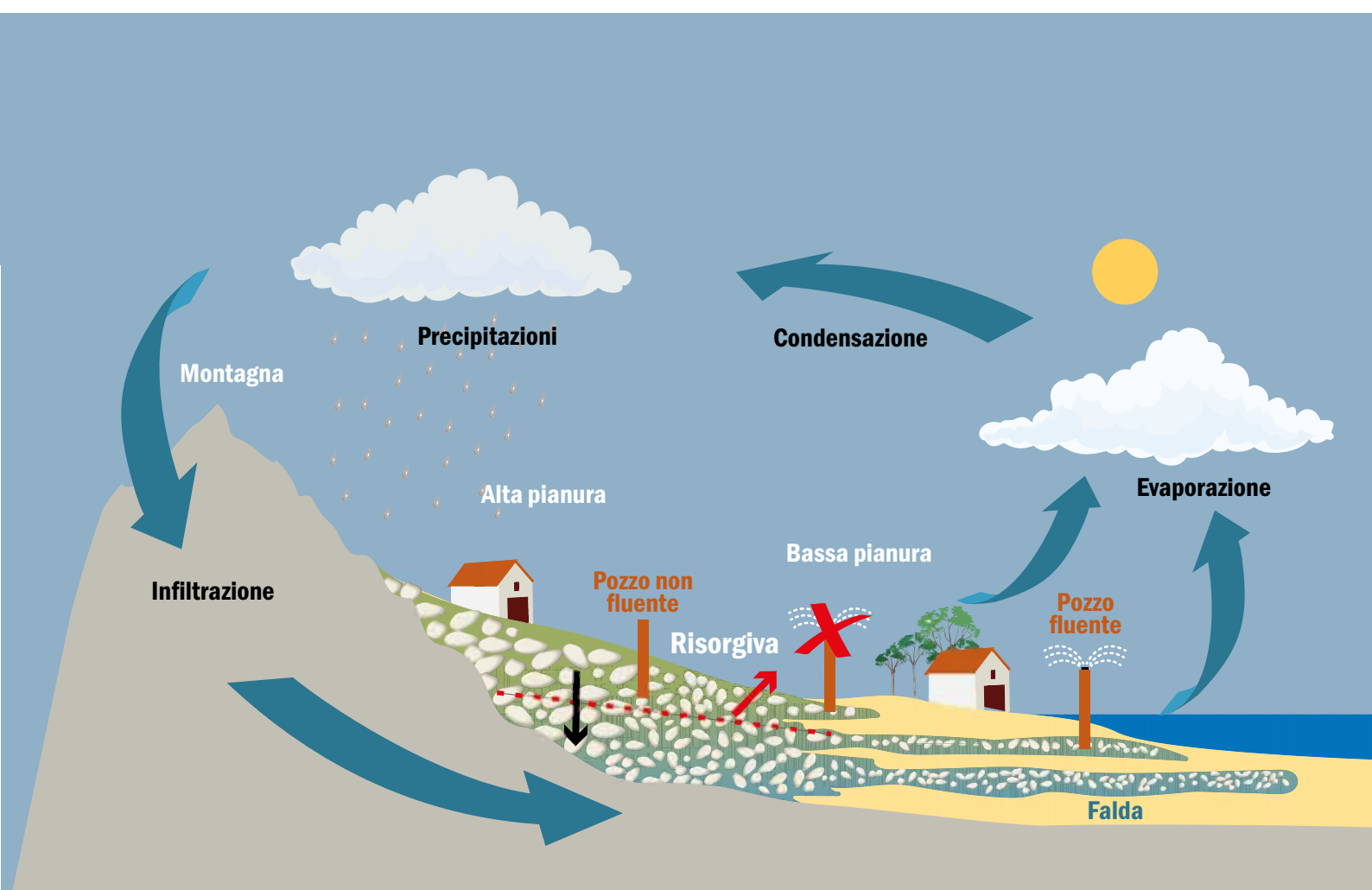
vari rii e fiumi di risorgiva (fiume Noncello, fiume Fiume, fiume Stella solo per citarne alcuni).

È possibile utilizzare l'acqua custodita in questo grande serbatoio mediante delle perforazioni più o meno profonde del terreno (*pozzi*) che ci permettono di raggiungere il livello dell'acqua accumulata nel sottosuolo. Se il pozzo viene realizzato in Alta Pianura (*pozzo freatico*) per poter estrarre l'acqua avremo bisogno di una pompa che ci permetta di sollevare l'acqua fino alla superficie. Viceversa se il pozzo viene costruito in Bassa Pianura (*pozzo artesiano*) l'acqua, grazie alla pressione che caratterizza le falde di questa zona, tenderà a risalire naturalmente fino alla superficie.

... CON UNA DINAMICA COMPLESSA

A regolare questo sistema idrogeologico complesso ci pensa il livello dell'acqua che si accumula nell'Alta Pianura: più questo livello è alto, maggiori saranno la portata delle risorgive e la pressione degli acquiferi della Bassa Pianura.

Cosa succede quando il livello nel serbatoio dell'Alta Pianura si abbassa? Per quanto riguarda le *risorgive* vedremo sgorgare meno acqua e la loro localizzazione si sposterà più a valle lasciando lunghi tratti dei fiumi di risorgiva con poca acqua se non completamente asciutti. Inoltre i *pozzi artesiani con minore profondità* e ubicati in prossimità delle risorgive tenderanno a non zampillare più naturalmente e il livello dell'acqua potrà scendere al di sotto del fondo del pozzo o della quota di pescaggio delle pompe lasciandoli in secca. Meno evidenti saranno gli effetti man mano che ci allontaniamo dalla linea delle risorgive e consideriamo *pozzi terebrati a maggiore profondità*: questi pozzi continueranno a zampillare naturalmente ma lasciando sgorgare meno acqua. Questa condizione però è ingannevole perché dà l'idea che non ci siano criticità nei nostri acquiferi: in realtà continuando a estrarre acqua dai pozzi più profondi si accelera la *diminuzione del livello del serbatoio dell'Alta Pianura*, per il costante richiamo d'acqua.



Schema degli effetti dell'abbassamento del livello dell'Alta Pianura.

I LIVELLI DELLE FALDE MAI COSÌ BASSI

Nel corso del **2022** il livello delle acque sotterranee della Pianura Friulana ha raggiunto i valori più bassi mai registrati nell'ultimo secolo, ovvero da quando è iniziato il suo monitoraggio nella nostra regione.

Le **precipitazioni**, a partire dall'autunno del 2021 e per tutto il 2022, hanno subito un **deficit di circa il 40%** rispetto alla media annuale (dati 1910 - 2022).

Precipitazioni ampiamente inferiori alla media del periodo e per un lasso di tempo così prolungato hanno determinato conseguenze pesanti sulla **portata dei corsi d'acqua**, sul grado di **riempimento degli invasi montani** e sulla **ricarica della falda** della Pianura Friulana. Vediamo nel dettaglio cosa è successo prendendo a riferimento quanto osservato nel piezometro di Forcate ubicato nel comune di Fontanafredda (PN).

L'**andamento medio** del livello di falda presenta, indicativamente, **due momenti di picco** nel corso dell'anno: uno a dicembre - gennaio, a seguito delle piogge autunnali, e uno, meno accentuato,

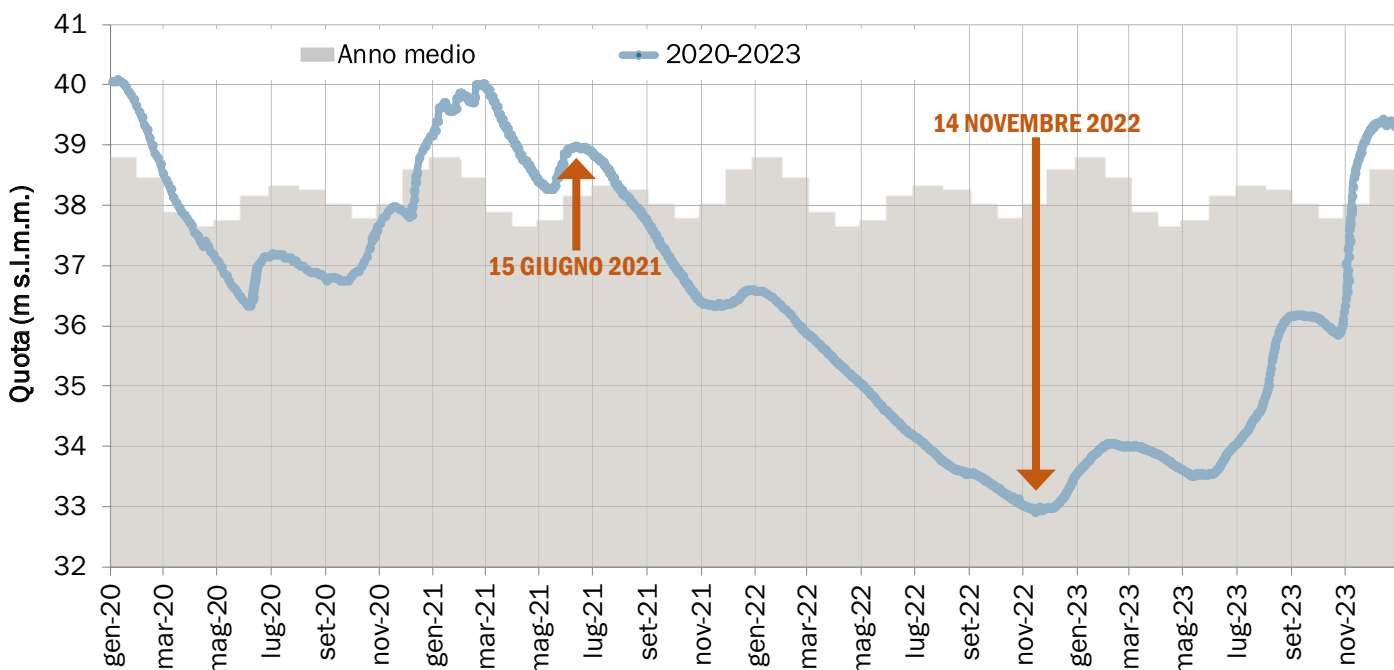
intorno a luglio a seguito delle piogge primaverili. L'autunno 2021 è stato avaro di precipitazioni e così pure l'intero 2022, di conseguenza sono **mancate completamente le ricariche relative all'autunno 2021 e alla primavera 2022**. Il livello di falda quindi a partire da metà giugno 2021 fino a metà novembre 2022 è sceso pressoché ininterrottamente arrivando, in questa zona, a perdere circa 6 metri di altezza d'acqua. Il precedente record apparteneva all'anno 2003 quando però la durata del periodo di magra della falda è stata di gran lunga inferiore, ovvero circa 10 mesi nel 2003 contro i quasi 20 mesi del periodo 2022-2023.



Foto: Edison Spa

Lago di Redona (o di Tramonti) in località Faidona l'11 febbraio 2022: evidente il grado di prosciugamento dell'invaso.

ANOMALIE DEL LIVELLO DELLA FALDA A FORCATE (FONTANAFREDDA)



Andamento della falda da gennaio 2020 a novembre 2023 (linea azzurra) e andamento medio del livello di falda (istogramma grigio) rilevati in comune di Fontanafredda.

LIVELLI BASSI: CON QUALI CONSEGUENZE?

Abbiamo visto che le acque sotterranee hanno un ruolo fondamentale nell'alimentazione dei **corsi d'acqua di risorgiva**: durante l'anno 2022 la loro portata è calata significativamente, per lunghi periodi e in maniera più accentuata durante l'estate 2022, sottoponendo in particolar modo a forte stress la fauna ittica.

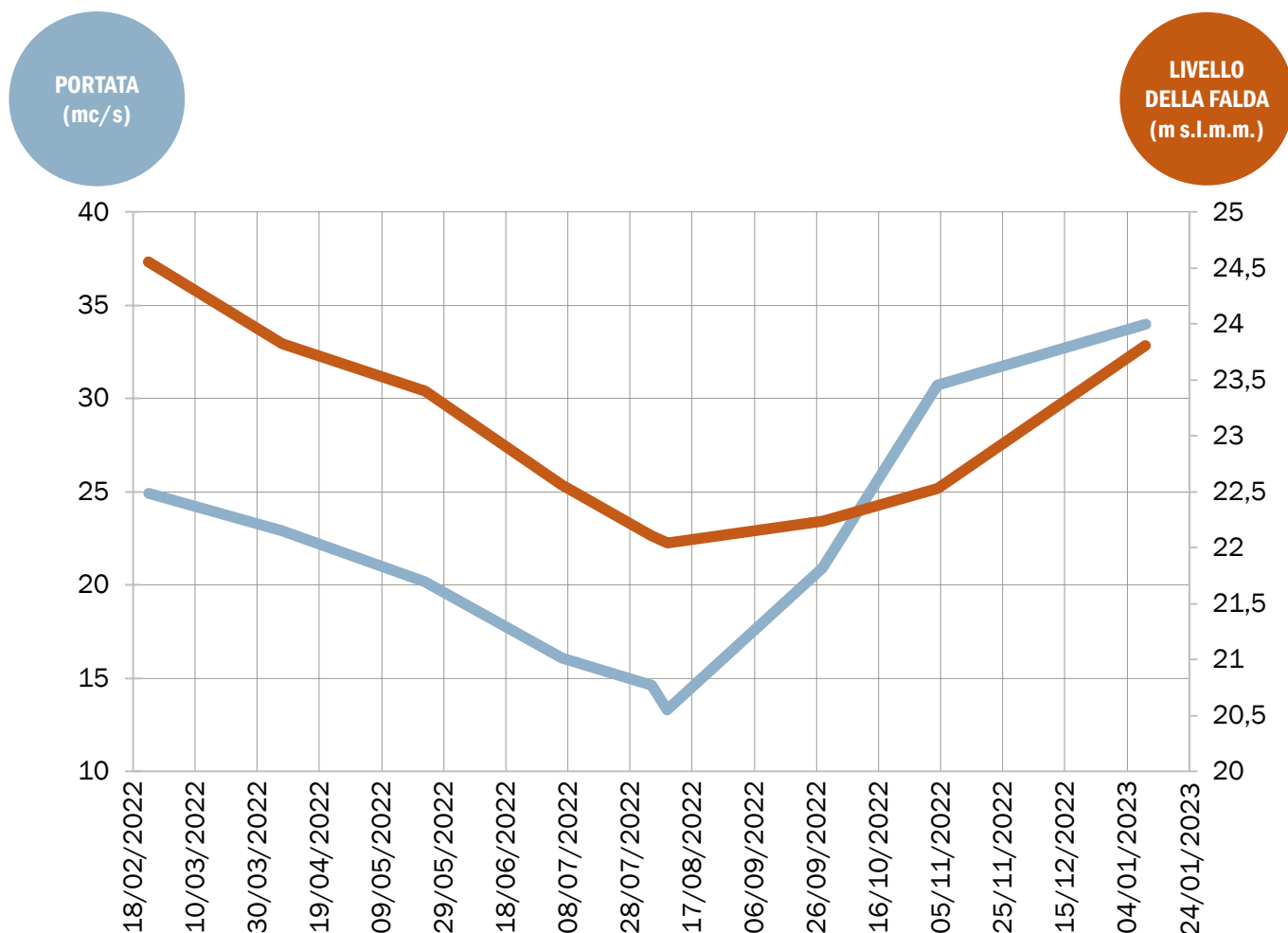
E cosa è successo invece alla **portata dei pozzi** nella Pianura Friulana?

Le maggiori conseguenze della diminuzione del livello della falda dell'Alta Pianura si sono rese evidenti nella Bassa Pianura a partire dall'area più prossima alle risorgive. I cittadini di questi Comuni hanno progressivamente notato che **le pompe nei giardini e le fontanelle comunali** non zampillavano più oppure avevano diminuito drasticamen-

te la loro portata. Si sono verificati anche numerosi casi nei quali si è dovuto intervenire mediante distribuzione di sacchetti di **acqua potabile alle abitazioni** non allacciate all'acquedotto e il cui sistema di approvvigionamento basato sul pozzo privato a causa del calo di pressione non era più in grado di fornire l'acqua necessaria. Gli stessi gestori degli **acquedotti** hanno dovuto fronteggiare alcune criticità legate alla minore disponibilità di acqua imponendone restrizioni all'uso ai propri utenti (ad esempio il divieto di innaffiare i giardini) o attivando il servizio di integrazione tramite autobotti per ovviare alla diminuzione di portata delle sorgenti che alimentano gli acquedotti montani.

Anche in **agricoltura** non sono mancati i disagi: in diversi casi i pozzi sono andati in secca e inoltre a causa dell'abbassamento del livello è stata necessaria maggiore energia per pompare l'acqua con conseguente aumento dei costi per irrigare.

PORTATA DEL FIUME STELLA E LIVELLO DI FALDA AD ARIIS (RIVIGNANO) NEL 2022



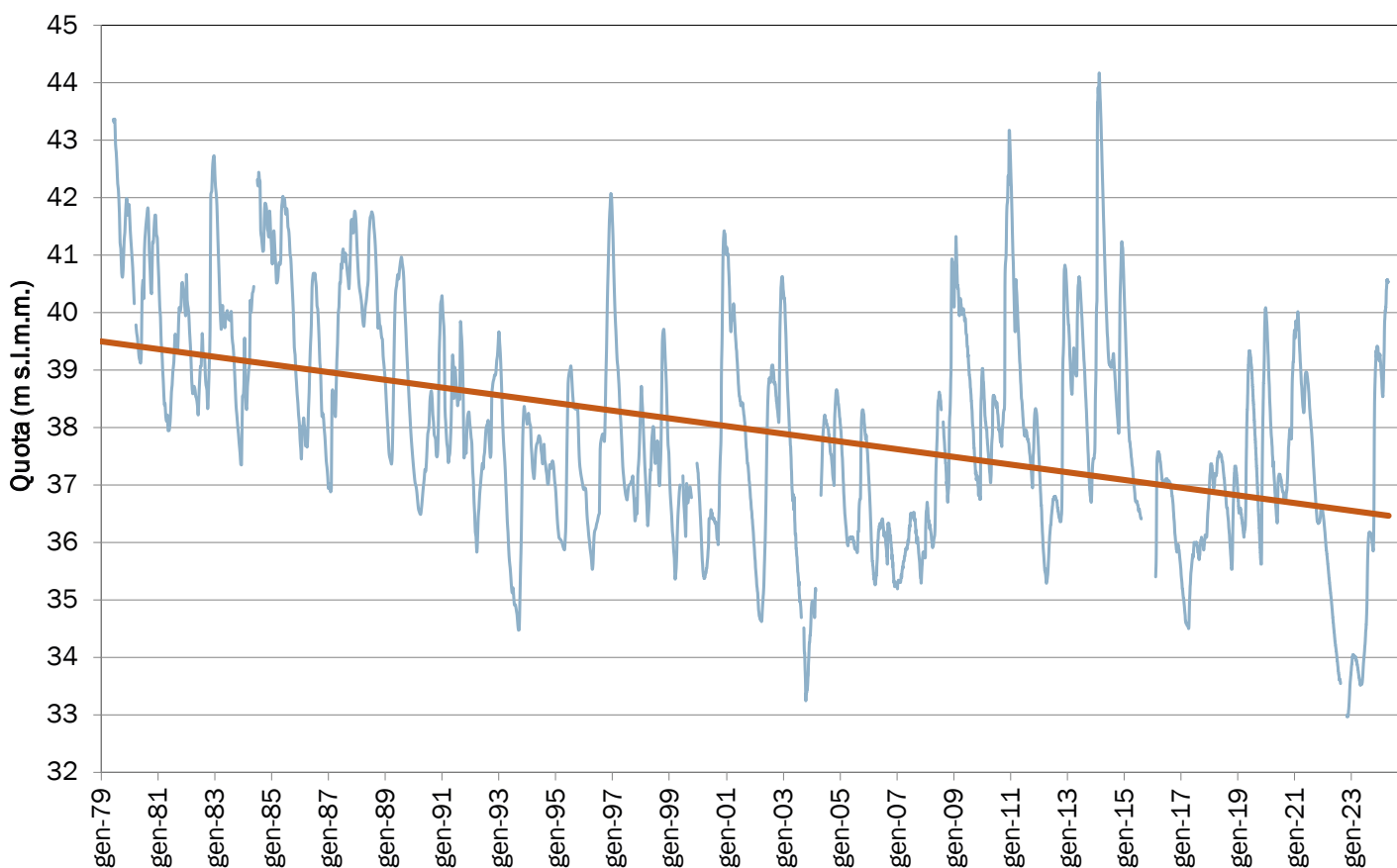
Andamento della portata del fiume Stella ad Ariis di Rivignano (linea azzurra) e confronto con il livello di falda (linea arancione) durante l'anno 2022. Si può osservare come la portata rispecchi l'andamento del livello di falda. Questo comportamento risulta ben evidente proprio nei periodi caratterizzati da scarse precipitazioni.

LA COLPA È SOLO DEL CLIMA?

Con l'autunno 2023 sono tornate le **copiose precipitazioni autunnali** che hanno determinato importanti piene nei corsi d'acqua. **L'effetto positivo sulla falda** è stato subito evidente perché i pozzi e le fontane comunali, che per mesi erano rimaste asciutte, da un giorno all'altro hanno iniziato nuovamente a zampillare con vigore. Sembra quindi che tutto sia tornato a posto e non ci siano motivi di preoccupazione: ma è veramente così? Per rispondere a questa domanda non bisogna limitarsi a osservare solo il singolo evento che, anche se di natura eccezionale, rappresenta solo un episodio, ma **bisogna analizzare l'andamento sul lungo periodo**. Le analisi di tendenza (mediante test di Mann-Kendall) effettuate sui dati rilevati in **58 piezometri della rete di monitoraggio regionale** ubicati nella Pianura Friulana hanno evidenziato la presenza di un trend storico decrescente **statisticamente significativo** in 47 casi. Per capire meglio di cosa stiamo parlando è utile osservare il grafico del piezometro di Forcate con evidenziata in rosso la linea di tendenza.

Al di là delle piogge molte basse del 2022 bisogna sottolineare come le piogge annuali sulla nostra regione non stiano diminuendo (come evidenziano i dati delle piogge di Udine dal 1900). Per cui **l'andamento decrescente** del livello delle falde sul lungo periodo è il segnale di un **utilizzo non in equilibrio** della risorsa sotterranea disponibile. Le cause di questo trend vanno ricercate sia nell'aumento progressivo del numero di **pozzi zampillanti** nella Bassa Pianura Friulana sia nei **prelievi da torrente** operati alla chiusura dei bacini montani che impediscono la dispersione graduale della portata dei corsi d'acqua determinando quindi una riduzione della ricarica dell'acquifero dell'Alta Pianura Friulana. La restituzione delle acque derivate infatti avviene solo a valle della linea delle risorgive dopo l'attraversamento dell'Alta Pianura in canali artificiali.

LIVELLO DI FALDA 1979-2023 A FORCATE (FONTANAFREDDA)



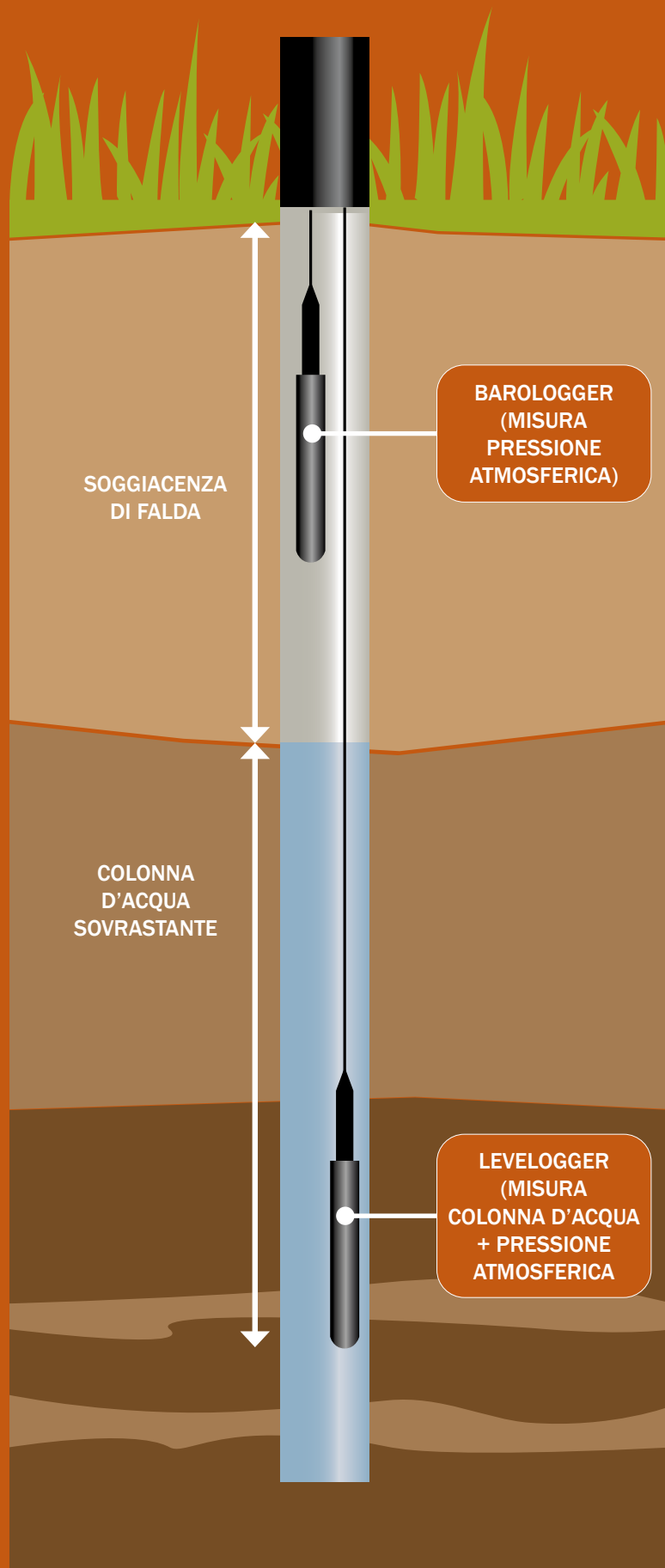
Andamento della falda rilevato in comune di Fontanafredda da gennaio 1979 a novembre 2023 (linea azzurra) con evidenziato l'andamento sul lungo periodo (linea arancione).

COME SI MISURA L'ALTEZZA DELLA FALDA?

L'Amministrazione regionale iniziò a gestire una propria rete di monitoraggio della falda freatica a partire dal 1967, in applicazione di quanto previsto nello Statuto di Autonomia e dalle successive leggi di settore. Già dagli anni venti tuttavia era operativa una rete gestita dal Magistrato alle Acque, che in seguito è stata acquisita dalla Regione. A partire dagli anni '70 la rete fu integrata fino ad arrivare a 330 stazioni di misura.

Oggi la rete è stata ottimizzata e conta 197 pozzi e piezometri ed è gestita dalla Regione (Unità operativa idrografica appartenente al Servizio gestione risorse idriche) e da altri enti territoriali (Consorzi di Bonifica, gestori del servizio idrico integrato, ecc.).

La misura dell'altezza della falda dell'Alta Pianura viene effettuata attraverso il piezometro che è semplicemente un pozzo con un diametro inferiore a quelli normalmente utilizzati per il prelievo di acqua, nel quale viene calata una sonda in grado di misurare l'altezza della colonna d'acqua. (falda freatica) o la pressione della falda (falda artesiane). Nel caso delle falde artesiane invece viene misurata la pressione tramite un manometro.



Piezometro.



Foto: Alberto Deana

UNA RISORSA DA PRESERVARE

Lo “Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia” curato da ARPA FVG in collaborazione con diversi enti scientifici regionali e pubblicato a marzo 2018, mostra come il meccanismo di ricarica della **falda freatica dell’Alta Pianura** nei prossimi decenni sarà modificato dall’impatto dei cambiamenti climatici in particolare nello scenario *business as usual*. In questo **scenario a emissioni crescenti di gas serra**, si assisterà a una **diminuzione della ricarica** complessiva annua unita a un **mercato calo nel periodo estivo della risorsa idrica**.

Se l’effetto del cambiamento climatico appare un tema di difficile risoluzione alla sola scala locale, viceversa la condizione di non equilibrio delle acque sotterranee della Pianura Friulana è una condizione reversibile e che **può essere migliorata con azioni concrete**, a beneficio sia degli utilizzatori che dello stato ecologico dei corsi d’acqua di risorgiva.

Giacomo Casagrande
Daniela Iervolino
Federica Lippi
Paolo Olivo

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia



LE ACQUE DOLCI: CAMBIARE PROSPETTIVA PER AFFRONTARE IL CLIMA CHE CAMBIA

Gli ecosistemi delle acque dolci sono particolarmente vulnerabili ai cambiamenti dell'ambiente e del clima. Un cambiamento nel nostro modo di percepirla e di gestirla è necessario non solo per preservarli, ma anche per consentire a essi di svolgere quelle funzioni che rappresentano soluzioni naturali efficaci per affrontare anche i cambiamenti climatici.

Foto: Marco Bertoli

Il Fiume Vipacco presso Savogna d'Isonzo.

Le acque dolci - termine che include ambienti tra loro molto diversi quali: fiumi, torrenti, laghi, stagni e paludi - sono sicuramente gli ecosistemi che maggiormente risentono dei cambiamenti ambientali in atto, inclusi quelli climatici. Essi da sempre sono particolarmente vulnerabili poiché ricevono i depositi degli inquinanti presenti in atmosfera, quelli provenienti con le acque di dilavamento dai territori circostanti e, nella loro parte terminale, quelli in ingresso, eventualmente, dal mare.



UNA GRADUALE PERDITA DI IMPORTANZA E DI RISPETTO

Visti dall'uomo in antichità come **luoghi di importanza vitale** - le più importanti città sono sorte nei pressi di grandi fiumi poiché l'acqua è indispensabile alla vita, ma anche per l'elevata fertilità dei terreni prossimi alle sponde - gli ecosistemi delle acque dolci hanno perso nel corso della storia la loro importanza.

Opere di canalizzazione hanno permesso di trasferire l'acqua dove serve per usi domestici, industriali e agricoli e anche il ruolo che i fiumi assumevano per il trasporto è stato per gran parte sostituito da strade e ferrovie. Gradualmente le acque dolci, agli occhi dell'uomo, hanno **perso di importanza** e sono state per lo più dimenticate e anzi trasformate in siti in cui riversare ogni tipo di rifiuto con la convinzione che la forza della corrente l'avrebbe portato via, lontano.

Senza più nessun tipo di rispetto, l'uomo ha progressivamente **trasformato gli ambienti dulciacquicoli**: captando quantità d'acqua senza valutare le esigenze di sopravvivenza degli ecosistemi in essi presenti, rettificandoli, costringendoli a scorrere in alvei cementificati, arginandoli e colonizzando le aree di loro pertinenza ovvero quelle interessate da piene ordinarie e non.

Tutto ciò nella cieca convinzione di riuscire a domare la forza delle correnti e le variazioni di portata.

Non è stato così e negli ultimi anni, con la crescente attenzione di fronte al verificarsi di eventi alluvionali di estreme proporzioni e gravità, questi ambienti e in particolare i fiumi sono divenuti per l'uomo dei temibili nemici, visti con sospetto e paura e comunque sempre trattati con poco rispetto.

È NECESSARIO CAMBIARE VISIONE

Cambiare questa visione è impresa difficile, ma tuttavia possibile e, soprattutto, necessaria. Necessaria per conservare la grande **biodiversità** vegetale e animale custodita in questi ambienti, molto spesso poco conosciuta, necessaria per la **sopravvivenza dell'uomo** e delle sue attività. Necessaria anche per far fronte agli effetti dei **cambiamenti climatici**, proprio grazie alle soluzioni che la natura stessa fornisce.

L'uomo deve fare nei confronti di questi ambienti un passo indietro e non solo in senso figurato,

permettendo ad esempio ai fiumi di esondare in alcune aree. Questa soluzione, oltre a contribuire alla gestione degli eventi di piena, consente lo svolgimento di un processo naturale fondamentale: le esondazioni infatti permettono al fiume di eliminare materiale inorganico e organico e ai terreni di essere da quest'ultimo fertilizzato o viceversa: tale "scambio" porta pertanto beneficio al fiume e al terreno.

I BENEFICI DELLA NATURALITÀ

Inoltre molteplici benefici derivano dal lasciare le aree limitrofe ai corsi d'acqua e alle zone lacustri in condizioni naturali, con presenza delle caratteristiche (autoctone) formazioni vegetali, poiché è ben nota la loro funzione di:

- **tampone** nei confronti di sostanze inquinanti provenienti dai territori circostanti,
- **rallentamento** della velocità della **corrente**,
- **ombreggiamento**,
- **corridoi ecologici** ovvero zone di **rifugio**, **alimentazione e nursery** per specie animali strettamente terrestri o per specie che utilizzano l'ambiente acquatico per una parte limitata della propria esistenza.

Di fronte alle variazioni nel regime delle piogge che già si evidenziano e che si accentueranno ancor più in futuro, è quindi fondamentale valu-

tare adeguatamente la **corretta quantità d'acqua utilizzabile** dall'uomo lasciando il giusto quantitativo per mantenere inalterato l'ecosistema presente, ma anche per **permettere al fiume di autodepurarsi**. Tra coloro che a vario titolo studiano le acque dolci è infatti ampiamente noto che il fiume è il migliore depuratore di sé stesso, grazie a una serie di processi quali: diluizione, sedimentazione, assimilazione vegetale, degradazione batterica, che possono manifestarsi tuttavia solo in presenza di una portata adeguata.

MANTENERE LA BIODIVERSITÀ

È di grande importanza sottolineare che la conservazione delle specie animali e vegetali tipiche di questi ambienti è prerogativa importante non solo per ecologi, ambientalisti o amanti della natura in genere ma per tutti poiché il mantenimento della biodiversità assicura attraverso la complessa catena trofica il **riciclo della materia**. Mantenimento della biodiversità che implica anche **non introdurre specie esotiche** o alloctone, di cui gli ambienti d'acqua dolce sono purtroppo già pieni e che potrebbero essere ulteriormente favorite dai cambiamenti del clima, poiché la loro presenza, per l'innescarsi di complessi meccanismi competitivi, porta sempre la rarefazione e la scomparsa di una o più specie autoctone.



UNA NATURALE RESILIENZA

Queste modifiche nel nostro atteggiamento e nelle nostre scelte di gestione del territorio potrebbero quindi rappresentare un importante punto di partenza per permettere agli ambienti d'acqua dolce di rispondere ai cambiamenti climatici che producono in essi innumerevoli effetti diretti, ma anche indiretti, spesso percepiti con ritardo, ripristinando la naturale resilienza che tali ambienti posseggono.

MACROINVERTEBRATI E AUTODEPURAZIONE DELLE ACQUE: UN CASO STUDIO IN FVG

Proprio in merito agli effetti indiretti dei cambiamenti climatici sui corsi d'acqua e più in particolare sulla capacità di autodepurazione degli stessi, nel corso degli anni 2021 e 2022, sono state condotte, dal Dipartimento di Scienze della Vita dell'Università degli Studi di Trieste, analisi a carico delle comunità macrozoobentoniche nel Fiume Vipacco, principale affluente del Fiume Isonzo in territorio italiano.

TRAPPOLE TROFICHE: UNA TECNICA EFFICACE

Lo studio in questione ha permesso di indagare l'inquinamento da microplastiche, attraverso il collocamento di trappole trofiche (*leaf bags technique*) – sostanzialmente pacchetti fogliari costituiti da foglie di canna di palude che vengono colonizzati naturalmente da macroinvertebrati bentonici – in tre stazioni collocate a monte e a valle di impianti di depurazione lungo il tratto italiano del Fiume Vipacco.

La tecnica delle trappole trofiche utilizzata per indagare il processo di decomposizione della sostanza organica, è risultata essere uno strumento alternativo ai tradizionali campionamenti di acqua con il retino da plancton poiché queste strutture **riescono ad accumulare l'inquinante** durante tutto il periodo di posa. Esse continuano ad accumulare anche nei periodi di maggiore trasporto, e grazie a questo aspetto è stato possibile evidenziare l'influenza di uno dei tre impianti di depurazione posto 20 m a monte rispetto a una delle stazioni selezionate per lo studio.



Foto: D. Lesa, Università di Trieste

Unità sub-campionaria utilizzata per il campionamento mediante pacchi fogliari (*leaf bag technique*).

LE COMUNITÀ MACROZOOBENTONICHE DELLE ACQUE DOLCI

Le comunità macrozoobentoniche sono composte da invertebrati dalle dimensioni superiori al millimetro, pertanto visibili a occhio nudo, che trascorrono gran parte del loro ciclo vitale a stretto contatto con il fondo; costituiscono queste comunità gli stadi larvali degli Insetti, i Molluschi, i Crostacei (ad esempio il gambero d'acqua dolce), gli Irudinei (come le sanguisughe) e diversi altri organismi animali.

Essi sono un elemento fondamentale per l'analisi dello stato ecologico delle acque interne essendo degli ottimi bioindicatori, poiché, variando la composizione delle loro comunità ci forniscono importanti indicazioni in merito a fenomeni di inquinamento in atto o avvenuti in un recente passato. Sono poi, dopo funghi e batteri, tra i primi consumatori e trasformatori della materia organica; a seconda dei generi occupano ruoli diversi e sono quindi in grado di svolgere diverse funzioni all'interno della piramide trofica delle acque.



Alcuni
macroinvertebrati
bentonici:
Efemerotteri (a, b, c)
Tricotteri (d, e)
Coleotteri (larve, f)
Ditteri (g, h, i)
Crostacei (j)
Molluschi
Gasteropodi (k)
Oligocheti (l)



Foto: Pierpaolo Colussi

TEMPERATURA, MICROPLASTICHE, PORTATE INFLUENZANO L'AUTODEPURAZIONE

Il contributo principale alla degradazione della sostanza organica è determinato da un fattore abiotico: **la temperatura**, che fluttua stagionalmente in modo significativo e conseguentemente definisce le diverse velocità di decomposizione. Gli **organismi tagliuzzatori**, ovvero macroinvertebrati che si cibano di foglie e materia organica di grosse dimensioni (maggiori di 1 millimetro) influenzano positivamente questo processo, e la loro importanza in percentuale, tra i fattori biotici e abiotici che influenzano la degradazione della materia, è risultata essere uguale ma opposta all'importanza relativa delle microplastiche contenute nelle trappole, che ovviamente ostacola tale processo. La **presenza di microplastiche influenza negativamente il processo** di decomposizione, poiché causa effetti nocivi sugli organismi coinvolti nel processo, che si nutrono anche di esse. Questa influenza viene amplificata da una minore capacità autodepurativa del fiume, anche causata, come in questo studio, da un

decremento nelle portate riscontrate durante il biennio di studio rispetto agli anni precedenti.

In conclusione, lo studio ha permesso di valutare le trappole trofiche come strumento ottimale di indagine non solo dei processi decompositivi ma anche dell'inquinamento da microplastiche e inoltre ha permesso di comprendere meglio gli effetti delle microplastiche su un processo cardine di questi ecosistemi. Effetti che con i cambiamenti climatici potranno verosimilmente amplificarsi, causando danni all'integrità dell'ecosistema e alla sua rete trofica.

Elisabetta Pizzul
Marco Bertoli

Università degli Studi di Trieste

PIOGGIA, EVAPOTRASPIRAZIONE E BILANCIO IDROCLIMATICO: IERI, OGGI E DOMANI

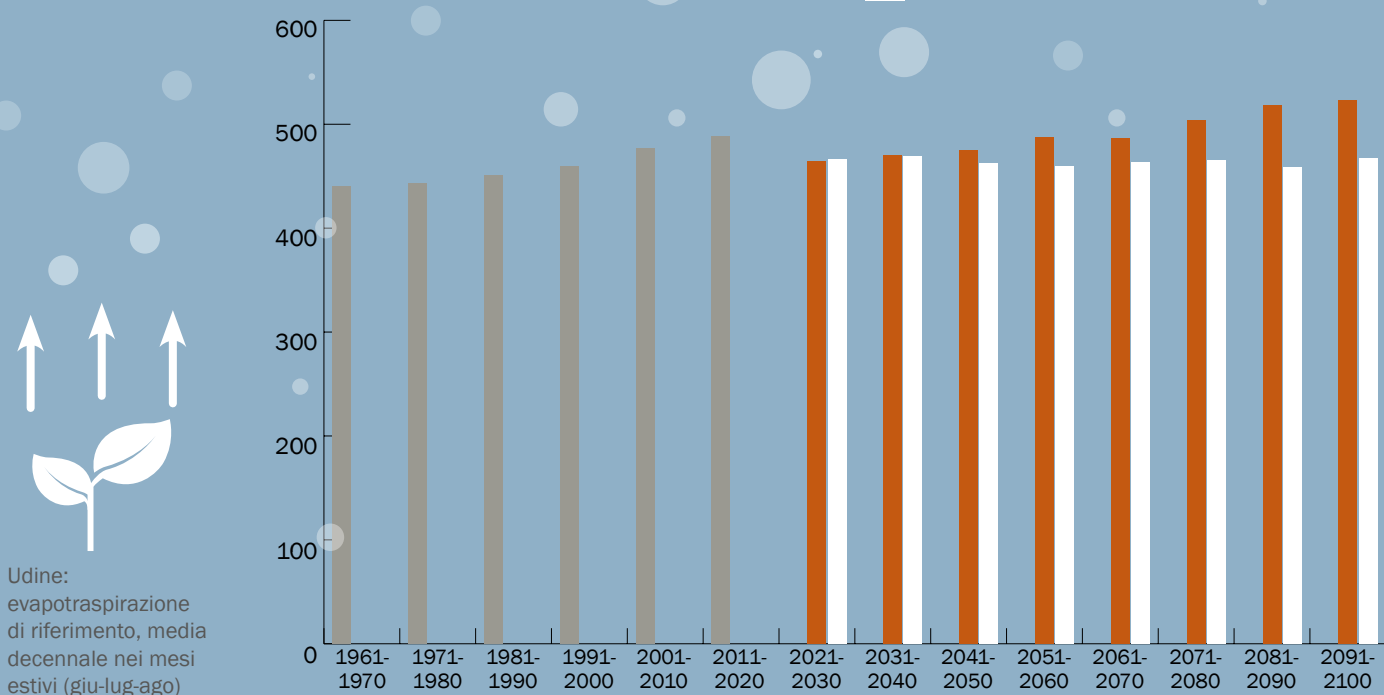
A partire dagli anni '60 durante l'estate in Friuli Venezia Giulia il bilancio idroclimatico, cioè la differenza tra piogge ed evapotraspirazione di riferimento, risulta sempre più negativo. In uno scenario a emissioni crescenti di gas serra, a fine secolo situazioni di forte siccità come quella registrata nel 2022 potrebbero essere molto più frequenti. Invece con una forte riduzione delle emissioni, il bilancio idroclimatico non varierà molto rispetto a oggi.

Foto: Federica Flapp

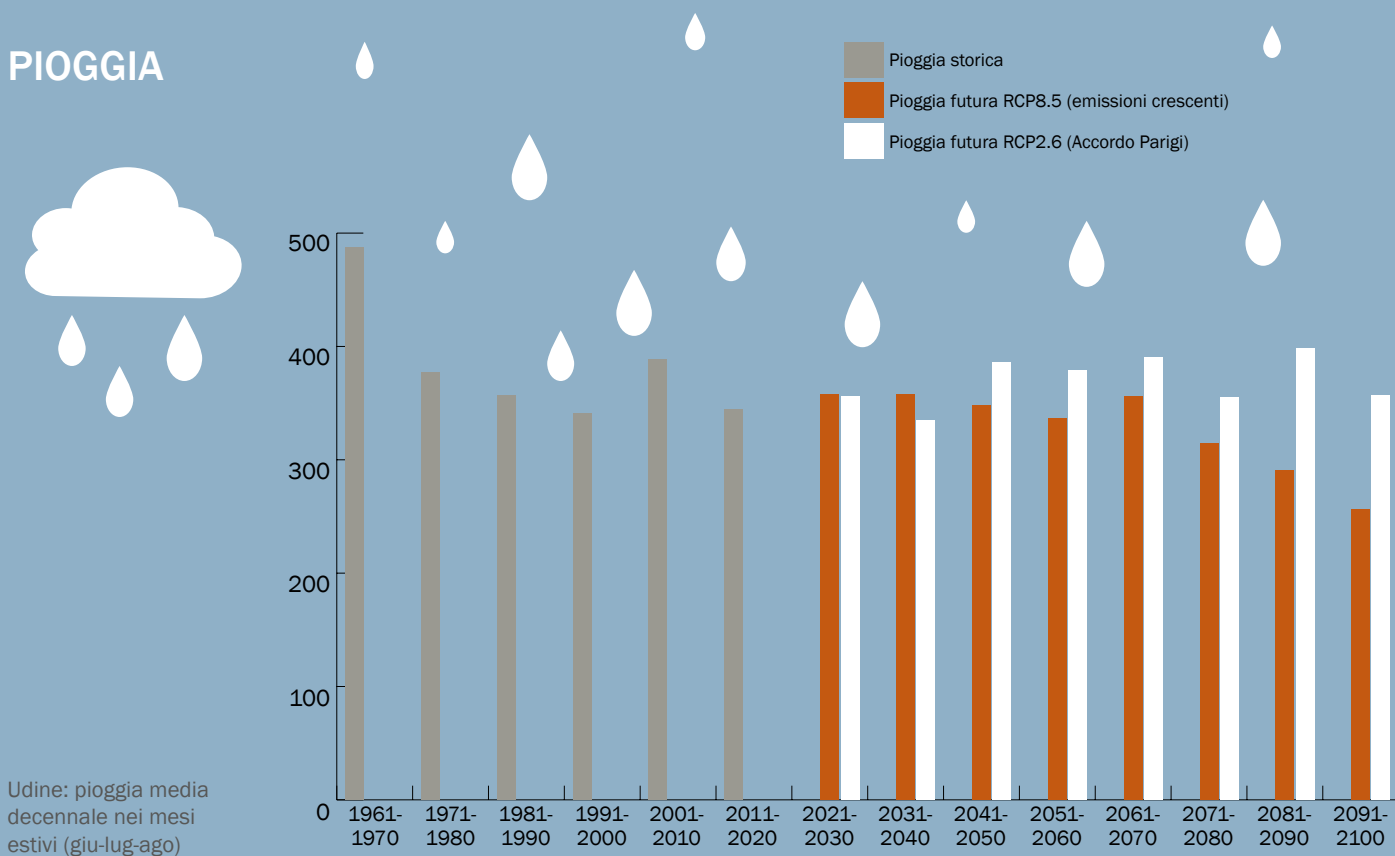
Di quanta acqua ha bisogno un bel prato perché durante l'estate non subisca mai uno stress idrico?

Questa quantità è espressa dall'evapotraspirazione di riferimento cioè quel volume d'acqua che il prato consuma per evaporazione dal suolo o traspirazione dell'erba, quando il terreno non si trova mai in condizioni di "penuria" d'acqua.

EVAPOTRASPIRAZIONE



PIOGGIA



COME È VARIATA L'EVAPOTRASPIRAZIONE DAGLI ANNI '60'

Nella media pianura friulana negli ultimi 60 anni l'evapotraspirazione di riferimento (ETO) media estiva è variata dai 440 mm degli anni '60 del secolo scorso (cioè 440 litri al metro quadrato) ai quasi 500 mm del secondo decennio del nuovo millennio. Come risulta facilmente intuibile **l'evapotraspirazione è legata alla temperatura**, quindi non stupisce che dagli anni '60 al crescere delle temperature estive anche questa grandezza sia **aumentata**, come si vede nella prima parte del grafico che illustra l'evapotraspirazione (istogrammi in grigio).

A fronte di queste esigenze idriche quanta acqua ha realmente a disposizione il nostro prato durante l'estate? Naturalmente escludendo l'eventuale irrigazione - o un contributo da falda - deve essere considerata solamente la pioggia.

COME È VARIATA LA PIOGGIA ESTIVA

Nella prima parte del grafico che illustra la pioggia media dei mesi estivi (istogrammi in grigio) si può notare che se negli anni '60 le piogge medie estive a Udine erano quasi di 500 mm, superiori

quindi alla evapotraspirazione, ma **a partire dagli anni '70** si è assistito a una generale **diminuzione delle piogge estive** fino ad attestarsi poco sopra ai 340 mm nel decennio 2011-2020.

IL BILANCIO IDROCLIMATICO

Per mettere assieme queste due informazioni si può esaminare il bilancio idroclimatico cioè la **differenza tra piogge ed evapotraspirazione di riferimento**. In prima approssimazione si può affermare che se questo bilancio è positivo le piogge riescono a soddisfare le esigenze idriche del prato, in caso contrario la coltura nel corso dell'estate andrà incontro a situazione di **stress**.

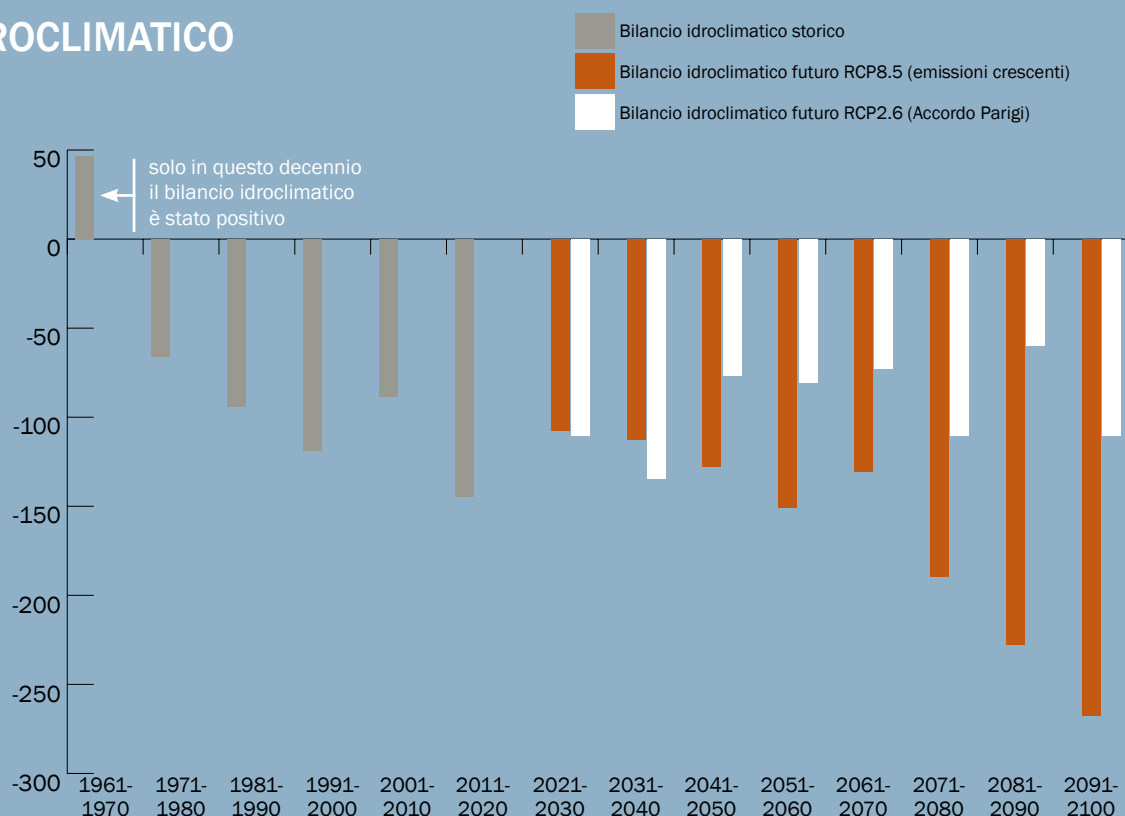
Quello appena espresso è un approccio semplificato che non tiene conto della eventuale riserva idrica contenuta nel terreno a inizio estate o delle perdite idriche per ruscellamento e percolazione dal terreno, ciononostante è molto utile per inquadrare il problema.

È interessante osservare che se negli anni '60 del secolo scorso il bilancio idroclimatico a Udine era positivo, al crescere **nei decenni** dell'evaporazione e alla contemporanea diminuzione delle piogge estive, questo sia diventato **sempre più negativo**.

BILANCIO IDROCLIMATICO (ESTATE)



Udine: bilancio idroclimatico estivo (pioggia - evapotraspirazione), media decennale nei mesi estivi (giu-lug-ago)





E IN FUTURO?

Nei tre grafici presentati, la pioggia, l'evapotraspirazione e il bilancio idroclimatico dagli anni sessanta a oggi sono rappresentati dagli istogrammi in grigio. Come varieranno in futuro?

Per stimare come potranno modificarsi pioggia e evapotraspirazione da oggi a fine secolo si devono ipotizzare **diversi scenari emissivi**, su cui i modelli climatici effettuano i calcoli per delineare la possibile climatologia del futuro. Nelle figure l'andamento delle variabili viene evidenziato: in bianco con riferimento allo scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP 2.6, Accordo di Parigi rispettato) e in arancione con riferimento allo scenario a emissioni crescenti (RCP 8.5, scenario "business as usual").

A fine secolo con lo scenario a emissioni ridotte la situazione sarà simile a quella attuale, mentre **nello scenario a emissioni crescenti** il bilancio idroclimatico presenterà dei **livelli molto più negativi di oggi**. In quest'ultima ipotesi saranno molto più comuni situazioni come quelle del 2022 dove, a Udine, a fronte di una pioggia estiva di 160 mm l'evapotraspirazione di riferimento ha raggiunto i 500 mm con un conseguente deficit pluviometrico di 340 mm.

Andrea Cicogna
ARPA FVG



IRRIGAZIONE E CAMBIAMENTI CLIMATICI IN FVG IN UN CONTESTO DI VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI

L'irrigazione può in parte compensare l'insufficiente disponibilità idrica dovuta ad aumento delle temperature ed eventi siccitosi. Per pianificare un uso sostenibile dell'acqua a fini irrigui servono analisi economiche che tengano conto non solo dei costi e ricavi di mercato, ma anche delle conseguenze positive o negative che l'investimento può avere sul benessere collettivo e in particolare sui servizi ecosistemici. Tenendo conto di tutti questi aspetti, i benefici dell'irrigazione risultano maggiori rispetto ai costi.

Foto: Federica Flapp

Dal dibattito scientifico internazionale che ha per oggetto il cambiamento climatico, emerge come di primaria importanza la necessità di riflettere sull'utilizzo delle risorse idriche secondo un criterio di "efficienza". La scarsità che contraddistingue, oramai piuttosto endemicamente, la risorsa acqua e che la caratterizzerà sempre più marcatamente nel prossimo futuro, richiede che la sua gestione avvenga in maniera "oculata" e in sintonia con i principi della sostenibilità, al fine di perpetuare la fornitura di tutti quei benefici a favore del benessere umano, che il *Millennium Ecosystem Assessment* ha definito "servizi ecosistemici".

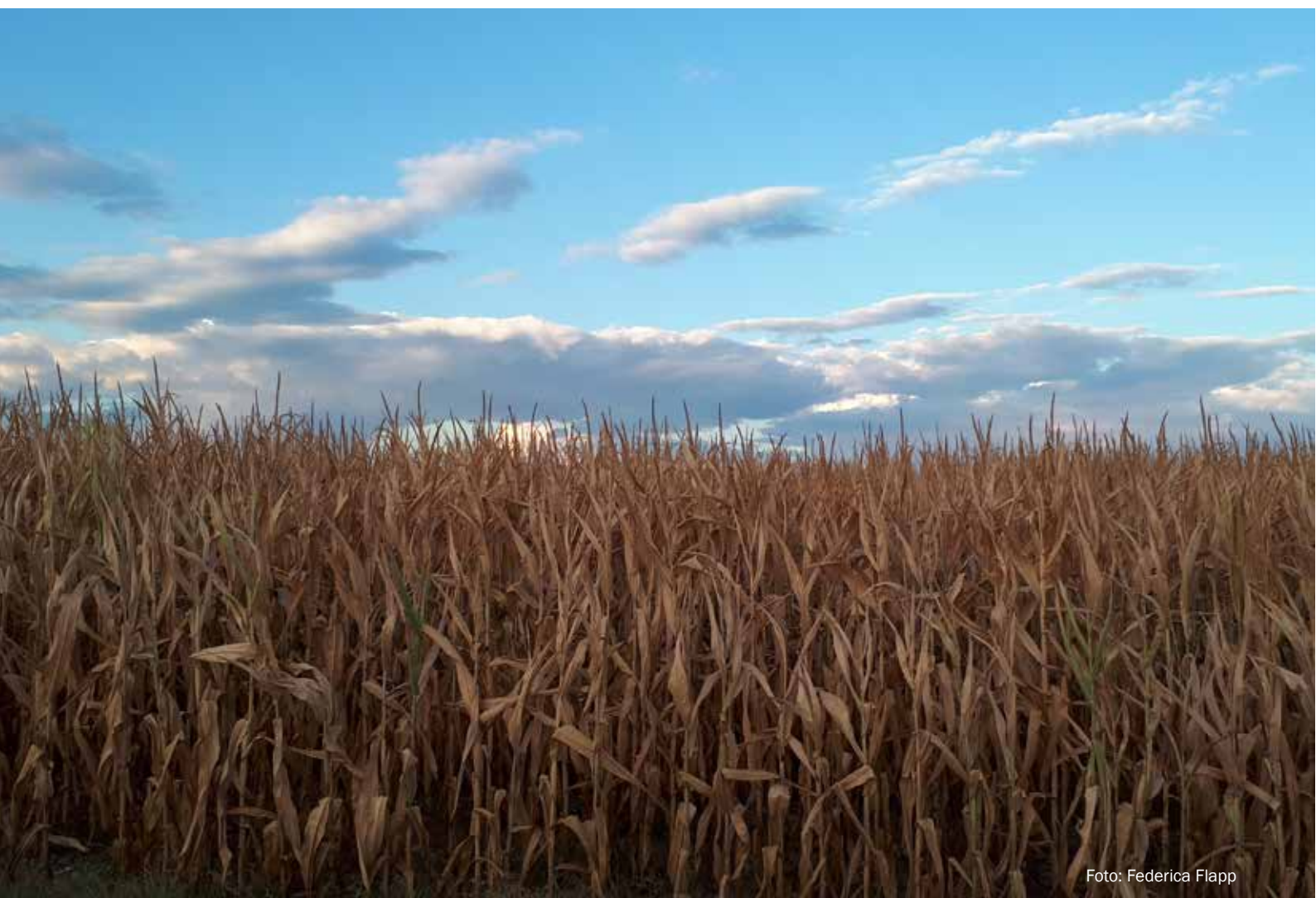


Foto: Federica Flapp

Mais seccatosi precocemente per la siccità estiva (luglio 2022).

L'USO SOSTENIBILE DELL'ACQUA IN AGRICOLTURA

Uno degli ambiti in cui l'uso sostenibile dell'acqua appare di estremo interesse, oltre a quello delle industrie manifatturiere idrovore e al settore energetico, è quello agricolo, laddove rappresenta un fondamentale fattore per la produzione di beni (“servizi ecosistemici di fornitura”). In questo caso, infatti, senza l'accesso alla risorsa, gli operatori non potrebbero garantire il corretto svolgimento delle loro attività.

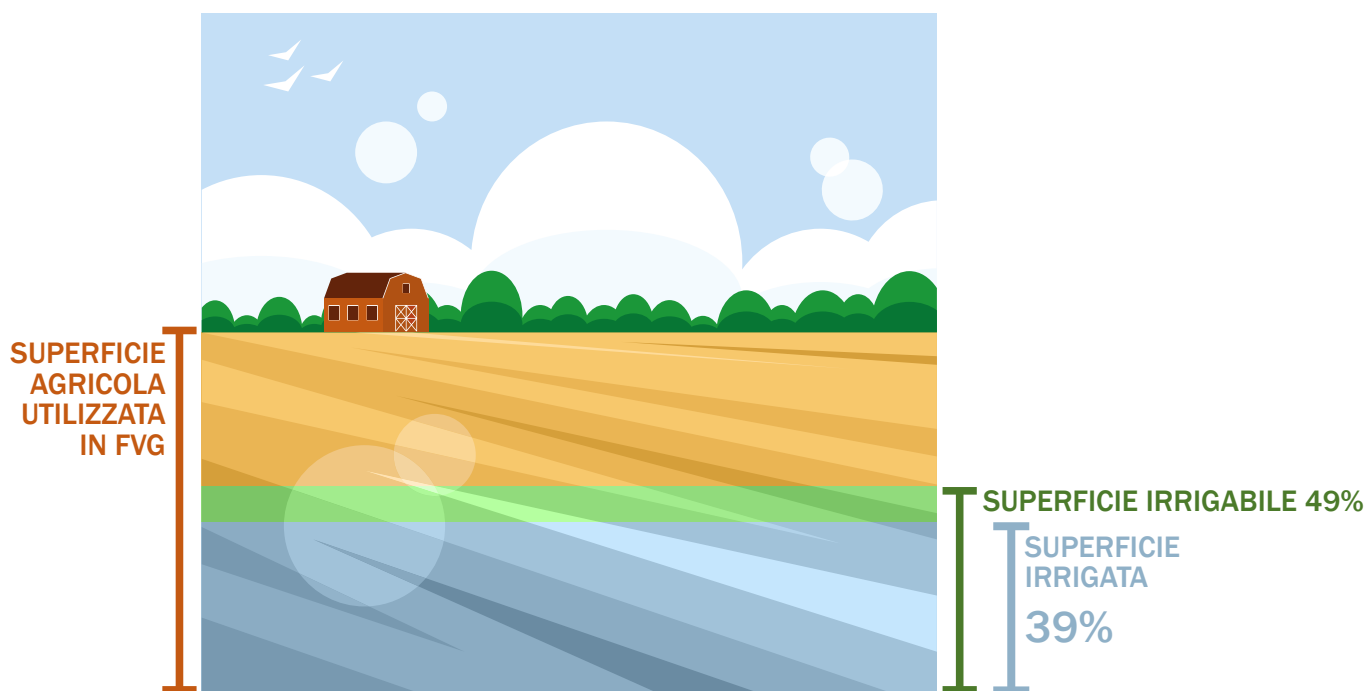
Nel settore agricolo, che comprende tutte le attività di agricoltura irrigua (coltivazione di colture permanenti e non permanenti tramite irrigazione), agricoltura non irrigua (coltivazione di colture tramite acqua piovana) e l'allevamento di animali, l'opportunità di **utilizzo dell'acqua a fini irrigui** è, infatti, un aspetto rilevante nel **processo decisionale imprenditoriale**. Tale importanza assume un'enfasi nel contesto attuale in cui la vul-

nerabilità evidenziata dall'agricoltura in relazione ai cambiamenti climatici si appalesa sulle rese. Queste, a causa delle **temperature elevate** e della **variabilità delle precipitazioni**, si riducono, talvolta, consistentemente, con rilevanti ripercussioni anche sulla redditività. In letteratura si rinvengono ricerche che stimano che l'impatto di tali eventi porti a **perdite del 30%** rispetto alle rese in anni con regolare disponibilità idrica. Si rileva, peraltro, che tali impatti si ripercuotano lungo tutta la filiera e non solo sulla produzione agricola. Data la **rilevanza delle colture irrigue**, che alcuni studi quantificano essere pari alla metà del valore economico nazionale della produzione agricola in Italia, la **gestione sostenibile delle risorse idriche** per affrontare i cambiamenti climatici risulta indispensabile e urgente. In tale contesto, l'irrigazione viene considerata una tecnica agricola valida per compensare, almeno parzialmente, l'insufficiente disponibilità idrica dovuta ai cambiamenti climatici.

L'IRRIGAZIONE IN FVG

Questa problematica legata alla gestione delle risorse idriche è presente anche sul territorio regionale e viene affrontata anche attraverso l'attività dei **Consorzi di bonifica e irrigazione**. Questi, derivando acqua da fiumi e bacini d'invaso, artificiali o comunque regolati dall'azione antropica, generano e sostengono un ecosistema irriguo che supporta l'attività agricola.

Il ruolo dell'irrigazione in Friuli Venezia Giulia è stato evidenziato dai dati del 7° Censimento generale dell'agricoltura, dai quali emerge che la **superficie irrigata** sulla Superficie Agricola Utilizzata è pari al **39%**, valore al di sopra sia del dato relativo al nord-est Italia (pari al 33%) sia alla media italiana, che si attesta al 20,6%. D'altra parte la superficie irrigabile raggiunge in regione il 49%, mentre al nord-est Italia supera il 50% (53,7% il dato in dettaglio) e a livello italiano si ferma al 30,6%.



L'analisi a livello di **aziende** agricole evidenzia che, rispetto al 60,7% di aziende connotate da superfici irrigabili, sono il **38,7%** quelle che hanno **superfici irrigate**.

Simile a quella sopra descritta è la situazione a livello di nord-est (con 66,2% e 45,2% di aziende con, rispettivamente, superficie irrigabile e irriga-

ta) e media italiana (42,8% e 27,7%, le rispettive percentuali). La distribuzione d'acqua che viene realizzata è in grado di sostenere e, a volte, creare ex novo **ecosistemi artificiali**, nonché interi **ambiti di paesaggio**, ampiamente diffusi nei contesti pedemontani e pianeggianti del Friuli Venezia Giulia .



L'ANALISI ECONOMICA PER SUPPORTARE LE DECISIONI

La necessità di gestire l'acqua come una **risorsa scarsa**, secondo un **criterio di efficienza**, ha chiamato da diverso tempo gli economisti a prestare la loro opera a supporto del processo decisionale. Di particolare interesse, a tal proposito, risulta il contributo che l'analisi economica apporta nell'iter previsto per la realizzazione di un progetto di investimento a fini irrigui, quando considera la **multidimensionalità degli effetti** che esso comporta, ossia quando non si limita a considerazioni di mera efficienza "tecnica". Ciò che, infatti, emerge preponderante agli occhi del decisore, in relazione all'utilizzo di queste tecniche, sono i costi che le stesse comportano, mentre altri aspetti, sia positivi sia negativi, legati alla loro realizzazione non paiono altrettanto evidenti.

VALUTARE LE ESTERNALITÀ

L'apporto degli economisti nella valutazione di un progetto di investimento è ampiamente consolidato nel contesto comunitario: l'analisi economica è fondamentale per supportare decisioni informate e segue apposite Linee Guida della Commissione Europea. Da questi documenti emerge l'importanza di prendere in considerazione dal punto di vista economico-monetario **tutti gli effetti** che un progetto di investimento crea **sul livello di benessere sociale**. Nel caso di un'opera da realizzare a fini irrigui si tratta, quindi, di affiancare ai costi finanziari e ai ricavi da tariffa per i servizi generati, tutti gli altri aspetti che impattano sul benessere della collettività coinvolta dall'intervento.

In questa prospettiva, che amplia il campo di valutazione, gli economisti cercano di esprimere con la stessa **unità di misura, la moneta**, i diversi impatti che conseguono dall'utilizzo delle risorse idriche tramite un progetto di irrigazione. Sovente si ha a che fare, infatti, con **aspetti per i quali non esiste un mercato** né, di conseguenza, un prezzo, ma che comunque manifestano delle conseguenze positive (benefici) o negative (danni) sul benessere della collettività. Tali impatti, definiti **esternalità positive o negative**, si trasferiscono dal progetto a parti terze senza che ci sia compensazione monetaria.

Poiché le esternalità oggetto di attenzione negli investimenti riguardanti le **infrastrutture pubbliche** si manifestano in modo rilevante attra-

verso l'ambiente, in cui le infrastrutture e gli usi a esse collegati sono collocate, esiste un evidente legame tra le esternalità e i succitati **servizi ecosistemici**, ovvero i benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano.

LE ESTERNALITÀ DELL'IRRIGAZIONE

Il settore irriguo, caratterizzato da interazioni articolate e territorialmente estese con gli ecosistemi, presenta **esternalità derivanti dall'uso delle risorse**, cioè nella fase di distribuzione a valle della consegna da parte del sistema di approvvigionamento idrico. Nel contesto dell'analisi economica è allora importante includere anche le esternalità dei progetti legati all'irrigazione, siano esse **negative**, dovute ad esempio al fatto che l'irrigazione possa compromettere lo stato dei corpi idrici naturali sia dal punto di vista quantitativo sia qualitativo, nonché le esternalità **positive**. Appartengono a quest'ultima categoria i "servizi ecosistemici di regolazione", quelli "culturali" e anche quelli "di supporto", che apportano benefici legati proprio all'utilizzo della risorsa acqua per l'irrigazione in ambito agricolo. Si tratta, più in dettaglio, di benefici derivanti dalla **complessità del sistema artificiale irriguo** e sono tali da influenzare il benessere umano, venendo a loro volta influenzati dalle attività antropiche. Infatti, il dipanarsi nei secoli dell'intervento umano volto alla regimentazione delle acque e all'irrigazione ha modificato il sistema naturale antecedente, creando un nuovo sistema "artificiale" talmente radicato nel tempo e nello spazio da aver raggiunto una complessità ecosistemica tale da essere motore e garanzia della fornitura di una estesa serie di **servizi ecosistemici**. Tra questi, come diversi studi mettono in evidenza, si ricordano:



Alcuni tra i servizi ecosistemici messi in evidenza da diversi studi.



Foto: Federica Flapp

VALUTARE I BENEFICI DELL'IRRIGAZIONE

Per catturare anche questi aspetti e inserirli nel processo decisionale, di particolare interesse risulta la **valutazione economico-monetaria** dei benefici, che sono generati dal flusso delle acque irrigue nel territorio e che creano effetti ritenuti rilevanti per la collettività. Come ricordano le Istituzioni, è necessario fornire una quantificazione monetaria delle esternalità in funzione del fatto che la realizzazione di un'opera di irrigazione sia in grado di produrre una variazione degli impatti già esistenti o consenta di mantenere un livello di servizio nella distribuzione delle risorse idriche al di sotto del quale si determinerebbero riduzioni degli impatti positivi già esistenti.

ATTRIBUIRE UN VALORE AI SERVIZI ECOSISTEMICI

Per attribuire un valore ai servizi ecosistemici collegati alla pratica dell'irrigazione e privi di mercato e di prezzo, gli economisti ricorrono al con-

etto di **Disponibilità a Pagare (DAP)** degli utenti, che misura l'importo massimo che i consumatori sono disposti a pagare per un'unità di un determinato bene o servizio. Sebbene esistano diversi metodi per stimare il valore economico-monetario dei servizi ecosistemici, molto diffuso è l'utilizzo delle **"preferenze dichiarate"**, che vengono raccolte mediante indagini con l'utilizzo del questionario. I dati, elaborati, consentono di quantificare il valore economico totale di tali servizi, che vengono, quindi, inclusi nelle voci considerate nel processo decisionale. Nonostante i continui miglioramenti metodologici, esistono dei benefici il cui valore non è a oggi agevolmente quantificabile in moneta. In tali casi il suggerimento che proviene da chi studia le tecniche estimative è quello di quantificare almeno in unità fisiche l'impatto (ad esempio, facendo riferimento ai servizi ecosistemici sopra descritti, la quantità di acqua purificata o ricaricata in falda) con l'obiettivo, anche in tal caso, di mettere il decisore in una situazione di scelta "informata".

BENEFICI MAGGIORI DEI COSTI

Scorrendo la letteratura che si è occupata di fornire una valutazione alle esternalità positive ambientali prodotte dalla derivazione e distribuzione d'acqua irrigua, è comunque possibile convalidare l'assunzione che l'irrigazione, contribuendo alla produzione di servizi ecosistemici e all'aumento della disponibilità dei beni ambientali, determini **una variazione netta positiva sul benessere collettivo**. Infatti, laddove la valutazione economico-monetaria si spinge ad abbraccia-

re le molteplici dimensioni che rappresentano gli effetti creati sulla collettività dall'agroecosistema irriguo, pare potersi affermare che venga scardinata la convinzione secondo cui l'azione umana generi sempre danno sulla capacità di un sistema naturale di fornire servizi ecosistemici. All'opposto, i benefici, monetariamente quantificati, sono maggiori dei costi: il benessere umano, nella ricerca di una modalità di contenimento delle conseguenze negative del cambiamento climatico, può provare a trovare comunque un vantaggio.

Antonio Massarutto
Francesco Marangon
Stefania Troiano

Università degli Studi di Udine



TRASFORMAZIONE DEI PAESAGGI DELLA BONIFICA E NUOVI DESERTI FRIULANI IN UN QUADRO DEI CAMBIAMENTI DEI MODELLI AGRICOLI E CLIMATICI

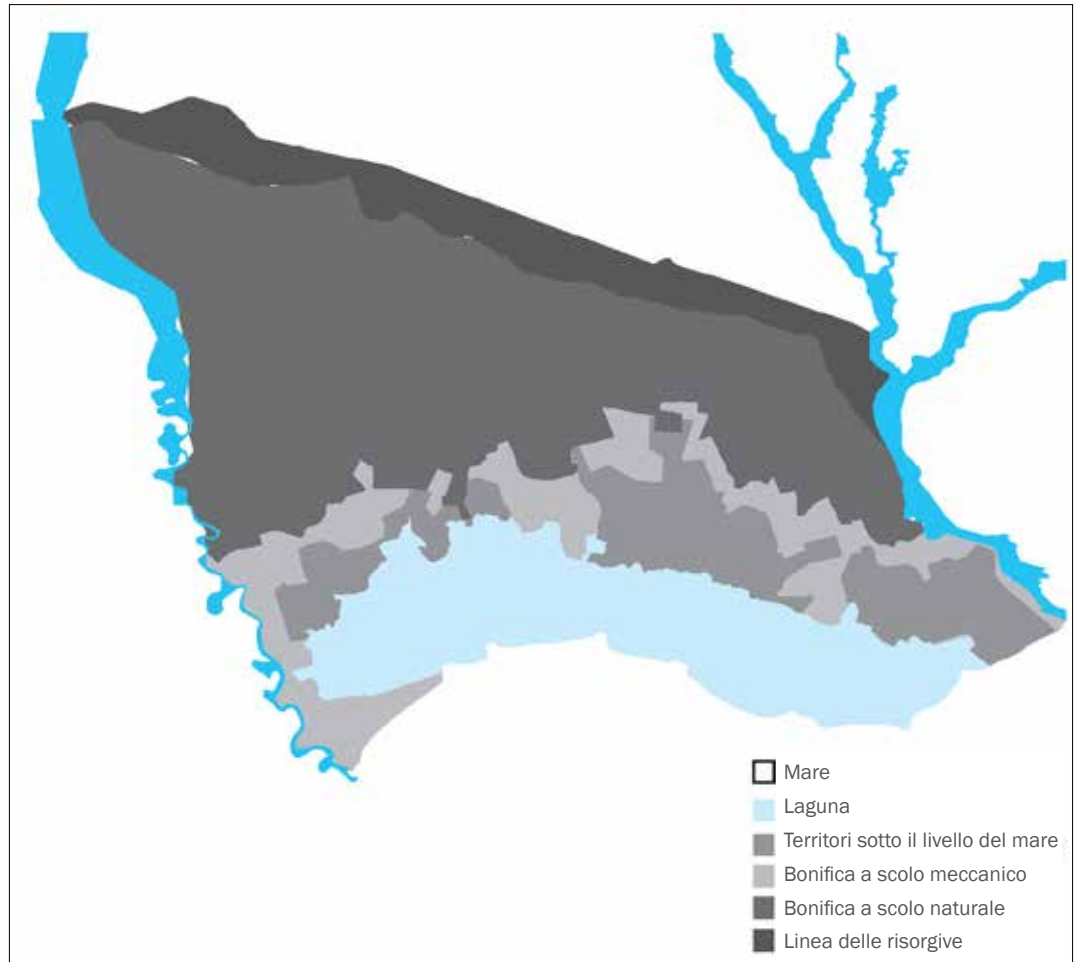
Le bonifiche della pianura friulano-isontina hanno modellato il paesaggio, creando un reticolo idrografico che oggi svolge rilevanti funzioni ecologiche. Questo patrimonio ambientale, storico e culturale è oggi messo a rischio da nuovi modelli agricoli e da modalità di efficientamento dell'irrigazione adottate per fronteggiare i cambiamenti climatici. È necessario trovare un equilibrio tra le esigenze di agricoltura, ambiente e paesaggio per arginare una vera e propria “desertificazione” del territorio.

Foto: Thomas Bisiani e Adriano Venudo

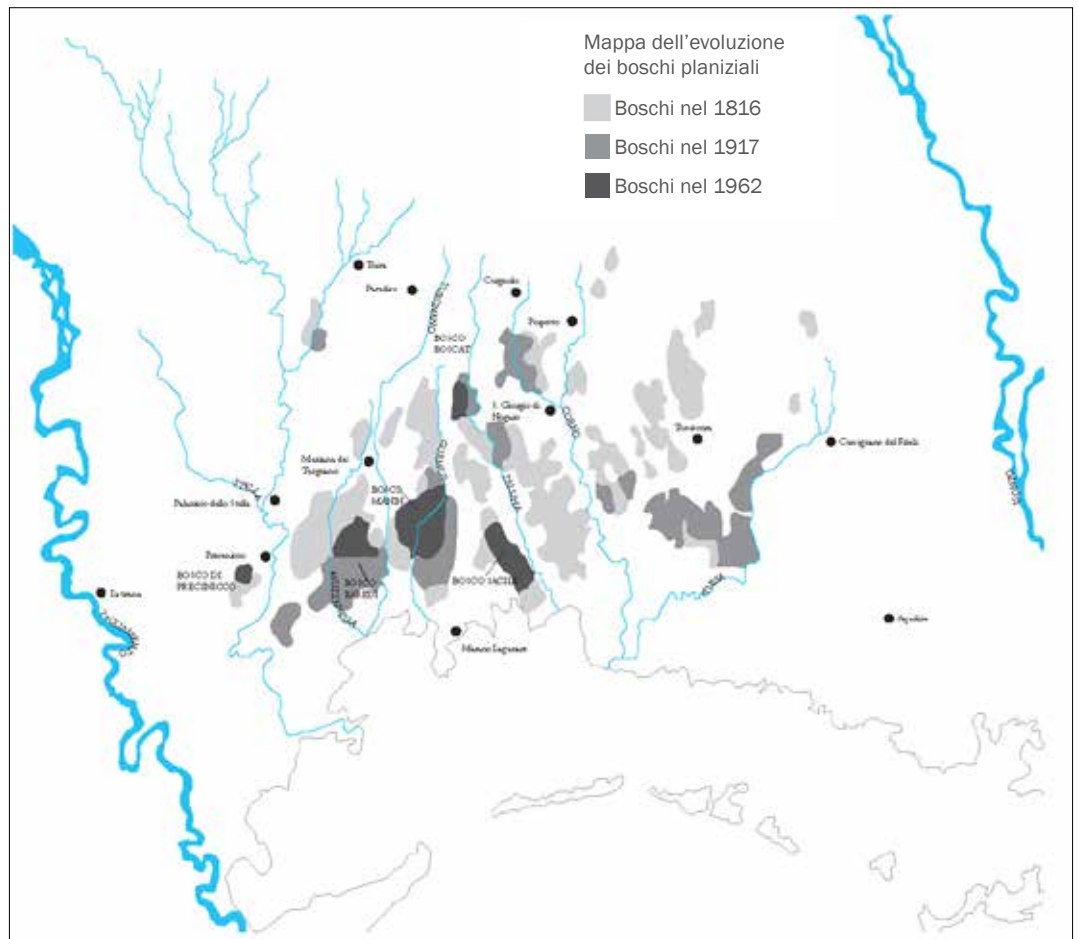
Tratto della campagna di bonifica tra Latisana e Precenico soggetta alle dinamiche di semplificazione paesaggistica e di riassetto idraulico alla base dei processi di desertificazione.

La campagna di bonifica della bassa pianura friulana e isontina, che si estende dal fiume Isonzo al fiume Tagliamento, è il più importante bacino agricolo del Friuli Venezia Giulia sia per produzione agroalimentare diretta che per l'indotto a essa collegato. Occupa circa 1/3 della superficie dell'intera regione e svolge un ruolo ambientale e paesaggistico rilevante per la struttura e i servizi ecosistemici della Rete Ecologica Regionale FVG, così come individuata e codificata dal Piano Paesaggistico Regionale FVG. Per queste ragioni è classificata all'interno di quelle aree definite “campagna di qualità paesaggistica con valore ecologico”.

La sua esistenza è relativamente giovane, rispetto ai tempi geologici della terra e a quelli storici di tracce, tracciati e sistemi insediativi territoriali, perché ha compiuto da poco “solo 100 anni”. Prima era infatti occupata dal grande bosco planiziale, il bosco allagato e da praterie umide. Era la *Silva Lupanica*, quella di cui ci parlano Plinio il Vecchio e Virgilio, che occupava tutte le “terre basse”, dalla “Stradalta” (l’attuale SR 252) fino alla gronda lagunare, allora segnata dalla strada consolare via Annia (circa l’attuale SR 14). E da qui, circa sulla gronda lagunare, cambiando “vestito”, sfumando nelle barene e velme della laguna.



Sistema paesaggistico-ambiente della bonifica in relazione alla tipologia di scolo (estratto dalla Tesi di Laurea Magistrale di Valentina Devescovi, 2021, Università degli Studi di Trieste).



Schema dell’evoluzione-involuzione del bosco planiziale e dei relitti ancora presenti nella campagna di bonifica (estratto dalla Tesi di Laurea Magistrale di Valentina Devescovi, 2021, Università degli Studi di Trieste).

IL “BONUM FACERE” CHE TRASFORMÒ LA PIANURA

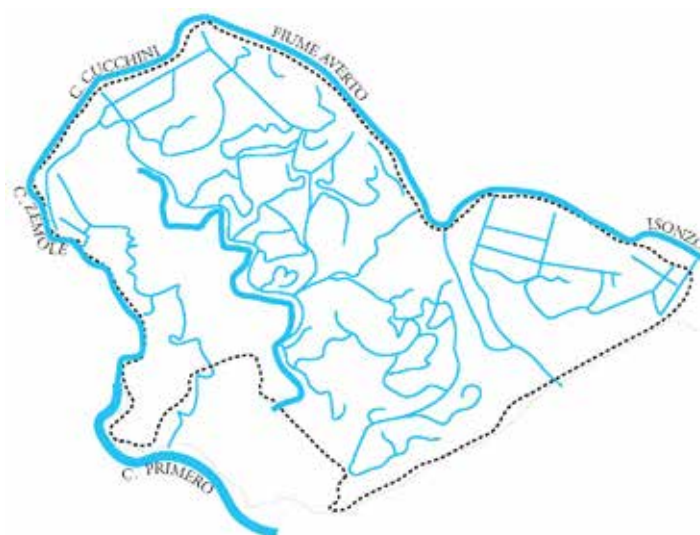
Il *Bonum Facere*, portato avanti per quasi 2000 anni con alterne vicende, e conclusosi tra gli anni '20 e '50 del secolo scorso con un'opera immensa sotto diversi profili, primo fra tutti quello idraulico, ma poi anche igienico sanitario, sociale, architettonico, geografico, ecc., permise di coltivare e soprattutto “abitare” le terre basse.

È quello della campagna di bonifica un assetto idrogeologico impresso a una porzione di territorio di scala regionale, le cui modalità di funzionamento e gestione sono rimasti pressoché invariati per quasi 70 anni, garantendo oltre che una terra coltivabile e quindi poi “abitabile”, una elevata qualità paesaggistica e rilevanti funzioni ecologiche i cui effetti positivi hanno riverberato sia a nord, nella cosiddetta campagna del “medio Friuli” che a sud, nella laguna di Grado e Marano, quest'ultimo il più importante serbatoio di naturalità e di biodiversità della Regione Friuli Venezia Giulia.

BONUM FACERE

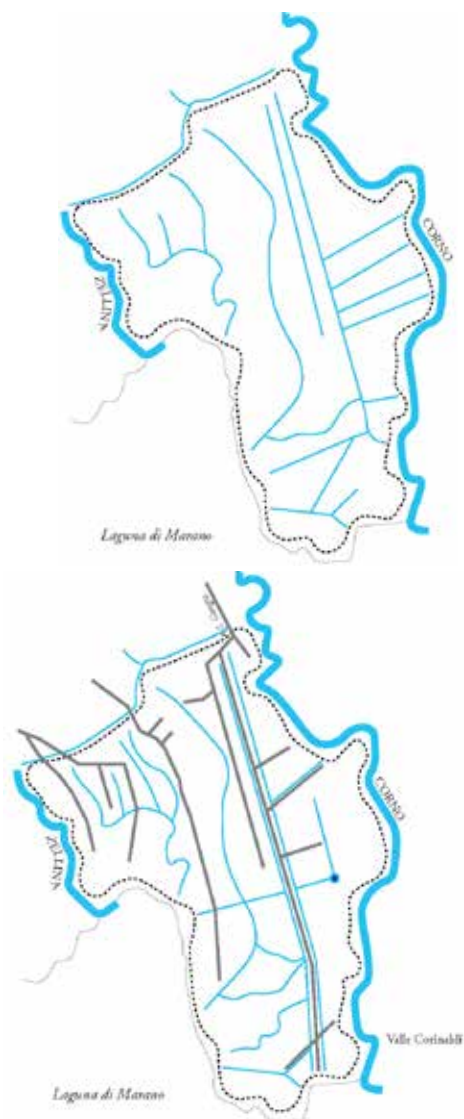
Il termine bonifica deriva dall'antico latino e precisamente dall'espressione “*bonum facere*”, che letteralmente significa “rendere buono”. Rispetto all'argomento in oggetto *Bonum Facere* significa letteralmente “rendere buono il territorio”, ovvero bonificarlo. Con questo termine si identifica la campagna ottenuta dalla bonifica di tutto l'ambito umido occupato, fin dall'epoca romana, dal bosco allagato della foresta planiziale.

Un tempo tutta la Pianura friulana era occupata da acque, paludi e boschi planiziali ed era quasi del tutto disabitata. L'area infatti era contemporaneamente minacciata sia dall'eccedenza delle acque provenienti da monte che dall'ingressione marina dovuta alle escursioni di marea e alle mareggiate. Nei primi decenni del secolo scorso, l'area è stata oggetto di operazioni di riordino fondiario e bonifica, in cui il reflusso delle acque è garantito da 32 impianti idrovori. La laguna di Grado e Marano è invece difesa da arginature che proteggono il territorio da mareggiate ed escursioni di marea.



Bonifica “della Vittoria”

Il comprensorio è di circa 3800 ha. I primi interventi bonificatori risalgono agli inizi del '900 sui bacini di Isola Morosini, Tiel Mondina e Fossalon. Tra il 1933 e il 1943, sono state compiute opere di bonifica (estratto della Tesi di Laurea Magistrale di Valentina Devescovi, 2021, Università degli Studi di Trieste).



UN PREZIOSO SISTEMA IDROGRAFICO-AMBIENTALE

Il **sistema idraulico della bonifica** che circa 100 anni fa ha letteralmente **ridisegnato la bassa pianura** friulana e isontina è impostato su di un complesso equilibrio idrografico organizzato su nove bacini, attraverso una rete gerarchizzata di collettori, canali, fossi, scoline e cavini, con un sistema misto, a scolo naturale e a scolo meccanico, che si intesta sull'argine della gronda lagunare. La rete idrografica principale e soprattutto quella minore (capifosso e scoline) costituiscono il più importante **connettivo ecologico** del sistema ambientale della campagna di bonifica del Friuli Venezia Giulia. Lungo questa rete proliferano siepi campestri, filari e boschetti ruderali, che costituiscono **habitat naturali e seminaturali** per numerose specie faunistiche e avifaunistiche, e che in alcuni casi sono anche degli importanti ecotopi.

LA TRASFORMAZIONE IN CORSO

Negli ultimi vent'anni **ragioni di redditività economica** ma soprattutto **nessità legate al cambiamento climatico** hanno innescato preoccupanti processi di trasformazione in questo delicato sistema idrografico-ambientale. Per poter garantire una più efficiente, veloce ed economica lavorabilità dei fondi i consorzi di bonifica e gli agricoltori hanno progressivamente **intubato la rete minore** sia quella di deflusso, che quella di drenaggio e raccolta, incanalandola in tubi drenanti o in condotte in pressione, eliminando fossi e scoline. Questa dinamica ha portato ad ampi riordini in **appezzamenti sempre più grandi** che facilitano e accelerano le arature, le raccolte (diminuendo "le voltate") o l'irrigazione meccanica (con i noti dispositivi a ranger o pivot) attraverso l'impiego di mezzi industriali sempre più produttivi, efficaci, ma anche sempre più grandi e ingombranti, la cui manovrabilità interferisce con il sistema idrografico minore.

A RISCHIO UN PATRIMONIO AMBIENTALE, STORICO, CULTURALE

Le condotte interrato in pressione rendono l'**approvvigionamento idrico** per l'irrigazione durante i **periodi di siccità**, sempre più frequenti, molto veloce, facile ed economico. Questo nuovo modello agricolo estensivo e semi-industriale sta generando, lentamente ma inesorabilmente, un



Bonifica "Planais"

Questo bacino di bonifica si estende per 350 ha nel Comune di Carlino e 500 ha nel Comune di San Giorgio. I lavori di bonifica iniziarono nel 1910 ma già in precedenza i proprietari terrieri avevano costruito dei piccoli argini di difesa delle coltivazioni (estratto della Tesi di Laurea Magistrale di Valentina Devescovi, 2021, Università degli Studi di Trieste).

nuovo assetto territoriale, che intacca innanzitutto il ridisegno delle maglie poderali, arrivando fino alla **cancellazione della rete idrografica superficiale**, quella più minuta e debole. Quella rete capillare fatta da fossi inerbiti e scoline con siepi ambientali, che però come dicevamo è la matrice paesaggistica del territorio della bonifica. Va sottolineato che la campagna di bonifica, per così com'è oggi, non è soltanto una risorsa produttiva, ma è un patrimonio in senso più ampio, con valenze antropologiche, sociali, storico-testimoniali e culturali. È la **cultura materiale del territorio**.

Gli attuali modelli agrari e il cambiamento climatico in atto sono quindi fortemente connessi all'interno di una **dinamica regressiva** i cui effetti a medio-lungo periodo preludono a una progressiva semplificazione del paesaggio e alla costante riduzione delle qualità ambientali. È questo uno scenario che certamente risponde alle necessità di cambiamento climatico, ma prefigura contemporaneamente **una nuova forma di desertificazione** (non sempre visibile a occhio nudo). Due risvolti dello stesso problema che vanno quindi riconsiderati in maniera sistemica negli scenari di lungo periodo sulle variazioni climatiche che prefigurano l'**innalzamento dei livelli dei mari** e quindi potenziali "riallagamenti" delle terre basse. L'innalzamento delle acque marine, combinato con **periodi di siccità prolungati e frequenti**, contribuisce inoltre a intensificare il fenomeno dell'intrusione marina, cioè dell'avanzamento del cosiddetto cuneo salino. La **salinizzazione** delle falde acquifere che ne deriva, in particolare nei periodi di scarse precipitazioni, può manifestarsi per diversi chilometri nell'entroterra, impedendo l'utilizzo delle risorse idriche del sottosuolo a fini agricoli.



Foto: Adriano Venudo e Thomas Bisiani

"Ranger": dispositivi automatizzati di irrigazione "a pioggia" utilizzati su tutto il territorio della campagna di bonifica. L'irrigazione con questi dispositivi è estremamente efficace ed economica, tuttavia per il funzionamento necessitano di "campagne senza ostacoli", quindi senza fossi, scoline, alberi e siepi campestri, elementi tipici della campagna di bonifica della bassa pianura friulana e isontina.



Foto: Adriano Venudo e Thomas Bisiani

Nuovi sistemi di irrigazione meccanica a sub infiltrazione che sostituiscono i tradizionali sistemi con fossi e scoline. questa soluzione migliora la produttività, economizza l'utilizzo dell'acqua, ma semplifica pericolosamente i caratteri qualitativi del territorio e le componenti paesaggistiche e ambientali della campagna di bonifica con la relativa riduzione di biodiversità, semplificazione del paesaggio e desertificazione.



Foto: Thomas Bisiani e Adriano Venudo

TRA SCARSITÀ ED ECCESSO D'ACQUA

Nelle “terre basse” l’acqua è quindi un elemento da cui difendersi, ma è anche un elemento che sempre più scarseggia. Potrebbe sembrare quasi un paradosso che oscilla tra scarsità ed eccesso, ma è proprio questo il contenuto e il tema progettuale, risorsa e trasformazione, **da affrontare in maniera integrata** per la campagna di bonifica nel prossimo e immediato futuro.

La questione assume così una dimensione complessa, e di conseguenza devono essere altrettanto complesse e ricche le possibili soluzioni, che assumono un carattere multilivello.

Campagna di bonifica, località 4° Partita, Aquileia.
Sistema misto: scoline e impianto di irrigazione a pressione.



Foto: Thomas Bisiani e Adriano Venudo

Campagna di bonifica. Difficoltà di drenaggio dopo un evento meteorologico intenso tra Palazzolo dello Stella e Muzzana del Turignano .



Foto: Thomas Bisiani e Adriano Venudo

Bosco Bolderate, relitto del bosco planiziale a Carlino

SOLUZIONI ARTICOLATE A QUESTIONI COMPLESSE

Il tema della **siccità e della salinizzazione** delle falde si può mitigare introducendo bacini di accumulo e affiancando ai modelli agricoli attuali soluzioni integrative, come le colture fuori suolo, capaci di ridurre l'utilizzo del terreno e della risorsa idrica.

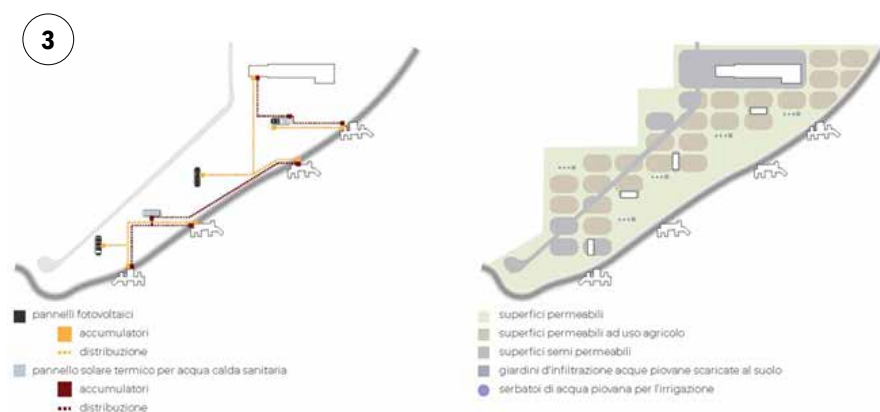
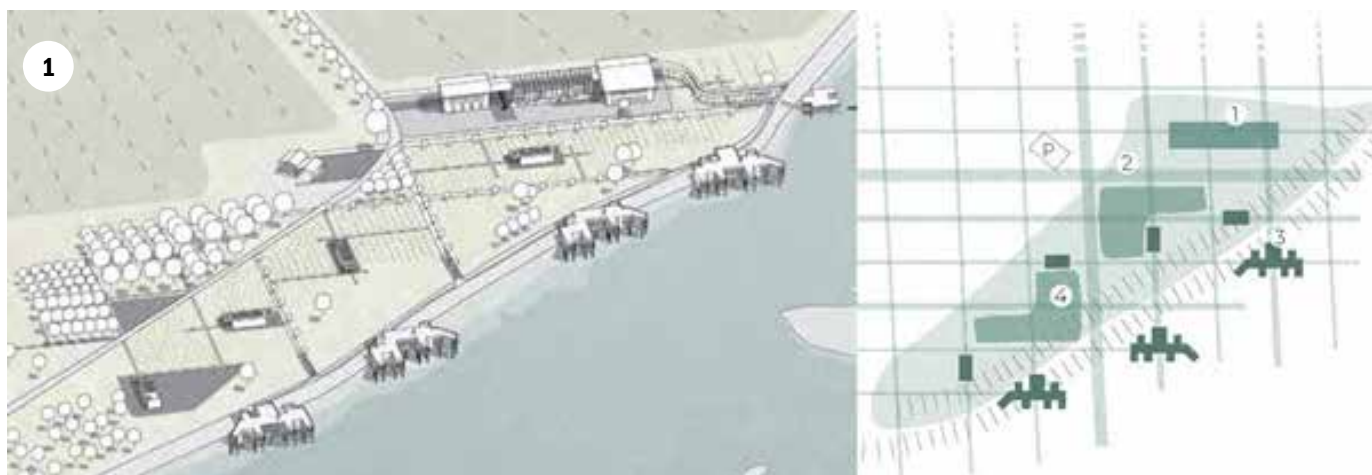
La **biodiversità** può venire incrementata promuovendo la conformazione di *hot spot* di naturalità collegati da fasce ed elementi lineari volti a costituire reti ecologiche sovrapposte alle aree dei terreni coltivati. Questi sistemi possono venire potenziati attraverso **forme di "sbonifica"** (come ad esempio il progetto pilota in prossimità dell'Isola della Cona e della "Bonifica della Vittoria") volte a ricostituire una quota di quelle che erano originarie zone umide, isole di boschi igrofilii, zone a boschetto.

Il paesaggio della bonifica è però anche un paesaggio fondamentalmente artificiale, un paesaggio di trasformazione, per questo motivo un importante fattore di contrasto alla desertificazione può

essere costituito dal presidio antropico. **Riabitare le campagne della bonifica**, riutilizzare il patrimonio delle case coloniche e dei manufatti abbandonati o sottoutilizzati in queste aree, sviluppare nuove tipologie insediative a partire da forme di residenzialità sostenibili e a basso impatto ambientale lungo argini e canali e reinventare nuovi utilizzi e significati attrattivi per antiche idrovore e manufatti idraulici della bonifica, può essere un contributo decisivo per garantire la "tenuta" di luoghi e paesaggi che oggi sono ancora percepiti come di qualità, ma che sono già in una fase di transizione. Questi nuovi modelli per riabitare la campagna (come il progetto sperimentale del "villaggio Rapâr") recuperano gli insediamenti dei coloni e il prezioso patrimonio architettonico-territoriale della bonifica secondo un nuovo paradigma più sostenibile, che è il paesaggio stesso della bonifica, quel "paesaggio continuo", tra l'Isonzo e il Tagliamento.

**Thomas Bisiani
Adriano Venudo**

Università degli Studi di Trieste

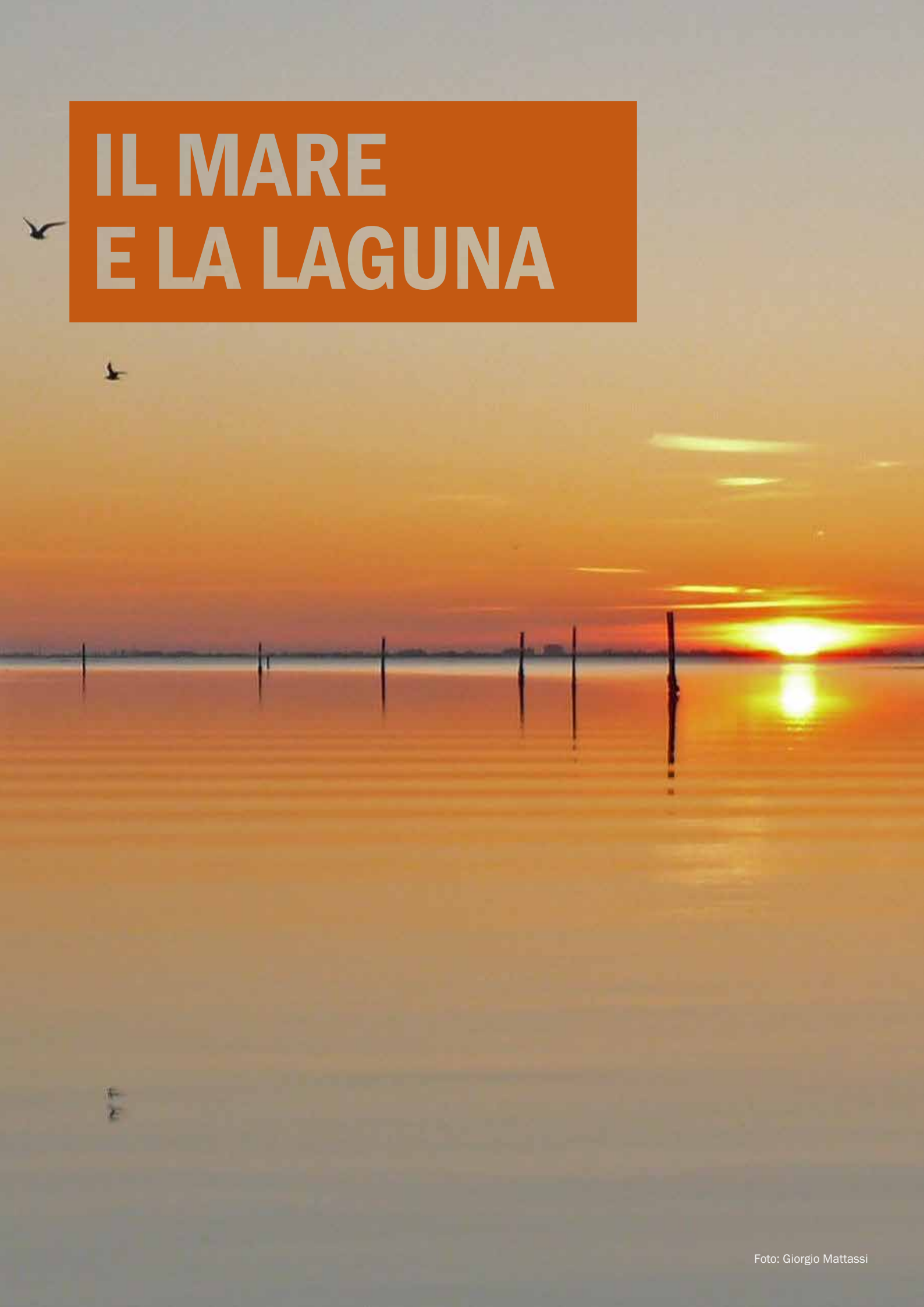


■ pannelli fotovoltaici
 ■ accumulatori
 ■ distribuzione
 ■ pannello solare termico per acqua calda sanitaria
 ■ accumulatori
 ■ distribuzione

■ superfici permeabili
 ■ superfici permeabili ad uso agricolo
 ■ superfici semi permeabili
 ■ giardini d'infiltrazione acque piovane scaricate al suolo
 ■ serbatoi di acqua piovana per l'irrigazione

Villaggio ecosostenibile "Rapâr", Aquileia in prossimità della foce del fiume Natissa. Modelli sperimentali per riabitare la campagna di bonifica.
 1) Vista prospettica e schema insediativo
 2) Masterplan
 3) Schemi sulla sostenibilità (utilizzo delle fonti rinnovabili e trattamento delle acque meteoriche)
 (estratti della Tesi di Laurea Magistrale di Emma Donadon e Elisabetta Nascig, 2023, Università degli Studi di Trieste).

IL MARE E LA LAGUNA



IL MARE E LA LAGUNA

Livello, temperatura, salinità delle acque e cambiamenti negli ecosistemi

Il mare sta subendo importanti cambiamenti, di cui forse non ci accorgiamo tanto perché meno direttamente percepibili.

Il livello medio del mare sta aumentando costantemente, così come la sua temperatura, sia a livello globale che localmente nel nord Adriatico. Ciò influisce sulle correnti marine e sugli ecosistemi, con effetti e modifiche importanti sulle popolazioni di pesci e altri organismi che popolano il nostro mare e le nostre lagune. E queste si ripercuotono poi sui comparti della pesca e dell'acquacoltura.

Preservare la naturalità degli habitat marini e lagunari può renderli più resilienti e tutelare le produzioni locali.



LIVELLO DEL MARE NEL 2023: IL TERZO PIÙ ALTO MAI REGISTRATO

Foto: Furio Pieri

Il livello medio del mare a Trieste nel 2023 è stato il terzo più alto dell'intera serie temporale disponibile. Tra il 27 ottobre e il 5 novembre si sono verificati numerosi eventi di "acqua alta" lungo il litorale della regione, con cinque episodi in cui il mare ha superato il livello dei moli a Trieste.

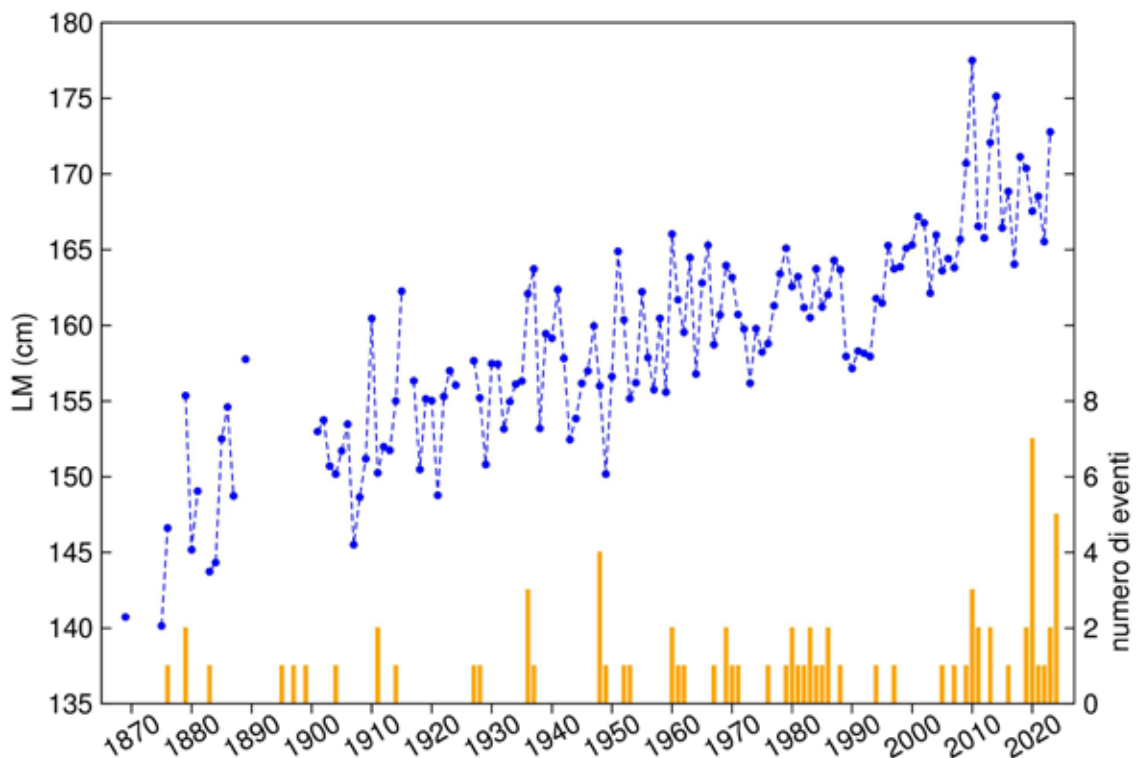
Il riscaldamento atmosferico globale in corso è responsabile dell'aumento del livello medio del mare attraverso due meccanismi, cioè l'aumento del volume dell'Oceano per dilatazione termica e l'aumento della massa oceanica dovuto alla fusione dei ghiacci continentali. Durante il 20° secolo il livello 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 globale sulle scale temporali pluridecennali e secolari, aumentando alla velocità di 1,5 mm/anno fino a metà anni '60 del secolo scorso e a **2,8 mm/anno dal 1993**. Le variazioni su tempi più brevi, che si sovrappongono all'andamento secolare, sono in relazione con la circolazione atmosferica e marina del nord Atlantico e del Mediterraneo.

IL LIVELLO DEL MARE A TRIESTE

Al Molo Sartorio (Trieste) 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.

Nel 2023 il livello medio è stato di 172,8 cm, che rappresenta il terzo valore più alto dell’intera serie temporale dal 1869, dopo quelli del 2010 e del 2014.



Livello medio (LM) annuale dal 1869 al 2023 osservato a Trieste Molo Sartorio; l’altezza è misurata rispetto alla zero mareografico. Numero annuo di eventi di superamento del piano del molo Sartorio (istogramma arancione). (Dati: CNR-ISMAR e ARPA FVG - RAFVG).

GLI EVENTI DI ACQUA ALTA

Una conseguenza dell’aumento del livello medio del mare, rilevante per il litorale della nostra regione è, in media, la crescente frequenza di eventi di “acqua alta”. Tali fenomeni si verificano in corrispondenza di bassa pressione atmosferica e correnti di Scirocco lungo l’Adriatico, tipicamente 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.

Negli ultimi giorni di ottobre e i primi di novembre la bassa pressione e, soprattutto, i forti venti meridionali hanno prodotto vari eventi di “acqua alta”, con cinque episodi di tracimazione sopra il piano del Molo Sartorio. Il primo del 27 ottobre e l’ultimo del 5 novembre hanno superato il piano del molo di oltre 20 cm; gli altri tre, del 28 e 30 ottobre e del 3 novembre, lo hanno superato di pochi centimetri.

L’istogramma arancione nella figura mostra, per ogni anno, il numero di giorni in cui il livello ha superato l’altezza del piano del Molo Sartorio. Nel periodo considerato oltre un terzo degli eventi

(26 su 69) è stato osservato a partire dal 2010; pertanto, la loro frequenza media è più che quadruplicata, passando da 0,4 eventi all’anno prima del 2010, a 1,7 eventi all’anno successivamente.

CONTA ANCHE LA SUBSIDENZA

L’andamento 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. In prospettiva futura la subsidenza del suolo comporta maggiori rischi per le aree costiere in termini di inondazioni, erosione costiera, ostacolo posto allo scarico fluviale in mare, innalzamento della tavola d’acqua e salinizzazione del sottosuolo causata dalla penetrazione dell’acqua marina.

Fabio Raicich
CNR-ISMAR

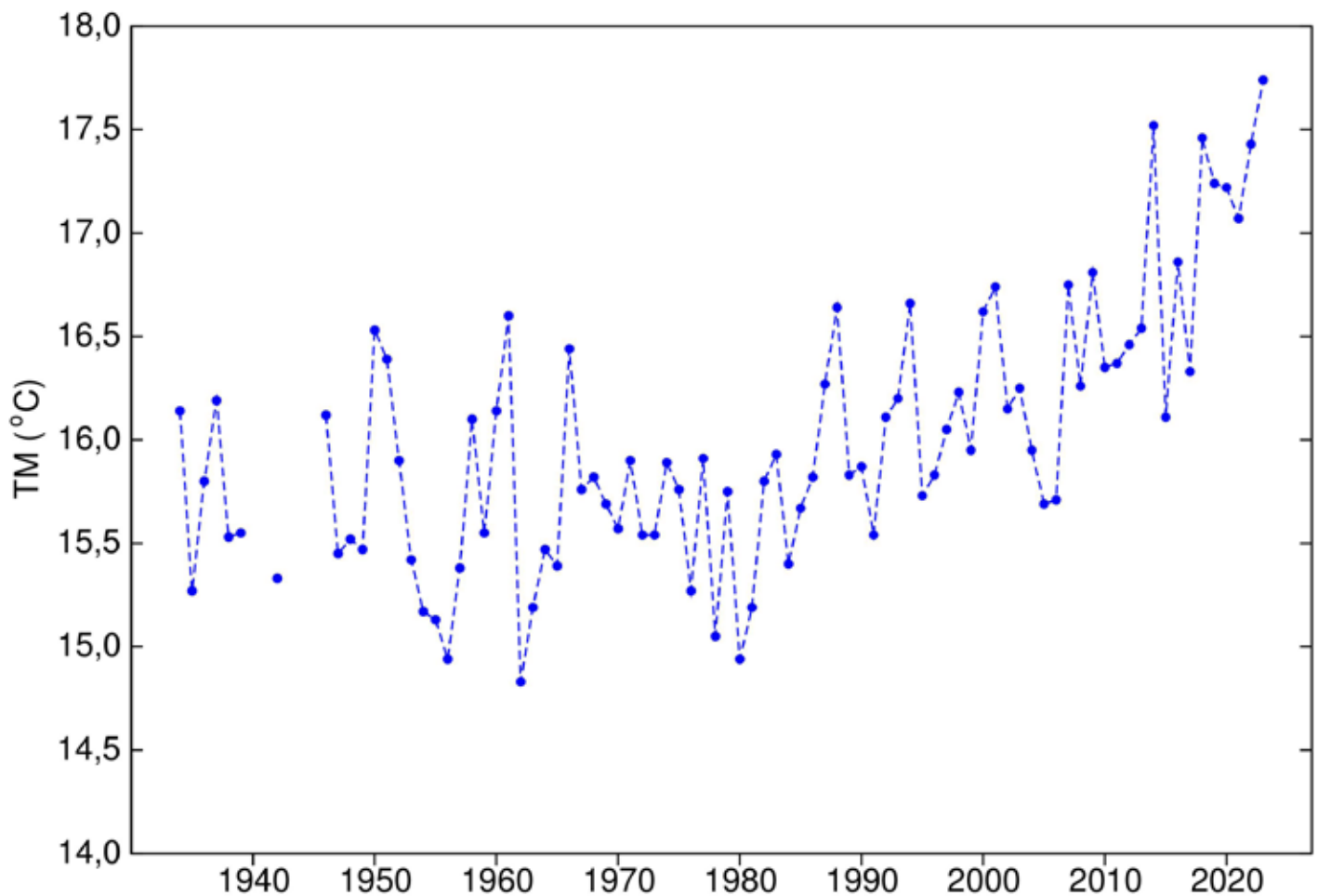
TEMPERATURA MEDIA DEL MARE: NEL 2023 LA PIÙ ALTA DELL'INTERA SERIE TEMPORALE

Come è avvenuto per l'atmosfera, nel 2023 anche la temperatura media del mare è stata la più alta dell'intera serie temporale disponibile. Questo soprattutto per gli alti valori registrati a gennaio e da settembre a dicembre.

Foto: Federica Flapp

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. Mentre il valore assoluto è fortemente dipendente dalle condizioni locali, l'andamento della temperatura è rappresentativo della zona costiera del Friuli Venezia Giulia e, in generale, della parte meno profonda del nord Adriatico.

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. D'altra parte, su scale stagionali e più lunghe la temperatura risente anche dal ricambio della massa d'acqua per effetto della circolazione dell'Adriatico, che ne modula l'andamento sul medio-lungo periodo.



Temperatura media annuale (TM) dal 1934 al 2023, osservata a 2 m di profondità (curva blu).
(Dati: CNR-ISMAR e ARPA FVG - RAFVG).

LA TEMPERATURA DEL MARE NEL 2023

La temperatura media annua del 2023 è stata di 17,7 °C, oltre un grado più alta della media del ventennio 2001-2020 e, soprattutto, **la più alta dell'intera serie temporale** disponibile, di cui la figura riporta il periodo dal 1934 (curva blu). A determinare questo risultato sono stati principalmente il mese di gennaio e quelli da settembre a dicembre, nei quali la temperatura è stata persistentemente superiore alla norma almeno di due gradi. Le temperature relativamente alte sono state conseguenza diretta dell'elevata temperatura atmosferica e della scarsità di irruzioni di aria fredda e di Bora.

L'ANDAMENTO NEL LUNGO PERIODO

La figura mette in evidenza il **recente significativo aumento della temperatura del mare**, in corrispondenza con il riscaldamento atmosferico, evidenziando due caratteristiche. La prima è che i sei anni più recenti, **dal 2018 al 2023**, presentano tutti temperature superiori alla serie storica precedente con la sola eccezione del 2014. La seconda è il più rapido riscaldamento in atto approssimativamente dalla fine del secolo scorso e particolarmente evidente **nell'ultimo ventennio**. Infatti, mentre dal 1899 al 1999 la temperatura è aumentata complessivamente di 0,8 °C, alla velocità media di 0,08 °C per decennio, dal 2000 l'aumento complessivo è stato di quasi 1,3 °C, corrispondente a **0,55 °C per decennio**.

CAMBIANO TEMPERATURA E SALINITÀ STAGIONALI NEL GOLFO DI TRIESTE

Dal 2014 al 2023 si è rilevato un generale aumento della temperatura e soprattutto della salinità, specialmente in inverno. Si osservano anche eventi estremi che modificano repentinamente, per brevi periodi, le caratteristiche idrologiche del golfo. Sono segnali di un cambiamento climatico che riguarda anche il mare.

Foto: ARPA FVG

Come è stata l'evoluzione della temperatura e della salinità delle acque del golfo di Trieste da 2014 al 2022?

Cosa evidenzia il confronto con le misure effettuate nel 2023?

A inizio 2024 ARPA FVG ha pubblicato il documento "Caratteristiche termaline stagionali delle acque del golfo di Trieste dal 2014 al 2022 e confronto con quelle del 2023" da cui emerge come il golfo di Trieste risulti essere un utile sito di studio della climatologia oceanografica associata a eventi estremi in un'area a clima temperato.



Foto: ARPA FVG

IL GOLFO DI TRIESTE E I CAMPIONAMENTI DI ARPA FVG

Il golfo di Trieste per le sue peculiarità geografiche, geomorfologiche e batimetriche è influenzato da numerosi **fattori meteorologici** (vento, irraggiamento solare, escursione termica tra inverno ed estate) e **idrologici** (portate fluviali e circolazione delle masse d'acqua adriatiche) che rendono **particolarmente dinamica la sua oceanografia**. Ed è proprio per questa particolarità che il bacino risulta essere un utile sito di studio della climatologia oceanografica associata anche a eventi estremi.

ARPA FVG effettua regolarmente il monitoraggio della qualità delle acque marine, come previsto dalla normativa del settore (Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE; D.Lgs. 152/2006; Direttiva quadro 2008/56/C - Marine Strategy; D.Lgs. n. 190 del 13/10/2010). I campionamenti vengono effettuati utilizzando della particolare strumentazione scientifica e per i parametri idrologici una sonda multiparametrica.

I primi monitoraggi effettuati da ARPA FVG nel golfo risalgono al gennaio 2006. Considerando



Foto: ARPA FVG

la media dei campionamenti per trimestre, il numero delle **stazioni campionate** nei diversi anni è variato da un minimo di 166, per aprile-maggio-giugno del periodo 2017-2019, a un massimo di 299, per luglio-agosto-settembre per il periodo 2014-2016.

Le misurazioni effettuate con sonda multiparametrica lungo la colonna d'acqua utilizzano un intervallo di campionamento pari a 0,25 dbar corrispondente a 25 cm. Lo strumento rileva diversi parametri: pressione/profondità; temperatura, conducibilità/salinità; pH; ossigeno disciolto; clorofilla a e dal 2014 anche l'irradianza PAR (radiazione fotosinteticamente attiva) e la torbidità.

SERIE TEMPORALI DI PARAMETRI IDROLOGICI: QUALI CAMBIAMENTI?

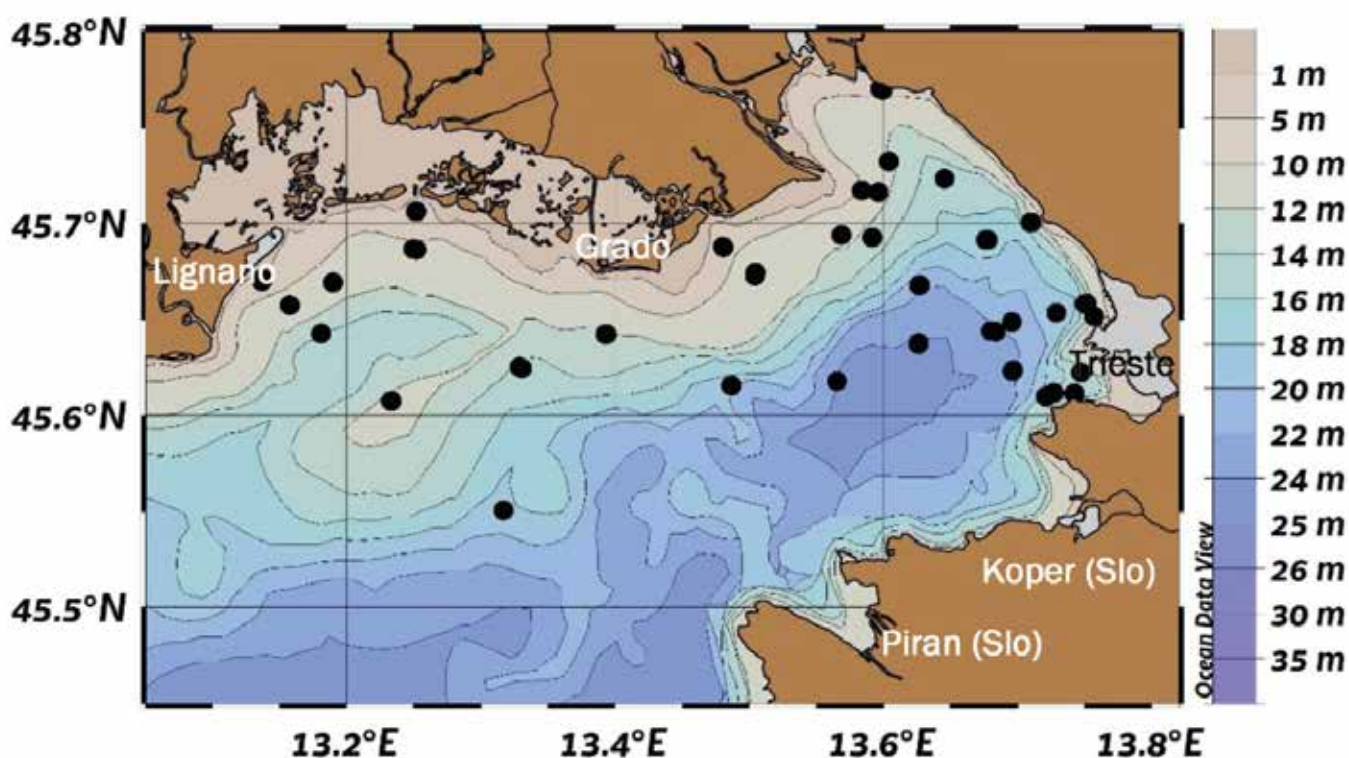
Lo studio, dal 2014 al 2023, delle caratteristiche termiche e saline stagionali delle sue acque ha evidenziato la tendenza a **un generale aumento della temperatura**, in particolare nel periodo estivo e autunnale e **soprattutto della salinità**, incremento evidente specialmente nel periodo invernale ed estivo.



Foto: ARPA FVG

Sonda multiparametrica utilizzata per i monitoraggi ARPA FVG.

MAPPA DELLE STAZIONI DI CAMPIONAMENTO NEL GOLFO DI TRIESTE

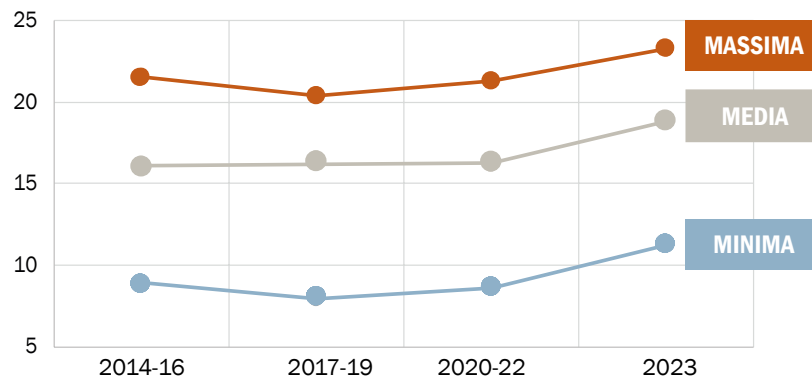


ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA E DELLA SALINITÀ NEL GOLFO DI TRIESTE

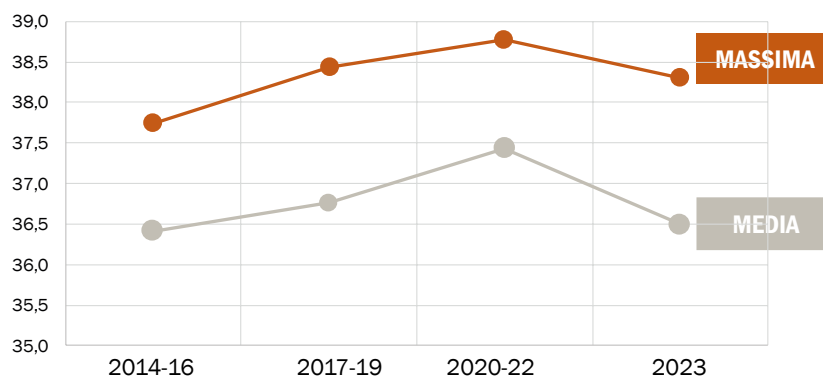
AUTUNNO
ottobre-
dicembre



TEMPERATURA °C

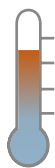


SALINITÀ

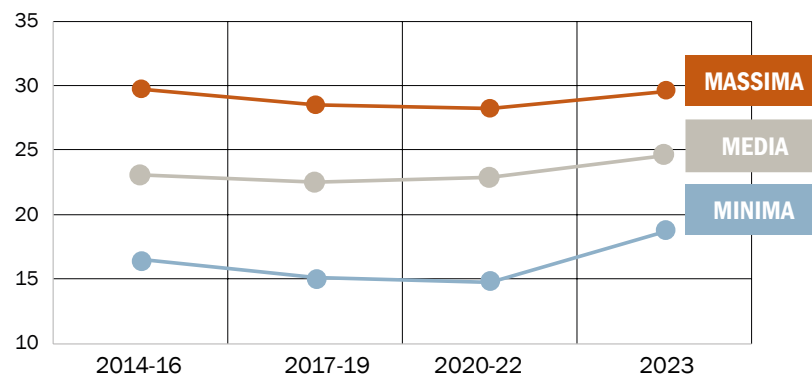


Distribuzione della temperatura e salinità nel periodo autunnale 2014-2023.

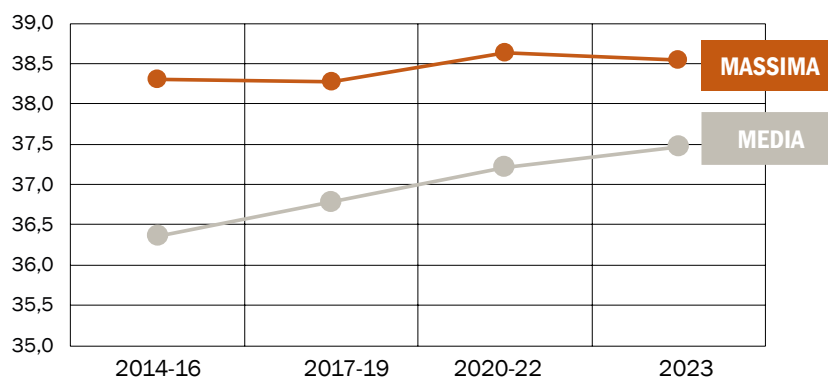
ESTATE
luglio-
settembre



TEMPERATURA °C



SALINITÀ



Distribuzione della temperatura e salinità nel periodo estivo 2014-2023.



LA TEMPERATURA

Per quanto riguarda la **temperatura**, in generale l'elaborazione evidenzia un'omogeneità termica della colonna d'acqua nel periodo invernale. Ad aprile si osserva l'inizio della **stratificazione termica** tra gli strati superficiali e quelli di fondo, che si mantiene per tutto il periodo estivo con valori massimi superficiali di quasi 30 °C (29,7 °C registrato il 22 luglio 2015). Nei mesi autunnali gli eventi meteorologici e marini associati al rilascio di calore dal mare all'atmosfera tendono a rimescolare la colonna d'acqua che poi si presenta nuovamente omogenea nel periodo invernale. La distribuzione stagionale della temperatura dal 2014 al 2022 non ha mostrato un particolare **aumento** per il periodo invernale e primaverile; aumento che si osserva, invece, per il **periodo estivo e autunnale**. Anche nel 2023 mantiene questa tendenza all'aumento, con una differenza massima di 2,7 °C tra la temperatura del mare dell'autunno 2023 e quella del triennio 2014-16.

LA SALINITÀ

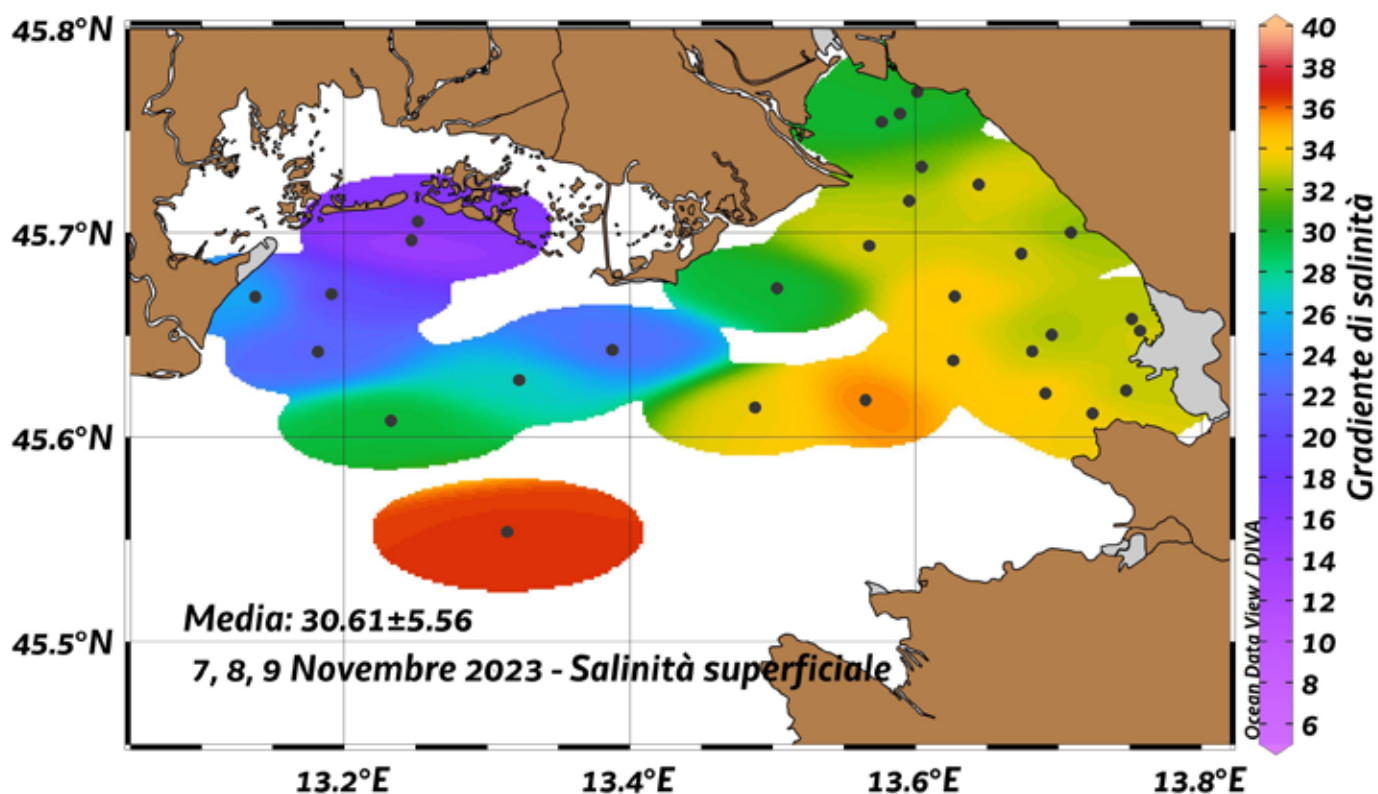
Per quanto riguarda la **salinità**, l'aumento dei valori medi stagionali è collegato sia all'ingresso nel golfo di **correnti marine** a elevata salinità (38,9 il 12 aprile 2022) che la tendenza a una situazione di **siccità** con scarsi apporti fluviali che non producono la diluizione delle acque del golfo.

Si presenta in controtendenza il periodo autunnale del 2023, caratterizzato tra fine ottobre e inizio novembre e tra fine novembre e inizio dicembre da cospicui e anomali apporti fluviali dell'Isonzo e Tagliamento.

EVENTI ESTREMI E CAMBIAMENTI REPENTINI

Negli ultimi anni, in associazione a queste tendenze si registrano **sempre più eventi repentini ed estremi** che, per brevi periodi, modificano le caratteristiche idrologiche del golfo. Ad esempio a metà gennaio 2021 e ad aprile 2022 le sue acque, per effetto della circolazione delle correnti dell'Adriatico, hanno raggiunto **salinità** superiori a 38,7 mentre, a novembre 2023, il bacino è stato diluito dalle piene fluviali dell'Isonzo e Tagliamento. A fine maggio 2022 la **temperatura superficiale** del mare è diminuita da 22 °C a 16 °C in meno di due giorni; tra fine agosto 2023 e metà gennaio 2024 le acque superficiali costiere hanno presentato valori medi giornalieri elevati rispetto a quelli riferiti alla media storica delle misure, per poi riallinearsi a fine gennaio. Successivamente, in febbraio e marzo 2024, il parametro ha mostrato nuovamente alti valori per poi diminuire drasticamente tra il 16 e 23 aprile per effetto di una anomala perturbazione caratterizzata da masse d'aria fredda.

DISTRIBUZIONE DELLA SALINITÀ SUPERFICIALE (7-9 NOVEMBRE 2023)



“SEGNALI” DAL CLIMA MARINO

Sia gli eventi estremi come pure la tendenza all'aumento della temperatura e della salinità del golfo sono **sentinelle che indicano il rapido cambiamento climatico in atto**. I tempi per agire su di esso si stanno sempre più riducendo e se non si attueranno le misure di mitigazione finalizzate a diminuire la concentrazione dei gas serra in atmosfera e contenerla entro limiti sostenibili, gli scenari ambientali e sociali di fine secolo saranno di difficile gestione.

Massimo Celio
ARPA FVG

I MOTORI FREDDI DEL NORD ADRIATICO SOSTENGONO LA VITA NEL MAR MEDITERRANEO

Il raffreddamento invernale delle acque marine nel Nord Adriatico, causato dalla Bora, è un “motore freddo” fondamentale per la circolazione delle correnti nel Mediterraneo e per lo scambio di ossigeno e nutrienti tra il fondo e la superficie del mare. Questo sistema, essenziale per la vita marina, può risentire dei cambiamenti climatici. Nel 2023 e 2024 le temperature invernali degli oceani sono state eccezionalmente calde a livello globale: non altrettanto, seppure sopra la media, nel Nord Adriatico.

Foto: Furio Pieri

Bora in inverno sul Golfo di Trieste.

I processi di mescolamento e trasporto verticale in mari e oceani sono fondamentali per il mantenimento della vita e la salute degli ecosistemi marini.

Infatti, senza questi processi il fondo dei mari resterebbe presto privo di **ossigeno**, visto che nei fondali marini vi è un significativo consumo di questo elemento, a causa della respirazione degli organismi presenti e della degradazione della materia organica non vivente presente sugli strati di fondo o adagiata sul fondale, ma non ci sono processi di produzione di ossigeno, visto che non c'è luce e quindi non ci può essere la fotosintesi. A lungo andare, quindi, gli strati di fondo diventerebbero anossici, come quelli sul fondo di un lago stagnante o in alcuni mari in cui questi processi sono assenti, come il Mar Nero.



L'IMPORTANZA DEL MESCOLOMENTO PER LA FOTOSINTESI

Inoltre, **in mancanza di processi di mescolamento**, anche la fotosintesi negli strati superficiali dell'oceano risulterebbe – nelle zone lontano dalla costa – presto rallentata o inibita per la **mancanza delle sostanze nutritive**, quali i sali di azoto e fosforo.

Infatti, quando il fitoplancton muore e affonda verso gli strati più profondi, porta dentro di sé anche le sostanze nutritive assimilate negli strati superficiali durante il processo fotosintetico, e agisce quindi come una sorta di pompa, che trasporta carbonio, azoto e fosforo verso il fondo. In un periodo di tempo non troppo lungo, quindi, gli strati superficiali lontani dalle coste resterebbero privi di sostanze nutritive, **la fotosintesi rallenterebbe** e con essa la vita degli altri organismi marini.

Invece, e fortunatamente, tutti gli anni vi sono importanti fenomeni di mescolamento verticale, che portano ossigeno dalla superficie agli strati di fondo, e riportano in superficie le sostanze nutritive rilasciate al fondo dai processi di degradazione della materia organica. In questo modo la vita continua e si rinnova.

IL MESCOLOMENTO DIPENDE DAL FREDDO

Purtroppo però **i cambiamenti climatici possono influire in maniera significativa** sulla entità di questi processi, visto che il freddo – la cui presenza è minacciata dai cambiamenti climatici – è uno degli ingredienti fondamentali per attivare questi processi verticali.

Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, vento e maree non sono gli unici motori delle correnti oceaniche, né i principali. Le correnti si innescano anche per **la differenza di densità** (peso specifico) fra le diverse masse d'acqua. Così come un olio più denso dell'acqua non galleggerebbe in superficie, ma affonderebbe, tutte le volte che le acque superficiali diventano più dense di quelle di fondo si ha uno sprofondamento delle acque superficiali, che **genera una corrente verticale** dall'alto verso il basso, che a sua volta genera anche dei moti orizzontali.

La densità delle acque marine dipende soprattutto da due fattori: la loro **concentrazione di sale** e la loro **temperatura**. Le acque più dolci e più calde sono meno dense, e stanno in superficie, quelle più salate e più fredde sono più dense, provocano mescolamenti verticali, e attivano il sistema delle circolazioni termoaline.

NORD ADRIATICO: UN MOTORE DEL FREDDO

In questo contesto, le acque del Friuli Venezia Giulia e del Nord Adriatico giocano **un ruolo particolarmente importante per tutto il Mar Mediterraneo**. Infatti, in tutto il Mediterraneo sono solo 3 le aree in cui si formano delle acque dense, che alimentano le varie celle termoaline: il Golfo del Leone, le acque greche del Mar Egeo, il Nord Adriatico.

In Nord Adriatico, durante l'inverno i venti freddi e secchi della **Bora** provocano un importante **raffreddamento**, che crea grandi volumi di acqua densa. Quest'**acqua sprofonda e viaggia sul fondo verso sud**, riempie le fosse del centro Adriatico,

tracima, e prosegue verso la Puglia, il mare Ionio e la parte orientale del Mediterraneo. La velocità di queste correnti non è elevata, le acque impiegano alcuni mesi per arrivare nello Ionio e mescolarsi con le acque che arrivano dall'Atlantico, ma i volumi possono essere anche molto rilevanti.

L'acqua che scende spinge su le acque di fondo, che **tornano in superficie, risalendo verso il Nord Adriatico** lungo la costa croata.

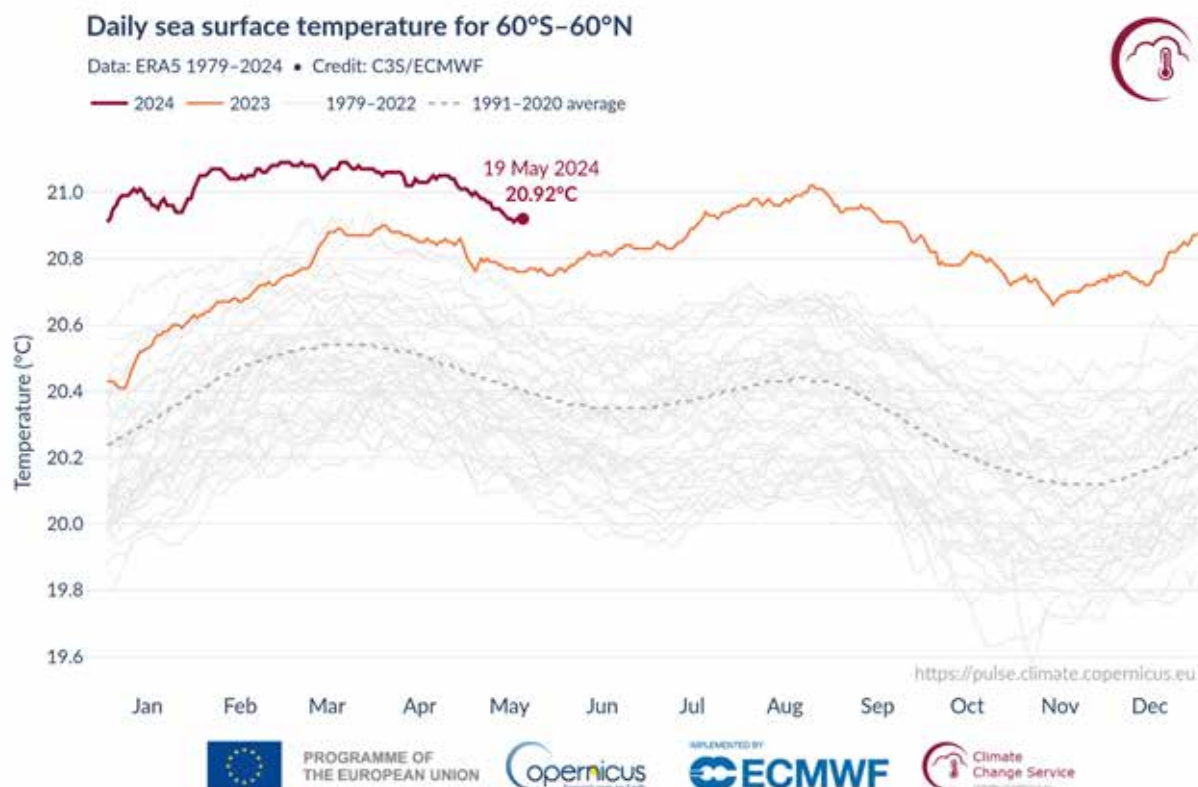
QUANTO SONO STATI CALDI GLI ULTIMI INVERNI A LIVELLO GLOBALE E LOCALE

Se questi 'motori freddi', a causa del riscaldamento climatico, dovessero fermarsi, ne risentirebbe la vita di tutto il Mediterraneo.

È possibile che questo accada?

Il grafico riporta l'andamento della **temperatura media dell'oceano superficiale, a scala globale**, calcolato dal servizio europeo COPERNICUS integrando dati in campo, osservazioni satellitari e modelli numerici attraverso algoritmi numerici particolarmente sofisticati.

TEMPERATURA MEDIA DELL'OCEANO SUPERFICIALE



Andamenti annuali della temperatura media dell'oceano superficiale dal 1979 a oggi. Ogni spaghetti rappresenta un anno diverso. L'anno 2023 è rappresentato in arancione, e il 2024 in rosso. La linea tratteggiata rappresenta l'andamento medio nel trentennio 1990-2020. I dati sono calcolati dal servizio COPERNICUS, integrando osservazioni sperimentali e modelli numerici.

Il risultato che ne emerge è molto impressionante, e non può non spaventarci: un insieme di curve grigie illustra l'andamento stagionale della temperatura, giorno dopo giorno, per 43 anni dal 1979 al 2022, e si nota come questi andamenti stagionali formino una matassa di linee ragionevolmente compatta. La linea arancione rappresenta l'andamento del 2023, e si osserva facilmente come questa rappresenti un filo che a partire da aprile 2023 si distacca chiaramente dalla matassa, evidenziando temperature ininterrottamente molto sopra gli andamenti tipici del periodo. La linea rossa, relativa al 2024, mostra tuttavia un andamento ancora più alto, rappresentato da un filo ancora più isolato.

Questi dati evidenziano come, a livello medio globale, l'inverno appena passato sia stato particolarmente caldo e certo se anche le nostre

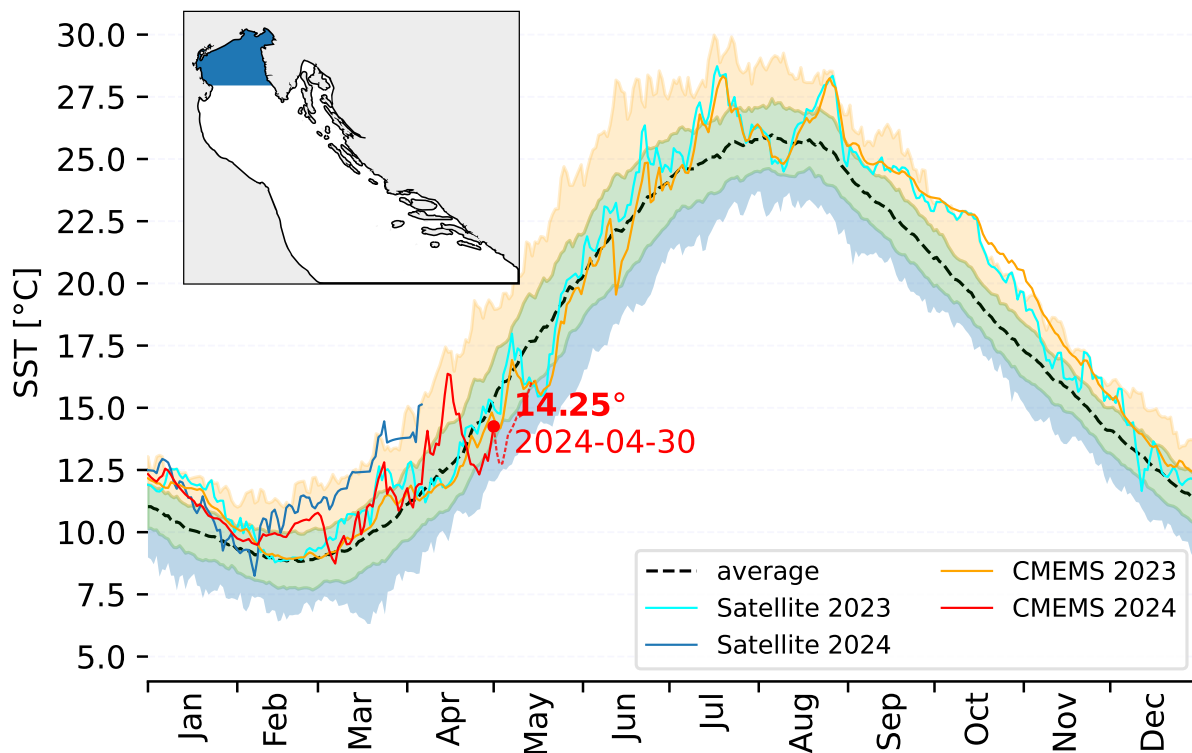
acque del Friuli Venezia Giulia avessero avuto un andamento simile, sarebbe lecito ipotizzare un forte rallentamento nella formazione di acque dense, con conseguenze importanti per tutto il Mediterraneo.

Tale ipotesi, però, non ha trovato conferma osservando i dati locali. Una analisi specifica sul Nord Adriatico evidenzia infatti come nella nostra area i dati del 2023 (linea azzurra per i dati satellitari e arancione per quelli modellistici), pur mostrando valori generalmente superiori alle medie del periodo, non identificano un filo che si distacca sensibilmente dalla matassa degli anni precedenti. In modo analogo, i dati del 2024 (linee blu e rossa del seguente grafico) indicano un inverno caldo, ma non così caldo come si poteva temere osservando i dati globali.


Stefano Piani
Stefano Salon
Cosimo Solidoro
OGS

TEMPERATURA MEDIA DEL NORD ADRIATICO SUPERFICIALE

SST Yearly trend (N45) - Satellite climatology



Andamento annuale della temperatura media del Nord Adriatico (zona blu nella figura in riquadro) superficiale dal 2005 alla primavera del 2024. Le linee azzurra e blu riportano le informazioni desunte dal satellite per gli anni 2023 e 2024, quelle rossa e arancione le stime del servizio COPERNICUS per gli stessi anni. La linea nera tratteggiata rappresenta il valore medio degli andamenti negli anni dal 2005 al 2021. La banda verde rappresenta l'intervallo che racchiude la variabilità del 70% degli anni, mentre le bande gialla e blu l'intervallo di variabilità del 15% degli anni rispettivamente più caldi e più freddi del periodo.



COME STANNO CAMBIANDO LE SPECIE ITTICHE? OSSERVAZIONI E RIFLESSIONI TRA BIOLOGI MARINI

I cambiamenti climatici hanno importanti effetti su pesci e altri organismi di mare e di laguna nell'alto Adriatico: ne influenzano cicli riproduttivi, distribuzione e abbondanza. Diminuiscono le specie delle acque più fresche e si diffondono quelle di mari più caldi, che possono diventare invasive e nuocere a ecosistemi, pesca e acquacoltura. Queste attività potranno adattarsi modificandosi, ma è prioritario preservare la naturalità degli habitat marini e lagunari per renderli più resilienti e tutelare le produzioni locali.

Foto: Diego Borme

Come stanno cambiando le specie ittiche? È una domanda che viene sempre più spesso rivolta a noi biologi marini ormai stagionati, che sin dalla tenera età abbiamo acquisito una certa familiarità con i pesci, le barche da pesca e soprattutto con gli incredibili racconti dei vecchi pescatori istriani. Già allora era percepibile una certa rarefazione di alcune specie ittiche un tempo abbondanti, come pure la comparsa di altre mai viste prima d'ora nelle nostre acque. Sulla spinta dei cambiamenti climatici sempre più evidenti, è nata quindi la necessità di iniziare un percorso di riflessione condivisa sull'argomento, unendo le nostre osservazioni e raccogliendo le testimonianze di chi iniziò a documentare questi fenomeni prima di noi.

Di seguito presentiamo al gentile Lettore le osservazioni e le riflessioni che a nostro avviso sono le più rilevanti riguardo ai cambiamenti della fauna ittica marina e lagunare nella nostra regione.



Foto: ARPA FVG

Campionamento fauna ittica in Laguna di ARPA FVG.

GLI SGOMBRI E IL CIRCUITO DELLE CORRENTI

Fino alla fine degli anni '60 gli sgombri (*Scomber scombrus*) facevano la loro comparsa nel Golfo di Trieste nei mesi di aprile-maggio e venivano pescati fino a tarda estate in quantità medie di **1.000-1.500 quintali l'anno**.

Dopo il 1970 la produzione di questa specie raggiunse appena **qualche decina di quintali/anno**, riducendosi così di almeno due ordini di grandezza. Il fenomeno fu attribuito a fenomeni inquinanti attorno all'isola di Pelagosa (*Palagruža*) in Croazia (la zona che viene indicata quale unico luogo di riproduzione dello sgombro adriatico), a malattie epidemiche, a competizioni con il congenere *Scomber colias* (lanzardo), ecc. Nessuna di queste spiegazioni fu però sufficiente a dar ragione di un così grande e improvviso calo della produzione.

Per tentare altre spiegazioni, l'allora prof. Giuliano Orel dell'ateneo triestino richiamò alcuni concetti di biologia delle popolazioni ittiche: ciascuno stock di pesci con uova e larve pelagiche (la stragrande maggioranza) vive all'interno di un **circuito di correnti** in cui avviene la **riproduzione**, lo **sviluppo** larvale e giovanile e il **reclutamento** delle

nuove generazioni allo stock di adulti. Considerato che in questo circuito esiste una fase di trasporto passivo corrispondente agli stadi planctonici di uova e larve, va da sé che lo stock mantiene le sue caratteristiche solo se ciascuna fase del ciclo si svolge nel luogo e nel momento adatto. Se mutamenti climatici influenzano la velocità o la direzione delle correnti che formano tale circuito, ecco che la **deriva larvale** può concludersi **in un luogo non adatto** a fungere da *nursery* (luogo di accrescimento dei giovanili). Nel caso specifico dell'Adriatico, i mutamenti in questione potrebbero riguardare la diminuzione degli apporti di acqua dolce dal fiume Po, che potrebbe avvenire in seguito alla modificazione del regime delle precipitazioni e all'aumento delle advezioni di acque meridionali; conseguenza di ciò potrebbe essere un aumento dei tempi di soggiorno delle acque all'interno del bacino. D'altra parte, anche qualora le larve terminassero la loro deriva nel luogo giusto, ma **in un momento inadatto**, ad esempio quando la disponibilità di cibo (sotto forma di prede planctoniche) fosse stata anticipata o ritardata, fallirebbe il reclutamento delle nuove leve. Dopo alcuni di questi fallimenti in successione lo stock potrebbe addirittura scomparire.

CHI ARRIVA E CHI SCOMPARE IN UN MARE SEMPRE PIÙ CALDO

Nel 1974 il Cap. Mario Bussani rilevò per la prima volta la presenza della **sardina africana o alaccia** (*Sardinella aurita*) nel Golfo di Trieste, il settore più settentrionale del bacino Mediterraneo. Alcuni individui di questa specie furono catturati in mezzo ai banchi di sardina (*Sardina pilchardus*) durante le operazioni di pesca con le fonti luminose (saccaleva). L'alaccia è una specie tipicamente termofila e rappresentò un'importante risorsa ittica nelle acque antistanti la foce del fiume Nilo, fino al tracollo produttivo durante gli anni '60, a

causa della costruzione della grande diga di Asuan in Egitto. La presenza della sardina africana nel Golfo di Trieste è **ormai costante durante il periodo estivo**, anche se i dati quantitativi relativi alle catture sono molto variabili. Tuttavia, fu rilevata anche durante l'inverno 2009, nel mese di febbraio, quando fu protagonista di un evento di moria di massa a causa di un drastico calo delle temperature, associato a un evento di Bora particolarmente intenso.

Questi e altri fenomeni anomali, comparsi a partire **dagli anni '70**, fecero presagire che **qualcosa nel mare stava cambiando**. In effetti, prendendo



Foto: Stazione biologia marina di Pirano



Foto: Diego Borme



Foto: Pietro Dal Forno

- 1) Alaccia o sardina africana (*Sardinella aurita*) nel Golfo di Trieste (febbraio 2009)
- 2) Spratto o papalina (*Sprattus sprattus*)
- 3) Pesce foglia (*Lobotes surinamensis*) catturato nella Laguna di Marano e Grado (luglio 2016).

in considerazione la serie secolare della temperatura del mare a Trieste (pubblicata dai ricercatori del CNR_ISMAR Fabio Raicich e Renato R. Colucci nel 2019), a partire dal 1970 i giorni con temperatura inferiore a 6,5° C sono passati da circa 35/anno a meno di 10. Dal 2000 in poi il numero di giorni/anno con temperature inferiori a tale valore è pressoché nullo, se non si considera il singolo evento freddo del 2012 (che per certi aspetti fu comparabile al famoso inverno del 1929).

In tale contesto, l'aumento generalizzato della **temperatura del mare** di questi ultimi anni ha notevolmente **livellato le stagionalità** caratteristiche dell'Alto Adriatico. A un siffatto aumento di temperatura viene associato il fenomeno di **meridionalizzazione**, manifestato da uno spostamento verso Nord delle specie a spiccato carattere termofilo e in questo senso la fauna ittica ne rappresenta un buon indicatore. Pertanto, parecchie specie ittiche di provenienza meridionale, un tempo rare o poco frequenti, ora risultano più abbondanti. Allo stesso modo, si registrano continuamente **nuove presenze**, anche di carattere alloctono o alieno, provenienti principalmente **dal Mar Rosso** attraverso Suez. Viceversa, alcuni stock di **specie a indole tipicamente nordica**, quali ad esempio la passera di mare (*Platichthys flesus*) e lo spratto o papalina (*Sprattus sprattus*), confinate nell'area più settentrionale del bacino, stanno subendo una **sensibile rarefazione**.

OSPITI ESOTICI, SEMPRE PIÙ STABILI

Tra le specie a indole termofila, è meritevole di citazione la cattura nel luglio 2016, nella Laguna di Marano e Grado, di un esemplare di **pesce foglia** (*Lobotes surinamensis*), una specie cosmopolita nelle acque marine e salmastre delle aree tropicali e sub tropicali, che costituisce la seconda cattura ufficiale nell'Alto Adriatico, dopo quella del 2013 avvenuta nel Canal d'Arsia, nell'Istria orientale.

Altro esempio da citare è la cattura accidentale, avvenuta nel 2022 con un tramaglio dedicato alle seppie, poco al largo di Grado, dell'**aguglia tropicale** *Tylosurus crocodilus*, specie che solitamente abita le acque poco profonde delle lagune e dei reef dell'Oceano Indiano e Pacifico occidentale.

Il **pesce serra** (*Pomatomus saltatrix*) è invece una di quelle specie un tempo rare, ma che ormai

sono diventate talmente abbondanti da costituire una preda ben nota e ambita dai pescatori sportivi. Si tratta di un pesce pelagico e migratorio caratteristico delle zone costiere temperate e sub tropicali, meglio conosciuto come *bluefish*. La prima segnalazione ufficiale sulla sua presenza cospicua in Alto Adriatico risale al dicembre 2003, nella Val di Torre, alla foce del fiume Quieto, in Istria occidentale. In questa località, durante i mesi invernali, si pratica ancora la pesca con la tratta, dove più dell'85% del pescato è costituito da cefali, mentre il rimanente annovera orate, mormore, spigole e altro pesce bianco pregiato. In tale occasione, invece, vennero catturati anche 1.520,8 kg di pesci serra. In seguito, nel 2009, il novellame di pesce serra fu ritrovato nei *cogolli* a maglia stretta utilizzati nella Laguna di Venezia e nella Laguna di Marano e Grado, segno che, ormai, questa specie si è **insediata stabilmente** anche nel settore più settentrionale del bacino Mediterraneo. Il pesce serra è un vorace predatore di pesci che sta assumendo carattere di dominanza e rappresenta una reale **minaccia per le popolazioni ittiche locali**. A testimonianza di ciò, va segnalato che, durante una delle ultime edizioni della tratta in Val di Torre, invece dei cefali, il pescato era quasi completamente rappresentato dai pesci serra.

CAMBIA IL MARE, CAMBIA LA PESCA

Come conseguenza, tali osservazioni inducono a pensare che le modificazioni climatiche incidano fortemente, non solo nella comparsa di certe specie termofile calde, ma anche sull'intera **struttura trofica del Golfo di Trieste**. Questa propaggine settentrionale dell'Adriatico sta assumendo pertanto connotazioni di mare temperato caldo-subtropicale, rispetto a quelle di mare temperato che mostrava un tempo, con una **diminuzione nelle escursioni delle temperature stagionali**.

Nel **settore della pesca**, con un siffatto scenario climatico, si verifica quindi un graduale passaggio da un ciclo di produzione della pesca tipico delle aree temperate, con due massimi stagionali e ben definiti di produzione annuale (in primavera e autunno), **verso un ciclo di produzione** più simile a quello **subtropicale** o **tropicale**, in cui la produzione ittica è distribuita piuttosto uniformemente nel corso dell'anno, ma con valori sostanzialmente inferiori.

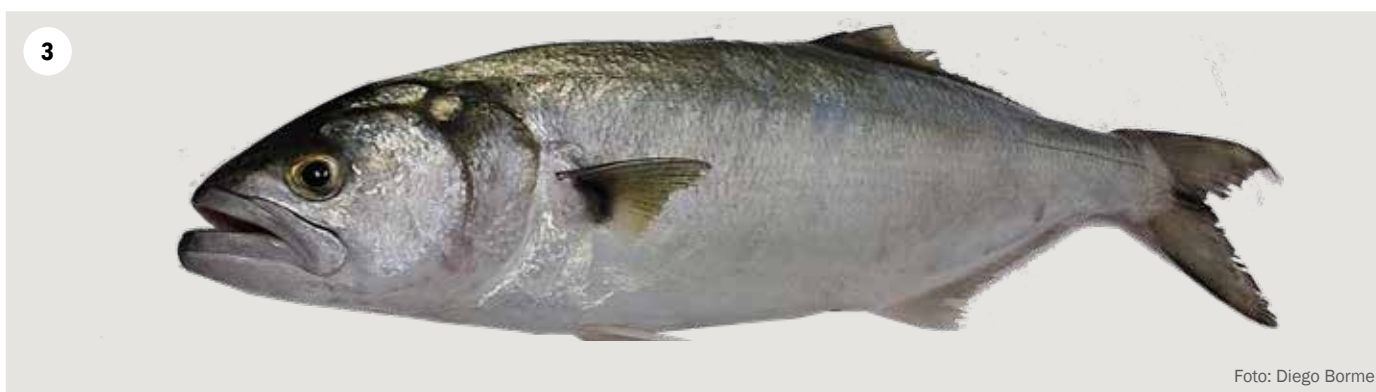


Foto: Diego Borme

- 1) Passera di mare (*Platichthys flesus*);
- 2) Aguglia tropicale (*Tylosurus crocodilus*) pescata davanti a Grado il 16 giugno 2022;
- 3) Pesce serra (*Pomatomus saltatrix*).



I RISCHI PER LE SPECIE DELLA LAGUNA

Per quanto riguarda le acque di transizione, **gli ambienti lagunari** dell'Alto Adriatico stanno assumendo connotati **sempre più marini**, fatto legato all'innalzamento del livello del mare. Questo potrebbe minacciare alcune **specie tipicamente lagunari** come il **ghiozzetto cenerino o giavedon** (*Pomatoschistus canestrinii*), che tra l'altro è già inserito nell'Allegato II della Direttiva Habitat 92/43/CEE. Questa specie, infatti, vive confinata nella porzione più interna della Laguna di Marano e Grado, soprattutto in prossimità delle foci del fiume Stella, dove la salinità varia tra 5 e 20.

Rispetto al passato, inoltre, quando la Laguna di Marano e Grado **era dominata dal pesce piatto**, in primis la passera di mare (*Platichthys flesus*), specie a indole nordica, si assiste **ora alla dominanza dell'orata** (*Sparus aurata*), la quale predilige invece acque più calde e salate e anzi soffre le basse temperature. È evidente che il paventato scenario climatico favorirà sempre più la presenza degli sparidi come l'orata, piuttosto che dei pleuronettiformi o pesci piatti.

La rarefazione non riguarda però solo la passe-

ra di mare, ma anche una delle sue prede più ambite, il **gamberetto grigio o schila** (*Crangon crangon*), anch'esso una specie più confacente ai regimi climatici del Nord piuttosto che a quelli mediterranei. In compenso la laguna sta diventando un'area nursery per l'accrescimento di altri crostacei, le giovani **mazzancolle** (*Penaeus kerathurus*). Inoltre, tra i pesci che abitano la laguna nelle loro fasi giovanili, accanto alla consolidata presenza dei piccoli pesci serra, è stata rilevata anche la presenza dei **giovani del luccio di mare o aluzzo**, noto anche come barracuda europeo (*Sphyraena sphyraena*).

LE SFIDE DELL'ADATTAMENTO PER SALVAGUARDARE ECOSISTEMI, PESCA E ACQUACOLTURA

Secondo il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, per quanto riguarda la pesca marittima, i cambiamenti del clima avranno effetti non solo sulla produttività delle risorse, ma anche sulle operazioni di pesca. I pescatori, quindi, dovranno **adattare le tattiche di pesca** alle nuove specie ittiche che stanno progressivamente sostituendo quelle tradizionali e saranno costretti a rivedere, almeno in parte, **le tecniche**



Foto: Diego Borme

Cattura a strascico con volantina di un luccio di mare (*Sphyræna sphyraena*) avvenuta il 14 dicembre 2006 nel Golfo di Trieste.

e gli **attrezzi di pesca** utilizzati nel passato, tramandati da generazione in generazione.

Purtroppo, però, il quadro si fa sempre più complicato a causa delle **recenti invasioni della noce di mare**, lo ctenoforo (*Mnemiopsis leidyi*), e del **granchio blu** (*Callinectes sapidus*), che hanno già messo in ginocchio rispettivamente la pesca e la molluschicoltura negli ambienti lagunari.

È bene ribadire che queste due specie aliene non sono un effetto diretto dell'aumento delle temperature, ma bensì **sono degli opportunisti** a cosiddetta larga ripartizione ecologica, abilissimi a sfruttare situazioni ecologiche a loro favorevoli, a scapito delle comunità indigene, già di per sé stressate dagli impatti antropici e dai nuovi scenari climatici.

Tuttavia, una delle migliori strategie per mitigarne gli impatti, sarà senz'altro quella di preservare e/o ripristinare il più possibile **la naturalità degli habitat** marini e lagunari, al fine di renderli **più resilienti**. Un ambiente sano, capace di mantenere le risorse tradizionali, permetterà a sua volta di tutelare una **cultura millenaria**, quella adriatica, della pesca e dell'acquacoltura.

Nicola Bettoso
ARPA FVG

Diego Borme
OGS



Foto: ARPA FVG

Esemplare di granchio blu (*Callinectes sapidus*), crostaceo alieno originario delle coste dell'Atlantico occidentale, la cui presenza ha assunto carattere invasivo nel 2023.



Foto: Diego Borme

La noce di mare (*Mnemiopsis leidyi*), una specie aliena e invasiva di ctenoforo, originaria dell'Atlantico occidentale, introdotta probabilmente con le acque di zavorra delle navi cisterna.

PAROLE CHIAVE

ADVEZIONE

in oceanografia inteso come spostamento di masse d'acqua in direzione prevalentemente orizzontale.

ORGANISMO PELAGICO

che vive prevalentemente in mare aperto e negli strati superficiali, lontano dal fondo.

SPECIE ALLOCTONA O ALIENA O ESOTICA

specie vegetale o animale non originaria della zona in cui si trova e nella quale è arrivata per l'azione diretta o indiretta dell'uomo.

SPECIE A INDOLE BOREALE

specie che mostra una propensione a climi freddi, quali si riscontrano nelle aree più settentrionali del nostro emisfero.

SPECIE TERMOFILA

specie adattata ad abitare ambienti caldi o temperato-caldi.

STOCK ITTICO

porzione di una popolazione di pesci sottoposta ad attività di pesca.

STRUTTURA TROFICA

insieme delle relazioni alimentari che si creano tra organismi produttori, consumatori e decompositori.

CAMBIA LA LAGUNA, CAMBIA LA VITA NEI SUOI FONDALI

Le lagune sono estremamente vulnerabili agli effetti delle attività umane e ai cambiamenti climatici. 30 anni di analisi dello stato ecologico della Laguna di Marano e Grado evidenziano che le comunità di organismi dei suoi fondali (*macrozoobenthos*) si stanno modificando a causa della sua “marinizzazione”. Paradossalmente aumenta la biodiversità, ma si perdono le caratteristiche – tra cui l’elevata produttività – delle comunità biologiche tipicamente lagunari.

Foto: ARPA FVG

Stelle serpentine su sedimento sabbioso-fangoso.

Le lagune costiere sono ambienti particolari che ricoprono circa il 13% della fascia costiera del pianeta e nel bacino del Mediterraneo più di 50 lagune sono state analizzate dal punto di vista ambientale nella letteratura scientifica. Questi ambienti rappresentano un ecotono tra gli ecosistemi continentali e marini, condividendone tratti comuni, specie e funzioni ecologiche. A causa della presenza di numerose attività socio-economiche (pesca, turismo, acquacoltura, porti, canali di navigazione, insediamenti urbani) questi siti sono estremamente soggetti all’impatto delle attività umane e anche ai cambiamenti climatici.

IL MACROZOOBENTHOS COME INDICATORE DELLO STATO ECOLOGICO

In seguito all'attuazione della Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), le lagune sono state identificate come acque di transizione e sottoposte alla classificazione dello stato ecologico, attraverso l'analisi di alcuni elementi di qualità biologica (EQB). Tra questi EQB, il *macrozoobenthos* di fondo mobile rappresenta un **ottimo indicatore faunistico** per definire lo **stato di qualità ambientale**, a causa della rapida risposta dei suoi organismi ai fattori di pressione antropica e alla variabilità ambientale. La valutazione del suo stato ecologico prevede il calcolo di **specifici indici ecologici** (tra i quali, ad esempio, ricchezza specifica e indice di diversità), ufficialmente adottati nei Paesi della Comunità Europea per le metodologie della Direttiva Quadro sulle Acque.

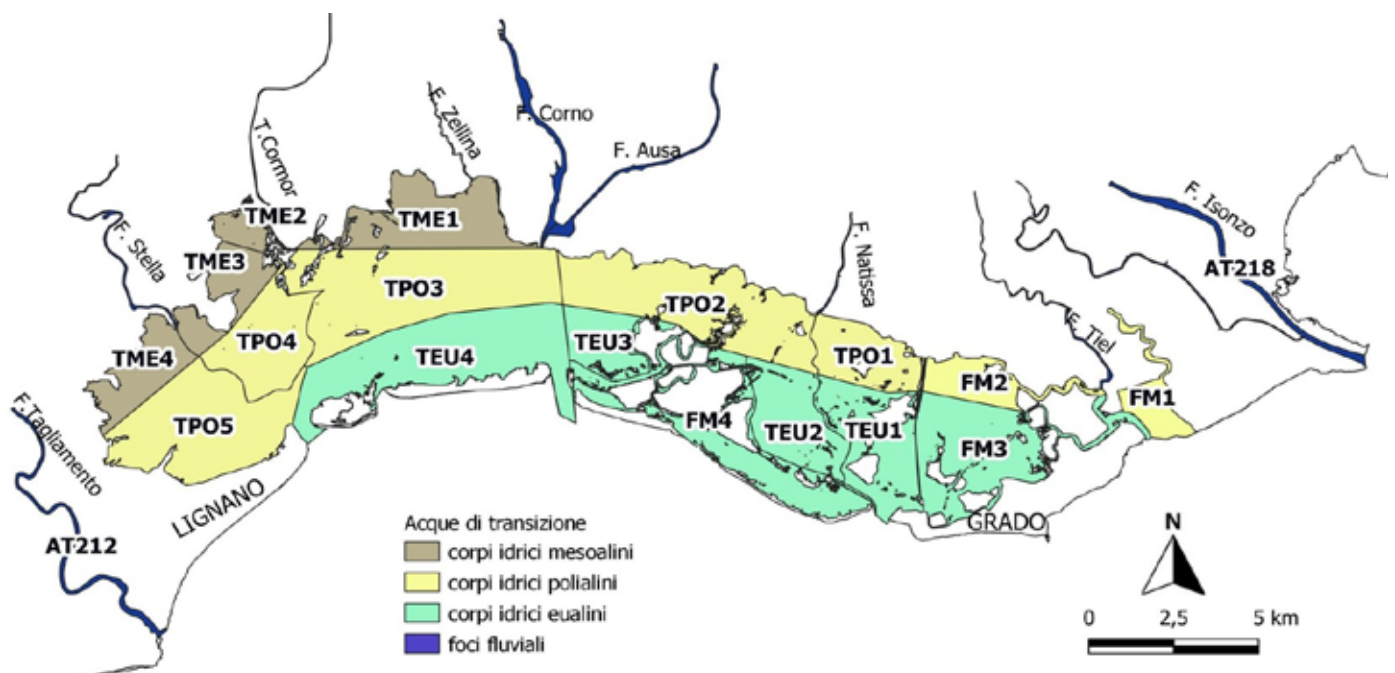
IL GRADIENTE DI SALINITÀ

La Laguna di Marano e Grado è una delle più estese (160 km²) e meglio conservate dell'intera area mediterranea: è infatti riconosciuta come Sito di Importanza Comunitaria. La salinità del sistema lagunare **decresce da Sud-Est verso Nord-Ovest** e questo gradiente fa sì che le diverse specie del *macrozoobenthos* e della fauna ittica si distribuiscono nelle diverse parti della laguna a seconda delle loro "preferenze" rispetto al grado di salinità.

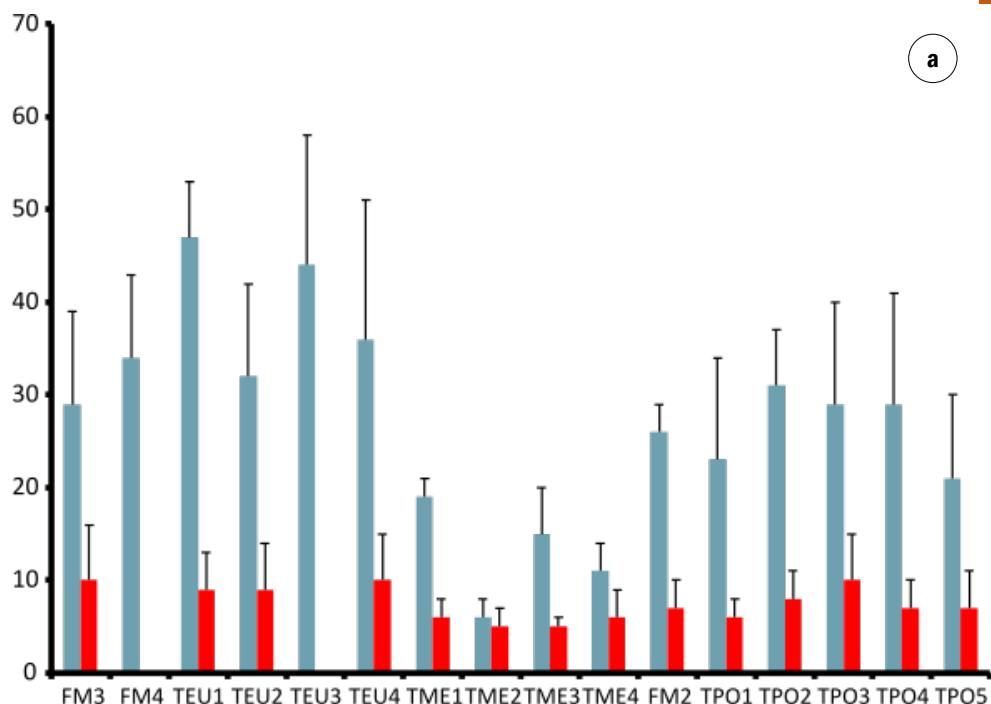
STUDI E CAMPIONAMENTI DEL MACROZOOBENTHOS

Per quanto riguarda il *macrozoobenthos*, le prime conoscenze sulla composizione della comunità a invertebrati, residenti nei sedimenti lagunari, derivano dallo studio pionieristico condotto da Aristocle Vatova durante gli anni '60. Risale invece agli anni '90 la prima caratterizzazione condotta dall'Università degli studi di Trieste (1993-1994-1995), utilizzando le tecniche di campionamento e analisi tuttora adottate per il monitoraggio di questo EQB.

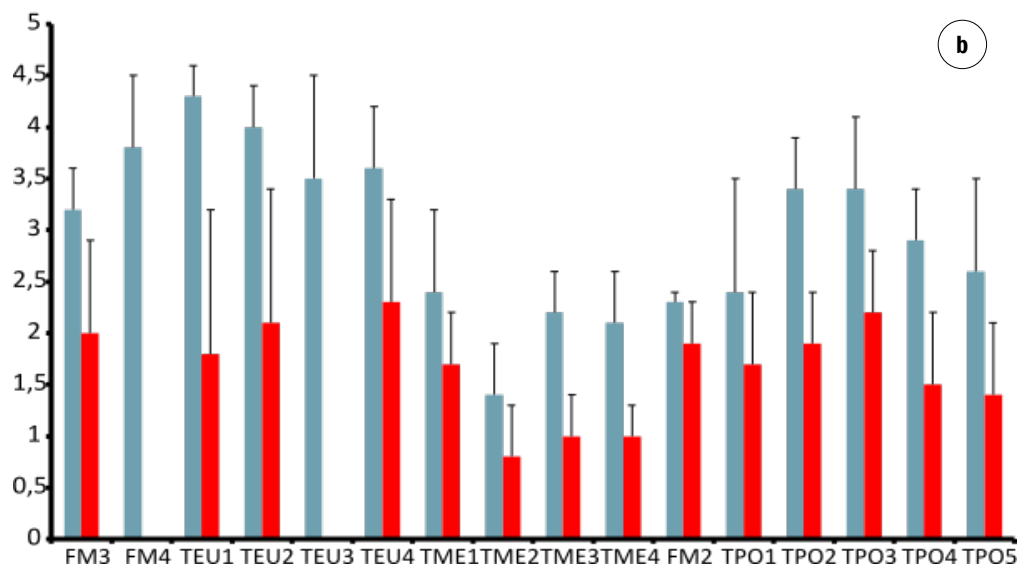
Grazie alla comparabilità dei metodi di prelievo e di analisi dei campioni è stato possibile operare un confronto tra i campionamenti eseguiti prima e dopo l'entrata in vigore della Direttiva Quadro sulle Acque. A tale scopo la Laguna di Marano e Grado è stata **suddivisa in 17 corpi idrici sulla base della salinità**: corpi idrici "eualini" (TEU) con salinità compresa tra 30-40 (simile a quella del mare), "polialini" (TPO) (20-30) e "mesoalini" (TME) (5-20), ovvero a salinità via via inferiore rispetto al mare. Alcuni corpi idrici, invece, sono stati ulteriormente identificati come fortemente modificati (FM), poiché il loro regime idrologico ha perso la sua naturalità essendo modificato, nel caso di FM2 e FM3, dalla presenza del ponte Grado-Aquileia che, di fatto, ha confinato la porzione più orientale della laguna, e dalla presenza del complesso delle valli da pesca (FM1, FM4).



La Laguna di Marano e Grado con i corpi idrici definiti in base alla salinità.



a



b

Numero medio di taxa per corpo idrico (a) e dell'indice di diversità (indice ecologico di Shannon-Wiener) (b) durante il periodo 1993-1995 (rosso) e 2008-2021 (blu).

I campioni analizzati da ARPA FVG sono stati raccolti con frequenza costante a partire dal 2008 (2008, 2011, 2014, 2018 e 2021). Pertanto il complessivo dataset è rappresentato da molti diversi siti e un gran numero di campioni: costituisce quindi un buon punto di partenza per confrontare lo **stato attuale della comunità del macrozoobenthos rispetto a 30 anni fa**.

I CAMBIAMENTI EVIDENZIATI

Il confronto tra i due periodi ha evidenziato un **aumento** significativo sia della **ricchezza specifica** (intesa come numero di taxa) che dell'indice di **diversità** e ciò è dovuto principalmente al gruppo tassonomico degli anellidi policheti (vermi segmentati marini), che è il gruppo faunistico più rappresentativo del sedimento fangoso anche in termini di abbondanza degli individui. Tale aumento è stato molto più evidente **nei corpi idrici a maggiore salinità**, localizzati in prossimità degli scambi mare-laguna, rispetto alle zone più confinate all'interno della laguna e maggiormente soggette agli apporti fluviali.

	1993	1994	1995	2008	2011	2014	2018	2021
TME	3,2±0,17	2,79±0,16	2,89±0,05	3,06±0,05	3±0,00	3,01±0,01	3,28±0,22	3,13±0,15
TPO	2,67±0,23	2,66±0,14	2,15±0,2	3,49±0,18	3,07±0,11	3,29±0,19	2,78±0,39	3,03±0,13
TEU	2,68±0,17	2,11±0,21	0,69±0,26	3,13±0,29	3,11±0,13	3,09±0,35	2,94±0,47	2,27±0,33

Valori medi (± E.S.) del grado di disturbo ambientale (indice AMBI).

Azzurro: indisturbato, verde: leggermente disturbato, giallo: moderatamente disturbato.

Il grado medio di **disturbo ambientale è rimasto costante** e ha indicato che il *macrozoobenthos* è sempre sottoposto a un leggero grado di disturbo per la maggior parte dei corpi idrici in tutti gli anni di campionamento. Dalle elaborazioni effettuate, sono state evidenziate nelle comunità biologiche modificazioni statisticamente significative rispetto a 30 anni fa. In particolare, nei corpi idrici a maggiore salinità (TEU) è stato riscontrato che le comunità del *macrozoobenthos* sono **divenute più simili a quelle tipiche del dominio marino** rispetto alla biocenosi tipica degli ambienti di transizione, la quale è caratterizzata da specie animali adattate ad ampie escursioni di salinità e temperatura durante l'anno.

IL PARADOSSO DEGLI AMBIENTI DI TRANSIZIONE

La **biocenosi** caratteristica degli ambienti di transizione è **tipica degli ambienti naturalmente instabili**, dove le elevate escursioni di salinità e temperatura si verificano a causa delle piene dei fiumi, delle piogge o dell'elevato tasso di evaporazione durante l'estate.

Alcune specie bentoniche tipicamente lagunari dei fondi mobili sono capaci di tollerare anche un moderato grado di ipossia, di arricchimento organico, oltre a un moderato disturbo meccanico come la risospensione dei sedimenti. La maggior parte di queste specie infatti sono estremamente opportuniste e a elevato potenziale riproduttivo, come gli anellidi policheti che in questi ambienti possono rappresentare anche l'80% del popolamento in termini di abbondanza numerica.

Pertanto, a causa di queste particolari caratteristiche intrinseche di questi habitat costieri, molto spesso **non è possibile distinguere** un disturbo di **origine antropica** da un altro originato dalla **naturale fluttuazione** dei parametri ambientali. Questo fenomeno nella letteratura scientifica è propriamente conosciuto come il paradosso degli ambienti di transizione.

ECOSISTEMI PARALICI, CONFINAMENTO, ZONAZIONE: ECCO LA SPIEGAZIONE

Dall'inizio degli anni '80, due ricercatori francesi, Olivier Guelorget e Jean-Pierre Perthuisot, introdussero i concetti di "ecosistema paralico" e di "confinamento" nella geomorfologia costiera, nella sedimentologia, nell'idrologia e nell'ecologia delle lagune e degli habitat simil-lagunari delle coste mediterranee.

Con il termine **paralico** venne definito un ecosistema costiero che possiede un certo rapporto con il mare e che è caratterizzato da comunità viventi originali e da processi sedimentari e geochemici peculiari. Il tempo necessario affinché in un determinato punto di questo ecosistema si rinnovino gli elementi di origine marina determina il suo grado di "**confinamento**" e quest'ultimo è uno dei principali parametri ambientali responsabili della **zonazione biologica**, ossia della distribuzione dei diversi organismi nelle diverse zone dell'ecosistema paralico (la nostra laguna).

Ecco quindi spiegata la crescente **diminuzione del numero delle specie** man mano che ci sposta dalle bocche a mare della laguna **verso le aree più interne** e confinate, caratterizzate invece da **valori più elevati della biomassa**. Per questo motivo le zone più interne della Laguna di Marano e Grado, sebbene povere di specie, rappresentano invece una ricca zona di pascolo e di nursery per molte specie ittiche di interesse commerciale.

AUMENTA LA BIODIVERSITÀ, DIMINUISCE LA PRODUTTIVITÀ

Il significativo aumento del numero delle specie a indole più marina in tutta la laguna, rispetto a 30 anni fa, induce concretamente a ipotizzare una diminuzione del grado di confinamento a causa della **marinizzazione**, fenomeno originato dall'innalzamento del livello medio del mare e accentuato da altri fattori locali, come già descritto nell'edizione 2023 di Segnali dal clima in FVG.



Foto: ARPA FVG

Streblospio shrubsolii (Buchanan, 1890) – anellide polichete.



Foto: ARPA FVG

Abra segmentum (Récluz, 1843) – mollusco bivalve.



Foto: ARPA FVG

Hediste diversicolor (O.F. Müller, 1776) – anellide polichete.

Paradossalmente questa evoluzione dei popolamenti bentonici potrà migliorare la qualità ecologica dei corpi idrici ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque. D'altro canto però, questa tendenza sta causando la perdita delle caratteristiche peculiari degli ambienti lagunari, ovvero la minore biodiversità rispetto al mare, ma con una maggiore produttività in termini di biomassa, la quale è fondamentale per sostenere un'economia basata sulla pesca e l'acquacoltura. Un'economia ittica lagunare che oggi, complici anche le recenti invasioni della noce di mare e del granchio blu, sta tentando in tutti i modi di sopravvivere, più per la forte impronta culturale della popolazione lagunare, che per capacità produttiva.

Nicola Bettoso

Ida Floriana Aleffi

Lisa Faresi

Alessandro Acquavita

ARPA FVG

Valentina Pitacco

Istituto Nazionale di Biologia della Slovenia,

Stazione di Biologia Marina di Pirano

Romina Zamboni

Skyproxima

PAROLE CHIAVE

ANELLIDI POLICHETI

vermi segmentati frequenti e abbondanti nei fondali marini.

BENTHOS, SPECIE BENTONICHE

categoria di organismi acquatici che vivono a stretto contatto con il fondo.

BIOCENOSI

comunità delle specie di un ecosistema che vive in un determinato ambiente.

CLASSIFICAZIONE DELLO STATO ECOLOGICO

sistema di valutazione dello stato ecologico di un habitat acquatico in funzione di specifiche classi di qualità.

CONFINAMENTO

nell'ambito degli habitat lagunari viene inteso come la distanza di un'area lagunare rispetto al mare.

DATASET

insieme di dati ambientali per definire la struttura di un ecosistema.

ECOTONO

ambiente di transizione tra due ecosistemi ben distinti.

EQB

elementi di qualità biologica da monitorare per definire lo stato ecologico di un habitat acquatico.

FONDO MOBILE

habitat acquatico costituito da sedimenti sabbiosi o fangosi.

INVERTEBRATI

gruppo di animali privi di colonna vertebrale o di uno scheletro interno.

IPOSSIA

condizione di carenza di ossigeno disciolto nell'acqua al livello del fondale marino o lagunare.

MACROZOOBENTHOS

gruppo di organismi bentonici animali aventi dimensioni superiori a 1 mm.

NURSERY

aree di rifugio e di crescita per le forme giovanili dei pesci.

PARALICO

ambiente acquatico situato tra il dominio continentale e quello marino.

TAXA

categorie tassonomiche o gruppi nei quali vengono classificati gli esseri viventi.

VALLI DA PESCA

aree lagunari delimitate da argini nelle quali si pratica la vallicoltura, ovvero una tipologia di allevamento ittico ottenuto con le sole risorse naturali.

ECOSISTEMI TERRESTRI

ECOSISTEMI TERRESTRI

Servizi ecosistemici e relazioni tra piante e animali

I cambiamenti climatici hanno una molteplicità di effetti sugli ecosistemi terrestri. In questa edizione di Segnali dal clima in FVG indaghiamo il modo in cui influiscono sulla relazione tra animali e piante e su alcuni fondamentali servizi ecosistemici, come l'impollinazione e la dispersione dei semi degli alberi.

Le molte specie di api che troviamo in natura svolgono un ruolo insostituibile nell'impollinazione delle piante a fiore e sono molto sensibili ai cambiamenti del clima, che si sommano ad altri fattori di stress e possono compromettere le relazioni tra piante e insetti.

I piccoli roditori sono fondamentali per la dispersione dei semi di molti alberi di grande rilevanza ecologica ed economica in FVG e da loro dipende quindi la capacità delle nostre foreste di adattarsi a un clima sempre più caldo.

API E CAMBIAMENTI CLIMATICI: LA GOCCIA CHE FA TRABOCCARE IL VASO



Foto: Annette Meyer da Pixabay

Le molte specie di api, che svolgono un ruolo insostituibile nell'impollinazione delle piante con fiore, sono minacciate da vari fattori: riduzione della naturalità del paesaggio agrario, inquinamento e parassiti. A questi si sommano gli effetti dei cambiamenti climatici a cui gli insetti sono molto sensibili. La relazione api-piante corre rischi che si possono studiare bene in Friuli. Per diminuire la vulnerabilità delle api nei confronti dei cambiamenti climatici bisogna ridurre il livello degli altri stress.

Di fronte alle conseguenze sempre più impressionanti dei cambiamenti in atto, può sembrare futile preoccuparsi di come il clima potrebbe influenzare la vita delle api.

Di fatto, l'immagine di un orso polare alla deriva su un frammento di ghiaccio galleggiante ha una potenza assai maggiore di quella di un mucchio d'api straripante dall'alveare in una calda giornata estiva. Analogamente, il grido di allarme degli agricoltori per le colture devastate dall'ennesima tempesta estiva risuona normalmente assai più forte di quello degli apicoltori privati della produzione di miele a causa di una primavera insolitamente piovosa. Ciò nonostante, l'importanza delle api per l'ambiente e l'agricoltura è tale che non possiamo ignorare le possibili conseguenze negative che il cambiamento climatico potrebbe avere su di esse.

DI COSA PARLIAMO QUANDO PARLIAMO DI API

Sotto l'ombrello della parola "api" (gli entomologi usano piuttosto il termine apoidei) sono compresi insetti pronubi (dal lat. tardo *pronūbus*: colui che favorisce l'unione amorosa), appartenenti all'ordine degli imenotteri, caratterizzati da un corpo peloso, adatto a trattenere i granuli pollinici raccolti sui fiori, e una proboscide più o meno lunga per succhiarne il nettare.

Il rapporto di questi insetti con le piante con fiore, le cosiddette angiosperme, è talmente stretto che gli ecologi parlano di simbiosi mutualistica, per sottolineare come le api non possano vivere senza il nutrimento offerto loro dalle angiosperme, mentre queste ultime non possano rinunciare ai benefici della fecondazione incrociata propiziata dalle api.

Oltre che variegato, il gruppo degli apoidei è anche molto cospicuo, tanto da annoverare nel mondo circa ventimila specie. In Italia le specie sono più di mille e nel solo Friuli Venezia Giulia se ne contano almeno settecento. Per cogliere appieno la portata di queste cifre si tenga presente, a titolo di esempio, che tutti gli uccelli descritti finora su scala planetaria, dalla gallina allo struzzo, dal pettirosso all'aquila, assommano a diecimila specie!

Tra gli apoidei la specie più nota è senz'altro l'ape mellifera, se non altro per il lunghissimo rapporto con l'uomo che l'alleva da migliaia di anni in cambio di miele, cera, propoli e pappa reale. A dire il vero questa specie è anche una delle più efficienti nell'impollinazione delle colture; tuttavia, l'ape da sola non può bastare per questo scopo in quanto, nonostante frequenti molte piante, le sue caratteristiche la rendono inadatta all'impollinazione di certe specie vegetali. Ad esempio, è ben nota la capacità dell'ape mellifera di contribuire efficacemente all'impollinazione di un gran numero di ortaggi e tuttavia, uno dei più comuni, il pomodoro, abbisogna dell'intervento dei bombi. Infatti, solo questi ultimi, grazie alla loro corporatura robusta riescono, scuotendo vigorosamente il fiore, a far fuoriuscire il polline dalle antere. Non meno importanti, particolarmente per alcune specie vegetali, sono una miriade di altre api, alcune delle quali sono talmente legate a una specifica pianta che probabilmente essa verrebbe meno in assenza di quell'insetto.

In generale, l'impollinazione della flora che ci circonda, che è composta da centinaia di specie diverse, richiede il lavoro di un numero di insetti impollinatori ancora più grande.



Xylocopa



Bombo



Ape mellifera

PERCHÉ PARLARE DI API

L'85% delle piante con fiore dipende per la propria riproduzione dall'impollinazione animale e **tre quarti delle colture** di interesse agrario si trovano nella stessa condizione.

Di recente sono risuonate di frequente sui mezzi di informazione le parole attribuite a Einstein secondo cui, in mancanza delle api, l'umanità non potrebbe sopravvivere per più di quattro anni. Non è certo che tali parole siano state pronunciate proprio dal fisico tedesco e nemmeno che la previsione sia del tutto corretta, di sicuro però possiamo affermare che **senza api** la flora mondiale subirebbe un drastico stravolgimento e **fino a un decimo del nostro cibo potrebbe diventare indisponibile**. Peraltro, se anche nessuna di queste conseguenze dovesse verificarsi, in virtù di qualche miracoloso accidente allo stato difficilmente prevedibile, di sicuro un mondo senza api sarebbe molto meno ospitale per l'umanità.

UN INTRECCIO DI FATTORI

Il benessere delle api, non meno di quello umano, dipende da una serie di **fattori tra di loro interconnessi** a formare una rete assai intricata.

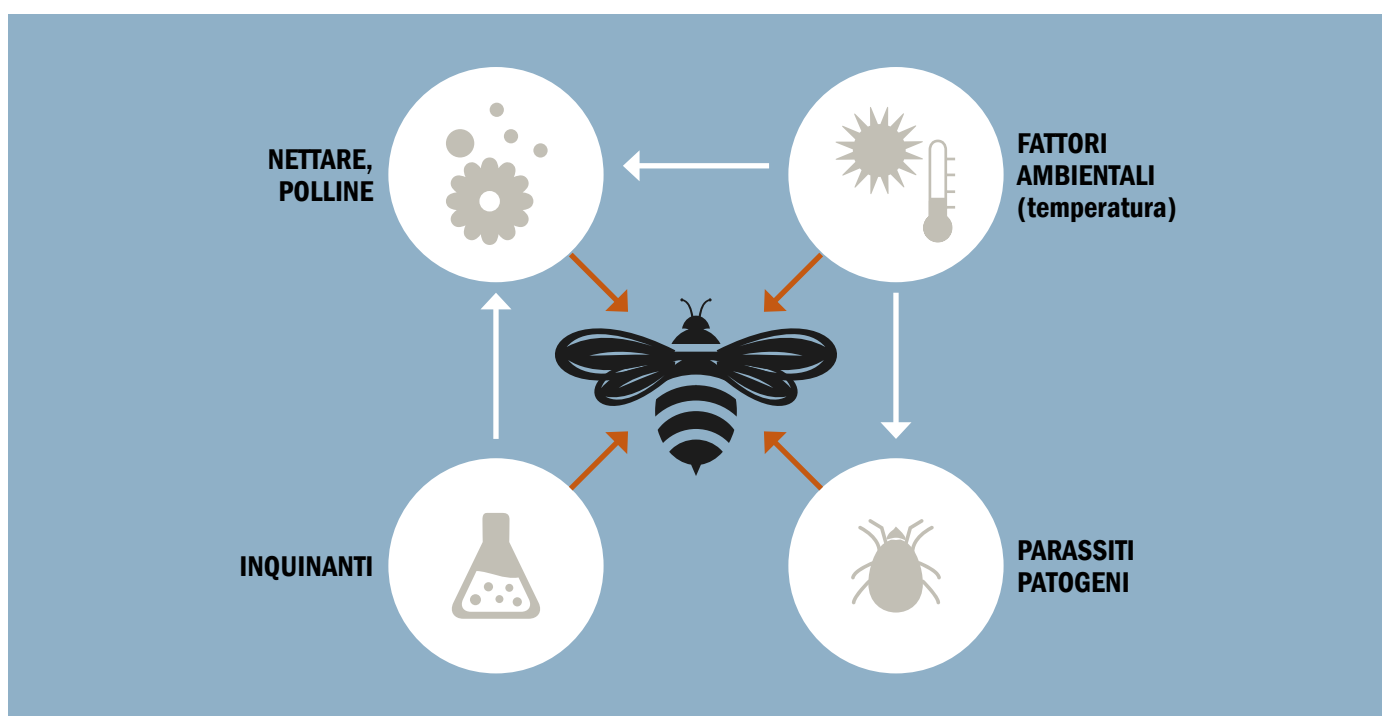
Certamente, la possibile carenza di risorse nutritive, determinata dal **deterioramento del paesaggio**,

è una causa di stress molto importante per le api ed è stata finora sottovalutata, nonostante il **consumo di suolo e la continua riduzione dei pochi elementi naturali presenti nel paesaggio agrario** stiano erodendo progressivamente la superficie disponibile per il sostentamento degli insetti impollinatori.

D'altro canto, la presenza di **parassiti e agenti patogeni** che minacciano la salute degli insetti è un fattore non meno rilevante. Basti pensare in proposito che solo nelle api mellifere sono stati descritti finora circa venti tipi diversi di virus patogeni.

Altrettanto importanti per l'influenza che esercitano sulla salute delle api sono le varie fonti di **inquinamento**: dai pesticidi utilizzati nei campi coltivati per proteggere le colture, ai metalli pesanti diffusi nell'ambiente attraverso il consumo di combustibili fossili e le attività industriali.

Dunque, il **cambiamento climatico**, e in particolare l'aumento delle temperature, agisce su un sistema già pericolosamente esposto a numerosi fattori di stress. Ed è perciò che anche senza essere particolarmente rilevante, ogni ulteriore fattore di disturbo potrebbe anche avere conseguenze drammatiche, come **la fatidica goccia che fa traboccare il vaso**.



La salute delle api dipende da vari fattori che possono interagire fra loro. Particolarmente importanti sono: la disponibilità di nettare e polline prodotti dalle piante, la presenza di parassiti e patogeni, gli inquinanti presenti nell'ambiente e le condizioni climatiche.



I POSSIBILI EFFETTI DEL RISCALDAMENTO GLOBALE SULLE API

Per capire come l'aumento delle temperature potrebbe condizionare la vita delle api occorre innanzitutto ricordare lo stretto legame con le piante con fiore, poiché, in virtù di tale legame, l'aumento di temperatura potrebbe influenzare questi impollinatori, oltre che direttamente, anche indirettamente, attraverso i possibili effetti sulla vegetazione da cui dipendono.

GLI EFFETTI DIRETTI DELLE VARIAZIONI DI TEMPERATURA

Per quanto riguarda gli effetti diretti, è importante notare come, **in generale, gli insetti sono incapaci di regolare la propria temperatura corporea**, dipendendo, di conseguenza, dalla temperatura ambientale. In altri termini, mentre un essere umano può mantenere una temperatura corporea costantemente uguale a circa 37 °C, la temperatura di un insetto tende a rispecchiare quella dell'ambiente in cui vive. E poiché il funzionamento della macchina insetto (il suo metabolismo) è fortemente condizionato dalla temperatura, va da sé che **gli insetti possono vivere solamente all'interno di un intervallo di temperature piuttosto ristretto**. La larghezza di questo intervallo varia da specie a specie, rendendo le entità più tolleranti meno vulnerabili di quelle che viceversa sono adattate a vivere soltanto entro un ristretto intervallo di temperature.

Detto ciò, esistono, nel variegato mondo delle api, specie più adatte ai climi freddi (con un limite di tolleranza inferiore più basso) e specie che, viceversa, tollerano bene anche temperature più elevate. In generale, le **api più grandi e molto pelose come i bombi**, ben isolate termicamente e caratterizzate da un ridotto rapporto superficie/volume, sono capaci di tollerare bene anche le temperature più fredde ma, viceversa, **sono più esposte alle conseguenze negative delle alte temperature**.

Naturalmente, la plasticità degli organismi, nel breve periodo, o la selezione naturale, nel lungo periodo, possono anche permettere alle specie di adattarsi alle mutevoli condizioni ambientali, modificando in sostanza sé stesse per rispondere ai cambiamenti dell'ambiente.

In ogni caso, quando la temperatura esce dall'intervallo di tolleranza delle specie per un tempo lungo, come, ad esempio, durante i mesi invernali, gli insetti possono sospendere la propria vita attiva entrando nella cosiddetta diapausa. Di fatto tutte le specie di **api sopravvivono all'inverno in condizioni di vita rallentata**, per riprendere le proprie attività in primavera. La durata di questo periodo varia evidentemente a seconda della durata della stagione fredda.

REGOLARE LA TEMPERATURA: SOLUZIONI INGEGNOSE

Le api mellifere, nel mondo degli insetti, rappresentano un caso un po' speciale in quanto, entro certi limiti, sono in grado di modificare la propria temperatura corporea mettendo in funzione, da ferme, i potenti muscoli del volo; un po' come noi che al freddo tremiamo per riscaldarci. Soprattutto, **le api mellifere riescono a mantenere costante la temperatura del proprio nido**, il centro del quale, sia che fuori faccia freddo, sia che le temperature crescano molto, si mantiene intorno ai 34.5 °C. Il meccanismo utilizzato per il riscaldamento è lo stesso già menzionato, solo che viene esercitato all'unisono da molte api.

Invece, per ridurre la temperatura, le api ricorrono a due diversi sistemi che possono essere paragonati al ventilatore e all'aria condizionata. Nel primo caso, utilizzato soprattutto quando la temperatura è di poco superiore a quella ottimale, le api mettono in atto la ventilazione, ossia vibrano velocemente le ali, favorendo la circolazione dell'aria, eventualmente spostandosi all'ingresso dell'alveare o subito al di fuori di esso. Nel secondo caso, le api raccolgono acqua dai dintorni, la spargono all'interno delle cellette vuote e facendola evaporare attraverso la ventilazione, conseguono un temporaneo abbassamento della temperatura. Ma c'è un fattore in comune a entrambi questi metodi, ed è, purtroppo, l'energia che le api devono spendere per metterli in opera. Poiché l'energia per compiere queste attività si ottiene consumando miele, **la termoregolazione dell'alveare, sia in caso di freddo che in caso di caldo, è un processo costoso che riduce le scorte raccolte** dalla famiglia per il proprio sostentamento.

In ogni caso, d'inverno, quando le fioriture si interrompono e la temperatura esterna cala sensibilmente, anche le api mellifere sospendono la



Foto: József Szabó da Pixabay

propria attività raggruppandosi nel nido a formare una specie di pallone detto glomere.

SPOSTARSI O MODIFICARE I CICLI BIOLOGICI

Cosa possono fare le api quando nessuno dei metodi a disposizione permette loro di gestire temperature diverse da quella ottimale per tempi più o meno lunghi?

Esse possono naturalmente **spostarsi verso ambienti con temperature più adeguate**; in caso di riscaldamento potrebbero, ad esempio, spostarsi gradualmente verso latitudini più settentrionali o quote superiori. Ma potrebbero anche **modificare i propri cicli biologici in modo da coordinarsi con l'andamento climatico**; così, ad esempio, una specie che con un data temperatura usciva dalla pausa invernale in febbraio, in caso di aumento delle temperature potrebbe anticipare la ripresa delle attività. In questo caso a cambiare non è tanto la distribuzione della specie ma la sua fenologia.

API E PIANTE: I RISCHI DI DISALLINEAMENTO

Per quanto riguarda gli effetti indiretti delle alte temperature sulle api, quelli cioè mediati dalle piante, la parola chiave è: **disallineamento** ("mismatch" è il termine utilizzato dai ricercatori). Infatti, le piante non meno delle api reagiscono alle mutate condizioni ambientali modificando la propria distribuzione o la propria fenologia. Le piante possono anche, sfruttando la plasticità della pro-

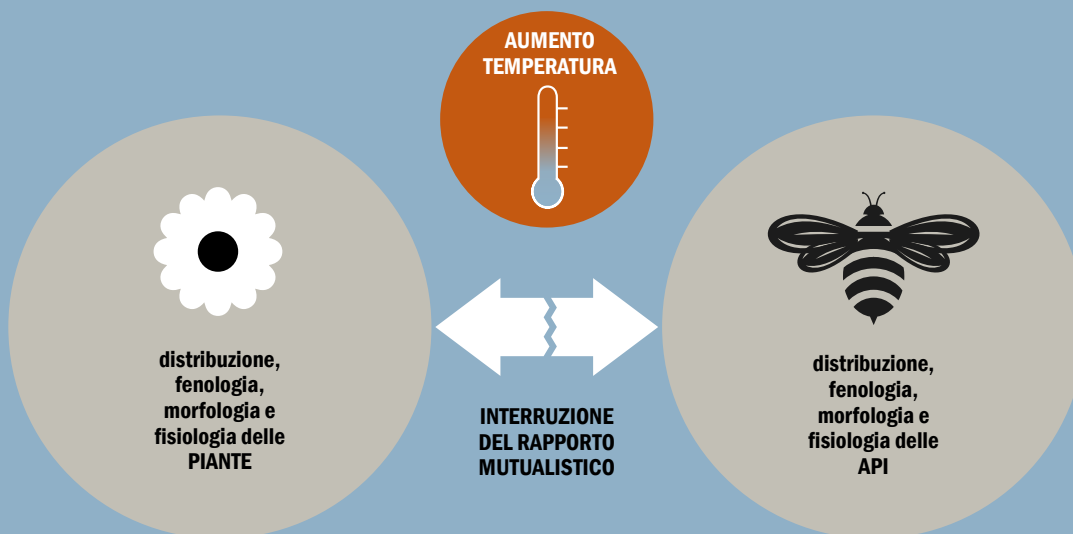
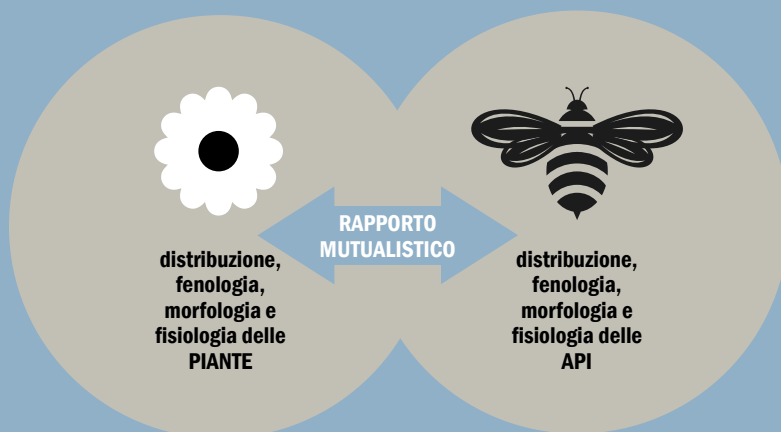
pria risposta alle condizioni ambientali, oppure attraverso l'evoluzione, modificare determinate caratteristiche intrinseche, come la fisiologia o le forme; dunque, possono cambiare sé stesse per migliorare l'adattamento all'ambiente che cambia.

Il problema è che questi cambiamenti di distribuzione, fenologia, morfologia e fisiologia di piante e insetti potrebbero anche non essere perfettamente accoppiati e si potrebbe dare un disallineamento con conseguenze negative per entrambi.

Si consideri ad esempio, una pianta che a causa dell'aumento delle temperature fiorisca due settimane prima di quando fioriva in condizioni normali. È possibile che anche gli insetti che visitano i fiori di quella pianta, a causa delle temperature più alte ricomincino la loro attività primaverile un po' prima. Ma che succederebbe se quel "un po'

prima" degli insetti non fosse "abbastanza prima"? Si verificherebbe il disallineamento di cui si parla e le conseguenze potrebbero anche essere molto negative. In ogni caso, tali conseguenze sono tutt'altro che facili da prevedere poiché l'impollinazione delle piante con fiore coinvolge molte specie di insetti, con varie norme di reazione, che visitano molte piante con altrettante idiosincrasie nella loro risposta alle condizioni ambientali.

E c'è poi anche un invitato di pietra piuttosto ingombrante, poiché, come è stato detto, la salute delle api dipende dalle condizioni ambientali e dal cibo disponibile ma anche da un folto esercito di nemici che annovera nelle sue fila **virus letali, voraci parassiti, protozoi e funghi**. **I cambiamenti globali influiranno sicuramente anche su di essi**, ma in che modo e con quali conseguenze per le api?



Il rapporto mutualistico fra api e piante comporta che essi condividano lo stesso habitat (distribuzione) nello stesso periodo dell'anno (fenologia) e siano reciprocamente compatibili (morfologia e fisiologia). Il cambiamento climatico, e in particolare l'aumento delle temperature, potrebbe modificare in modo diverso la distribuzione, la fenologia o la fisiologia di piante e impollinatori, interrompendo i rapporti mutualistici che li legano.

CHE FUTURO CI ATTENDE?

La **complessità del sistema formato dalle piante con fiore e i rispettivi impollinatori** è tale che la comprensione delle possibili conseguenze del cambiamento climatico è un'impresa tutt'altro che semplice. Ciò nonostante, anche stimolati dal declino degli impollinatori, innescato molto tempo fa da altre cause, i ricercatori si sono attrezzati a dovere per affrontare questa sfida. A titolo di esempio degli strumenti culturali e materiali attualmente a disposizione, si considerino solamente i pochi casi descritti di seguito.

Benché al principio, i problemi degli impollinatori siano stati attribuiti di volta in volta a patogeni esotici, nuovi insetticidi o altre cause puntuali, ormai nessuno pensa di poter comprendere il sistema formato da piante, insetti pronubi e i loro nemici, isolando l'effetto di un dato fattore di stress dagli altri, ma si è finalmente diffusa la consapevolezza che **solo un approccio sistemico potrà consentire di interpretare il fenomeno del declino degli impollinatori**. Di sicuro questo approccio non mancherà di dare i suoi frutti anche nello studio delle possibili conseguenze dei cambiamenti climatici.

D'altro canto, gli strumenti a disposizione dei ricercatori sono notevolmente migliorati negli ultimi anni. Ad esempio, il **sequenziamento del genoma dell'ape** nel 2006 ha consentito di tracciare fino al livello dei geni gli effetti dei vari fattori di stress su questo organismo, consentendo una spiegazione meccanicistica dei vari fenomeni fino a poco tempo fa del tutto impensabile.

Nel frattempo, il meticoloso **lavoro di climatologi e modellisti** ha messo in mano ai biologi dati preci-

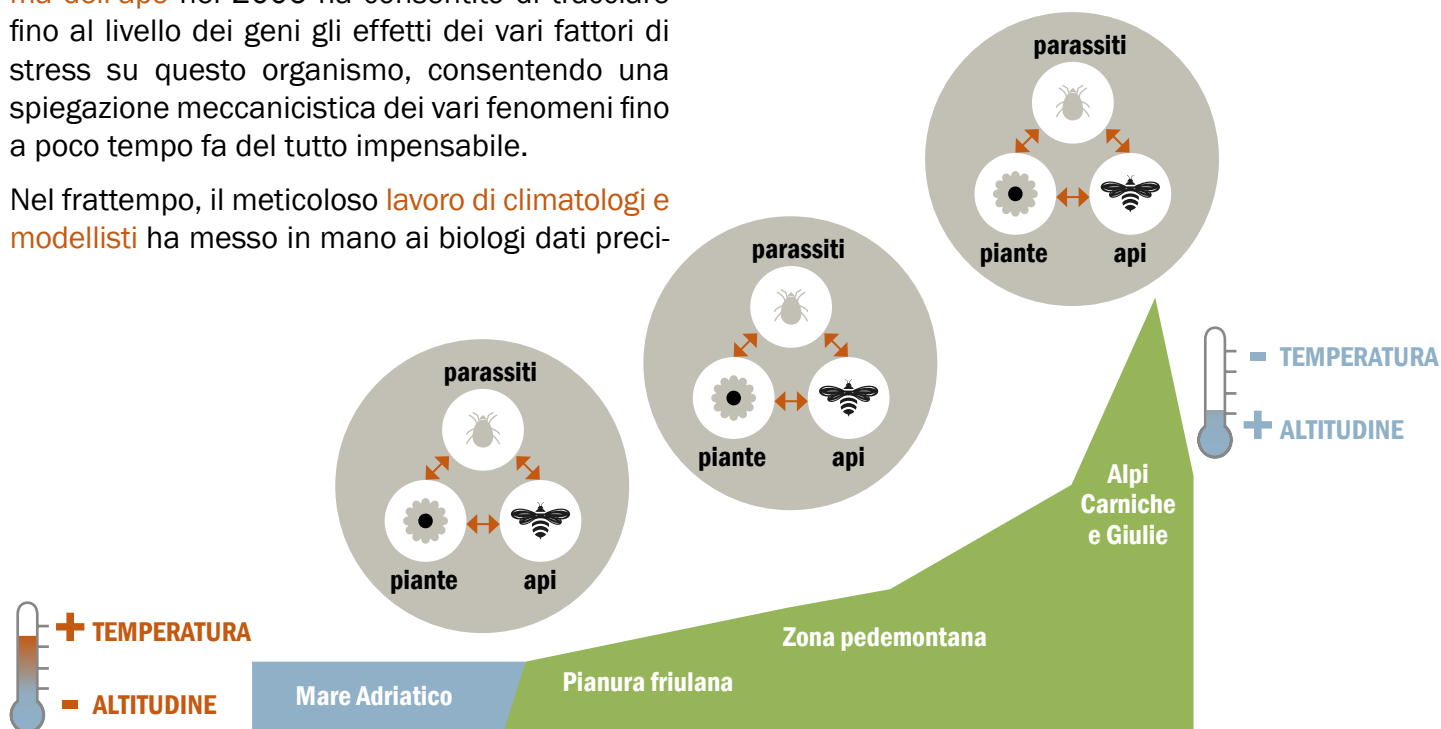
si e importantissimi per delineare il quadro entro cui collocare le api e le piante, per comprendere in che modo i cambiamenti di quel quadro potranno influenzare i simbionti in esame.

Il lavoro da fare è però ancora molto e serve un serio impegno di ricerca, poiché solo dopo aver compreso appieno ciò che ci attende potremo pianificare efficaci azioni di risposta.

UN LABORATORIO A CIELO APERTO

La ricerca, dunque, ferve in tutto il mondo e anche l'Italia attraverso il **National Biodiversity Future Center (NBFC)** finanziato dall'Unione Europea attraverso il PNRR, ha intrapreso un percorso di ricerca in questa direzione. In particolare, **a Udine un gruppo di entomologi e botanici affiliati al NBFC** intende sfruttare la peculiare geografia del Friuli per questo studio. Allo scopo la nostra regione verrà trasformata in un vero e proprio laboratorio a cielo aperto in cui studiare i possibili effetti dei cambiamenti climatici sulle api e la vegetazione da esse impollinata.

Ippolito Nievo, per sottolineare la varietà dei paesaggi che si possono incontrare procedendo dal litorale Adriatico fino alle cime delle Alpi orientali, parlava del **Friuli come di un piccolo compendio dell'universo**. Di fatto, nel breve spazio di un centinaio di chilometri, si passa dal livello del mare ai quasi tremila metri delle più alte montagne della



Studiando api, piante e parassiti alle diverse quote si può comprendere in che modo l'aumento della temperatura potrebbe influenzare i servizi ecosistemici offerti dagli impollinatori.

Carnia e del Tarvisiano. E con la quota cala la temperatura, secondo un gradiente tale per cui ogni cento metri la temperatura dell'aria si abbassa di circa 1 °C. Così, abbassandosi di un paio di centinaia di metri di quota, si può riscontrare lo stesso cambiamento della temperatura che purtroppo, se va avanti così, dovremo sperimentare a causa dell'aumento dell'effetto serra, restando seduti a casa nostra.

Questa circostanza ha suggerito di sfruttare nel lavoro di ricerca il cosiddetto **approccio "space for time"** per cui, modificando la coordinata spaziale, si può simulare ciò che accadrà con il passare del tempo. In pratica, sono stati stabiliti in tutto il territorio friulano **25 siti di studio, situati a diverse altitudini** (da 200 m fino a 1600 m) in cui verranno studiati la vegetazione, gli impollinatori e i loro parassiti per stabilire quali reti leghino fra loro queste entità alle varie quote e, soprattutto, per verificare come il cambiamento delle temperature potrebbe deformare tali reti.

Questi risultati serviranno anche per capire quali caratteristiche rendono tali reti più o meno sensibili ai cambiamenti in oggetto, per individuare modi possibili per rinforzare tali peculiarità.

C'È QUALCOSA CHE POSSIAMO FARE?

In conclusione, è lecito chiedersi se non vi sia qualcosa che possiamo già fare per reagire ai possibili effetti negativi dei cambiamenti climatici sugli impollinatori.

A questo proposito giova ricordare l'esempio del vaso sul punto di traboccare a causa dell'ultima goccia rappresentata dal cambiamento climatico. Mentre ci sforziamo di capire come evitare la tracimazione, proviamo a ingegnarci per svuotare un po' dell'acqua che nel frattempo si è accumulata nel vaso. Fuor di metafora, esploriamo tutte le vie per ridurre il livello di stress che grava sugli impollinatori rendendoli più vulnerabili agli effetti negativi dei cambiamenti climatici, a cominciare da quelle sotto il nostro diretto controllo quali, ad esempio, il recupero di paesaggi degradati o la riduzione degli inquinanti immessi nell'ambiente.

A "Le api domestiche e i cambiamenti climatici" è dedicato un box di approfondimento nell'articolo **ALLEVAMENTI ANIMALI E CAMBIAMENTI CLIMATICI** a pag.181.

Francesco Nazzi

Università degli Studi di Udine
National Biodiversity Future Center

PAROLE CHIAVE

API

vasto e variegato gruppo di insetti appartenenti alla superfamiglia degli Apoidei, caratterizzati da un'alimentazione a base di nettare e polline, un corpo peloso, e strutture anatomiche adatte alla raccolta di polline e nettare.

DISALLINEAMENTO O MISMATCH

con questo termine si intende la possibilità che, a seguito dei cambiamenti climatici, la distribuzione, la fenologia e alcune caratteristiche intrinseche di piante e insetti pronubi divergano in modo tale da non essere più sovrapposte, impedendo di fatto il mantenimento dell'interazione mutualistica fra insetti impollinatori e piante.

DISTRIBUZIONE, FENOLOGIA, MORFOLOGIA, FISIOLOGIA DI PIANTE E PRONUBI

con questi termini si intendono, rispettivamente, l'area occupata, l'andamento stagionale, le forme e il funzionamento delle piante con fiore e degli insetti che le frequentano.

TOPI CORAGGIOSI: IL RUOLO DEI PICCOLI MAMMIFERI NELL'ADATTAMENTO DI QUERCE E FAGGI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI



Foto: Alexas da Pixabay

Fino al 90% delle piante in un ecosistema possono dipendere dagli animali per la dispersione dei loro semi, come avviene per le querce e i faggi, alberi ecologicamente ed economicamente importanti in Friuli Venezia Giulia. I piccoli mammiferi, quali topi e arvicole, svolgono questa vitale funzione con modalità complesse e affascinanti e alcune ricerche mostrano come alcuni individui siano particolarmente importanti in questo processo.

Nell'immaginario collettivo frutti e semi di piante erbacee e arboree vengono dispersi dal vento. Tutti abbiamo visto almeno una volta le samare di acero che svolazzano in autunno, alle volte per centinaia di metri. In realtà, a seconda degli ecosistemi, fino al 90% delle specie vegetali dipende dagli animali per la dispersione dei semi piuttosto che dal vento.



Foto: Alexas da Pixabay

LE SCELTE CRUCIALI DEI PICCOLI RODITORI

Tra le tante specie animali che disperdono semi ci sono i piccoli mammiferi, ovvero animali come topi, arvicole, ghirri e scoiattoli. Il meccanismo attraverso cui disperdono i semi è estremamente affascinante. Un topolino che si aggira per un bosco e trova dei frutti o semi, ad esempio ghiande o fagioline, si trova di fronte a due importanti decisioni: la prima è: **quale frutto scegliere?** Sarà meglio una ghianda di cerro o una di roverella? La seconda decisione che deve prendere è: **cosa fare con quella ghianda?** Ha due opzioni: può mangiarla subito, comportandosi da predatore e provocando la morte del potenziale albero. Oppure, può decidere di nascondere quella ghianda per consumarla in un secondo momento, ad esempio durante l'inverno. **Se decide di conservare la ghianda** il topo la porta con sé finché non trova un sito idoneo per nascondere, ad esempio alla base di un tronco caduto o sotto una roccia. Spesso porta varie ghiande in un nascondiglio e le ricopre con cura con delle foglie. **Fa il possibile per nasconderele** poiché il rischio che un altro topo o un cinghiale le trovino e le portino via è molto elevato. Nell'eventualità di un furto tutti i pericoli affrontati per trasportare il bottino di ghiande sarebbero stati inutili e le calorie consumate per portarle lì sarebbero sprecate invano.

BOTTINI NASCOSTI, A VOLTE DIMENTICATI

Questo comportamento si chiama *scatter-hoarding*, termine anglosassone che può essere grossolanamente tradotto in **“accumulato seriale di mucchietti sparsi qua e là”**. Questo comportamento, probabilmente istintivo (ma non sappiamo fino a che punto) è molto importante per tante specie di roditori poiché permette loro di accumulare risorse trofiche (cibo) al di fuori del proprio corpo, risorse che possono poi usare per i mesi successivi, soprattutto quelli invernali in cui le risorse scarseggiano, in particolar modo se il suolo è coperto dalla neve. Anche se sazio (e ci vuole poco a saziare un topo, bastano un paio di ghiande), il topo continua ad accumulare semi, **fino a 5000 nel corso di una stagione!** È quindi evidente come una popolazione di topi può facilmente racimolare tutte le ghiande presenti nella loro area vitale.

Nei giorni e mesi successivi al nascondimento di una ghianda, il topo tornerà spesso a controllare il suo bottino, alle volte fino a due-tre volte al giorno. Spesso finirà con il mangiare le ghiande accumulate, tuttavia può talvolta succedere che si dimentichi dove le ha nascoste, oppure il topo può morire e quindi tutte le decine o centinaia di **ghiande nascoste hanno l'opportunità di**

sopravvivere e germinare. Quando questo accade il topo ha involontariamente fatto un favore alla ghianda poiché l'ha dispersa lontano dalla pianta madre, spesso posizionandola in un posto ottimale per germinare, come ad esempio vicino a un albero caduto dove la luce abbonda e dove il terreno è ricco di nutrienti a causa della decomposizione.

TOPI “MANIPOLATI” DAGLI ALBERI

La relazione tra piccoli mammiferi e ghiande è quindi molto **ambivalente**. In alcune circostanze i topi sono antagonisti, poiché predano le ghiande, mentre in altre circostanze la relazione è mutualistica, poiché entrambi (topi e alberi) ne traggono vantaggio. In realtà il topo è letteralmente manipolato dagli alberi quali **querce e faggi**. Una ghianda o una faggiola pesano fino a 10 grammi, sono quindi troppo pesanti per essere trasportati dal vento. Quando una ghianda cade sotto alla



Foto: Università di Trieste

Esempio di due *cache* o nascondigli di un roditore in una dolina del Carso Triestino. In entrambi i casi le ghiande di cerro sono state nascoste in un sito protetto, sotto a un tronco caduto (sinistra) e roccia (destra).

pianta madre e non viene portata via si trova in un sito pessimo in cui crescere poiché la pianta madre limita l'accesso alla luce e trattiene per sé tutti i nutrienti del terreno. Ogni anno una quercia produce centinaia o migliaia di ghiande confidando nel fatto che tra tutte quelle ghiande alcune verranno nascoste da piccoli mammiferi e non ritrovate. Il prezzo da pagare sono le tante ghiande prodotte e mangiate, ma i benefici sono enormi poiché **il topo è un dispersore molto più selettivo del vento**, che sparge i semi ovunque, anche in acqua, campi aperti, suoli non idonei ecc.

C'è chi ipotizza che gli stessi eventi di produzione in massa di semi, le cosiddette “pascione”, esistono proprio per massimizzare la dispersione tra parte dei roditori: producendo tante ghiande tutte insieme i topi si saziano presto ma continuano ad accumulare ghiande mangiandone solo una piccola proporzione.

Questa relazione mutualistica tra piccoli mammiferi e semi e frutti è presente in tantissimi ecosistemi, dalle foreste pluviali alle foreste boreali. Negli ecosistemi italiani, inclusi i boschi del Friuli Venezia Giulia, querce e faggi sono tra specie ecologicamente ed economicamente più rilevanti, ed è quindi evidente come quello dei piccoli mammiferi sia **un servizio ecosistemico assolutamente fondamentale** per la nostra regione.

UN'INTERAZIONE NECESSARIA PER ADATTARSI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Nonostante questa interazione si sia evoluta e affinata nel corso di centinaia di migliaia di anni, i cambiamenti climatici in corso rappresenteranno una complicazione cui entrambi i partecipanti (topi e alberi) dovranno adattarsi.

Per adattarsi ai cambiamenti climatici **le piante dovranno**, in molti casi, **migrare verso il nord o in altitudine** dove troveranno temperature simili a quelle presenti nel loro range attuale. Appare evidente come piante quali querce e faggi **dipenderanno** completamente dal contributo dei **dispersori dei semi** quali piccoli mammiferi poiché, come evidenziato in precedenza, le ghiande non possono essere trasportate dal vento e se rotolano lo fanno in discesa, non verso l'alto come servirebbe nella migrazione altitudinale.

Se da una parte il futuro è roseo nel senso che i piccoli mammiferi, quantomeno le specie principali presenti in Friuli Venezia Giulia quali topo selvatico (*Apodemus sylvaticus*), topo selvatico collo giallo (*Apodemus flavicollis*) e arvicola dei boschi (*Myodes glareolus*) sono relativamente abbondanti, al tempo stesso non sappiamo **se e come svolgeranno il loro ruolo di dispersori di semi**. Le ghiande non sono tutte uguali: ad esempio quelle di cerro (*Quercus cerris*) contengono più tannini di quelle di roverella (*Quercus pubescens*) e quindi sono meno appetibili. **Quali saranno le specie favorite e quelle invece penalizzate** è quindi difficile da stabilire a priori, ma vanno effettuati studi sul campo per studiare questo fenomeno e individuare quindi come i piccoli mammiferi influenzeranno l'adattamento delle piante arboree ai cambiamenti climatici.

L'IMPORTANZA DEL CORAGGIO: UNA NUOVA RICERCA IN FVG

A partire dal 2024 un gruppo di ricerca dell'Università di Trieste comincerà a studiare questo fenomeno in Friuli Venezia Giulia, in particolar modo lo faremo nella Val Alba, in collaborazione con il Parco delle Prealpi Giulie.

Nello specifico cercheremo anche di capire se, all'interno di una specie, ci sono **individui particolarmente efficaci** nel disperdere i semi. Questa ipotesi nasce da numerosi studi che abbiamo condotto nel corso dell'ultimo decennio nel Maine (USA) in cui abbiamo dimostrato come **la personalità** di un individuo è un fattore estremamente importante nel determinare come quell'individuo disperderà i semi o frutti. In particolar modo abbiamo scoperto che gli **individui coraggiosi** sono quelli che **portano i semi a maggiore distanza** e in siti ottimali per la germinazione. Questo significa che all'interno di una specie e in un ecosistema esistono individui particolarmente importanti per la dispersione dei semi e quindi particolarmente importanti per l'adattamento di una pianta ai cambiamenti climatici. Come conservare questi individui? Difficile da dire allo stato attuale, ma confidiamo che nel corso delle ricerche in Friuli Venezia Giulia riusciremo a trovare una risposta.

Alessio Mortelliti

Università degli Studi di Trieste



AGRICOLTURA: RICERCA E INNOVAZIONE



AGRICOLTURA: RICERCA E INNOVAZIONE

Nuove analisi e soluzioni per la mitigazione e per l'adattamento

L'agricoltura è uno dei settori produttivi più esposti ai cambiamenti del clima, ma anche uno di quelli con maggiori potenzialità di adattamento alle nuove condizioni. È al contempo un settore che genera emissioni di gas climalteranti, ma anche su questo fronte è possibile intervenire, riducendo le emissioni di gas serra attraverso importanti azioni di mitigazione.

La ricerca e la sperimentazione di soluzioni innovative sono fondamentali per supportare queste due linee di azione, anche grazie alla grande opportunità rappresentata dal Centro Nazionale Agritech, a cui l'Università di Udine partecipa con diverse iniziative di ricerca e di trasferimento tecnologico.

IL CENTRO NAZIONALE AGRITECH: SCIENZA, INNOVAZIONE E TRASFERIMENTO TECNOLOGICO PER UNA AGRICOLTURA SOSTENIBILE



Dopo 18 mesi di attività nel Centro Nazionale Agritech l'ateneo di Udine descrive le attività e i primi risultati delle iniziative di ricerca e trasferimento tecnologico. Quale membro fondatore, UNIUD partecipa alle attività della quarta delle 9 sottounità che compongono il centro, con l'obiettivo di studiare e implementare innovazioni sostenibili e resilienti ai cambiamenti climatici anche considerando il potenziale contributo dell'agricoltura alla mitigazione dell'effetto serra.

Il Centro Nazionale Agritech (agritechcenter.it/) raggruppa e coordina le più importanti realtà impegnate nella ricerca agricola del paese, con il compito di assicurare produzioni sane e sostenibili, mantenere o incrementare la circolarità e la diversità del sistema agroalimentare. I primi progetti, promossi con un importante finanziamento proveniente dal PNRR, hanno avuto inizio nel settembre 2022 e hanno permesso a UNIUD di reclutare numerosi giovani ricercatori, sviluppare nuove infrastrutture e reti di ricerca oltre a consentire di intraprendere specifiche attività di ricerca e trasferimento tecnologico.



Banner del progetto AGRITECH

In questo numero di Segnali dal clima il Rettore dell'Università di Udine e il responsabile AGRITECH di Udine hanno scelto di presentare le attività di ricerca e innovazione che UNIUD sta sviluppando in un ampio ambito di competenze presenti in gruppi di ricerca di tre diversi dipartimenti dell'ateneo. In particolare, le linee di ricerca riguardano:

- le attività di selezione genetica assistita finalizzate a individuare nuove varietà coltivate più adatte al clima futuro;
- lo studio dei meccanismi e delle pratiche atte a generare una migliore resilienza ed efficienza degli apparati radicali delle piante coltivate;
- lo studio della gestione irrigua e dell'inerbimento dei vigneti;
- gli aspetti connessi agli allevamenti animali e ai cambiamenti climatici;
- il ruolo delle aziende agricole nella tutela della diversità dei pronubi;
- le applicazioni della robotica e della intelligenza artificiale nel monitoraggio e nella gestione delle coltivazioni;
- la messa in pratica di innovazione e ricerca attraverso i *Living Labs* ovvero attraverso il coinvolgimento diretto delle aziende agricole nelle attività di ricerca agronomica.



Per tutti gli articoli di questa sezione vale la seguente indicazione relativa alla fonte di finanziamento.

Fundings: Work supported by: Agritech National Research Center that received funding from the European Union Next-GenerationEU (PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.4 – D.D. 1032 17/06/ 2022, CN00000022).

Alessandro Peressotti
Roberto Pinton
Università degli Studi di Udine

UN MESSAGGIO DI RESILIENZA NELLA RISCOPERTA DELLE ORIGINI GENETICHE DELLA NOSTRA AGRICOLTURA

Il cambiamento climatico pone evidenti criticità al settore agroalimentare e alle sue tipicità, ma per sviluppare un'agricoltura resiliente dobbiamo superare una narrazione storicamente e scientificamente imprecisa del nostro sviluppo agricolo. Per accogliere l'urgente bisogno di innovazione varietale dobbiamo riconoscere nei prodotti della nostra tradizione alimentare il frutto di una rielaborazione continua delle risorse genetiche disponibili e della conoscenza e tecnologia sviluppata dalla nostra comunità scientifica.

“Eravamo navigatori!” Questa è, in un noto film d'animazione dello scorso decennio, l'esclamazione entusiasta di una ragazzina polinesiana che scopre di discendere da un popolo di antichi naviganti e capisce così di avere nei propri geni la spiegazione alla propria inquietudine e intraprendenza. Spinta dal desiderio di salvare il suo popolo da una crisi ambientale che sta consumando la loro isola, la giovane navigatrice autodidatta si imbarcherà contro il volere del padre protettivo in un viaggio epico attraverso l'oceano, affrontando creature gigantesche e ostacoli spaventosi. Ritournerà a casa non prima di aver posto rimedio alla causa scatenante il male che affligge il suo mondo, ma – dettaglio non trascurabile – non mancherà nemmeno di reinsegnare alla propria gente l'arte dimenticata del navigare, affinché riprenda l'instancabile ricerca di nuovi lidi e di migliorarsi.

pxhere.com/it

LE REAZIONI DELLA SOCIETÀ AL CAMBIAMENTO

Al di là della fantasia e utopia di una piccola opera d'arte dell'animazione contemporanea, gli autori sembrano animare con personaggi fittizi alcune **dinamiche psicologiche e sociali** che trovano importanti analogie nella reazione che le nostre società locali manifestano ai primi segnali inequivocabili di un cambiamento climatico in atto e che palpiano, come ricercatori nell'ambito agrario, nelle interazioni con il territorio e con l'opinione pubblica in generale. Una di queste reazioni è l'**inerzia**, o un esagerato **attaccamento allo status quo** oppure, nelle peggiori situazioni, l'**effetto del "coniglio abbagliato dai fari"**, incapace di muoversi o reagire rapidamente alla minaccia imminente.

UNA CRISI IDENTITARIA PER L'AGRICOLTURA

L'Italia vanta una grande diversità di **prodotti agricoli di alta qualità**, molti dei quali sono **legati a specifiche aree geografiche e condizioni climatiche**. Il cambiamento climatico, e con esso i raccolti decimati dalla siccità, il germogliamento fuorviato dalle anticipate temperature primaverili, il ritiro delle colture in campo aperto verso

altitudini più elevate, minacciano questa diversità agricola, mettendo a rischio denominazioni di origine protette e produzioni tipiche. In una frase, **viene meno il legame creduto indissolubile tra produzione e territorio**, che trova una delle sue più note realizzazioni pratiche e culturali nel concetto di *terroir* in viticoltura ma che si può applicare in senso lato ad altre specialità.

Tutto ciò pone una sfida che a ben vedere ha gli elementi di una **crisi identitaria** perché incrina la profonda relazione reciproca e interdipendente tra gli esseri umani, l'ambiente in cui vivono – seppur antropizzato – e la loro cultura. La **cultura del cibo**, in particolare, in un paese come il nostro che ha fatto dell'agroalimentare un marchio di rilevanza planetaria, gioca un ruolo essenziale nell'accettazione o rifiuto del cambiamento nel contesto agricolo. Il Paese – va ricordato – si avvale significativamente di prodotti importati per soddisfare le esigenze del proprio mercato interno ma sovente il sentore di crisi, sia essa climatica o politica (vedi conflitti internazionali), è capace di sovralimentare sentimenti di orgoglio domestico.

Danni su gemme di vite da vino causati dalla gelata primaverile verificatasi in Friuli Venezia Giulia nell'aprile 2021 (cortesia della Prof.ssa Rachele Falchi e della Dott.ssa Valeria De Rosa del Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali dell'Università degli Studi di Udine).





Foto: mstrand de Pixabay

Il frumento duro offre esempi di sviluppo varietale di successo che nel nostro Paese hanno tratto vantaggio da risorse genetiche nostrane ed esotiche così come dall'applicazione di tecniche di incrocio e di mutagenesi tradizionale.

OLTRE AL SEME, CONTA IL KNOW-HOW

Ma chi scrive pensa che questo orgoglio sia mal riposto se si concentra più sul seme che sulla capacità, spesso dimenticata, di generarlo (il know-how). In una riscrittura della storia scientifica del nostro Paese tendiamo a mitizzare indubbe **eccellenze agroalimentari** dell'altro ieri, dimenticando però che sono state il risultato di ricerca e di applicazione di metodologie e approcci innovativi per l'epoca, a partire da **materiali genetici di diversa provenienza**.

Esempio assoluto di ciò è il **frumento Senatore Cappelli**, campione incontrastato della cerealicoltura italiana dai primi anni del secolo scorso fino agli anni '60, tuttora sinonimo di qualità quasi per antonomasia. Ma chi ricorda gli incroci con cui il genetista Nazareno Strampelli lo produsse attorno al 1915 a partire da varietà nord africane? O pensando al **frumento Cresco**, che lo soppiantò nell'industria pastificatoria degli anni '70' essendo più adatto alle tecnologie di diserbo e fertilizzazione potenziate dopo il secondo dopoguerra,

quanto spesso accade di soffermarsi sulla ricerca dell'ENEA (all'epoca CNEN) nel campo della mutagenesi e sull'apporto genetico da varietà mesicane da cui ha avuto origine?

Sono solo due esempi illustri di un processo in realtà molto ricorrente, in cui **apporti esotici di diversità genetica e tecnologia nostrana** hanno contribuito in maniera essenziale alla ricetta per l'innovazione agroalimentare, anche in quelle insospettabili situazioni in cui l'innovazione si è tramutata rapidamente, cioè nell'arco di due sole generazioni, in orgogliosa tradizione nazionale.

Non dovrebbe essere necessario ricordare che in Italia la ricerca nel campo del miglioramento genetico è stata e continua a essere forte nonostante un'opinione pubblica non sempre propensa ad apprezzarne l'importanza. L'interesse crescente di cittadini, media e *stakeholder* per le prime applicazioni ufficiali delle Nuove Tecniche Genomiche, che hanno valso il Premio Nobel alle ricercatrici Jennifer Doudna ed Emanuelle Charpentier nel 2020, è in qualche modo rigenerante e promettente.

VARIETÀ LOCALI E APPORTI GENETICI ESOTICI PER ADATTARSI AL CLIMA CHE CAMBIA

Calando queste considerazioni nelle realtà regionali del nostro Paese, come quella del FVG o delle regioni limitrofe, potrebbe essere necessaria la presa d'atto che le **varietà locali** e le banche del germoplasma che rappresentano fonti preziose di caratteri selezionati dall'agricoltura locale possano fornire ingredienti genetici di qualità per un'agricoltura rinnovata ma a condizione di essere disposti a contaminarle con **apporti genetici** di varietà estranee al territorio ma portatrici di **caratteri di resilienza e di adattamento** alle condizioni climatiche che raggiungeranno le nostre latitudini in un futuro quanto mai prossimo. Ciò può essere fatto con tecniche di **incrocio e trasferimento genico all'interno della stessa specie o tra specie affini**, potenziate dalle capacità predittive dell'analisi del DNA di cui siamo provvisti al giorno d'oggi.

UN PROGETTO PER VITI PIÙ RESILIENTI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Una specifica iniziativa che mi fa piacere menzionare in questo contesto è una delle diverse collaborazioni tra le Università di Udine e di Padova create all'interno del Centro Nazionale per le Tecnologie dell'Agricoltura AGRITECH. In questo progetto, finalizzato al **rafforzamento della vite da vino rispetto alle sfide climatiche**, miriamo a creare un'ampia popolazione d'incrocio tra cultivar di vite rappresentative di diversi contesti ambientali e ampelografici dell'Italia e in generale del Mediterraneo. La progenie prevista, di circa duemila piante individualmente dotate di una combinazione di geni unica, fungerà da popolazione di studio pluriennale secondo il metodo della Selezione Genomica **in due ambienti e climi diversi** in FVG e nel Mezzogiorno, con il coinvolgimento di aziende vitivinicole locali. L'informazione letta nel DNA di ciascuna pianta, confrontata con le proprietà agronomiche e organolettiche registrate negli anni a venire, permetterà di creare un modello statistico utile a velocizzare la generazione di nuove varietà mirando contemporaneamente a più caratteristiche desiderabili e ampliando quindi le possibilità già esplorate con la cosiddetta



Dettaglio della popolazione di training per la Selezione Genomica della vite da vino in fase di semenzale presso le strutture dei Vivai Cooperativi di Rauscedo (responsabili scientifici: prof. Emanuele De Paoli (UNIUD) e prof. Alessandro Vannozzi (UNIPD), progetto nazionale AGRITECH). Popolazioni di questo tipo richiedono anni per essere installate e sfruttate a fini scientifici ma il loro utilizzo si sviluppa nel tempo aumentando di valore informativo a ogni stagione produttiva.

Selezione Assistita da Marcatori (MAS, di cui la Selezione Genomica rappresenta una versione significativamente più potente).

PAROLE D'ORDINE: CONTAMINAZIONE E PARTECIPAZIONE

La parola d'ordine dunque è **contaminazione**, **quella buona**, portatrice di diversità, di nuove combinazioni di caratteri che coniugano qualità con rusticità; ma anche **tecnologia di analisi genetica**, come protagonista sostanziale sebbene in ombra della nostra storia alimentare. Sotto il controllo attento della comunità scientifica, ma meglio ancora se in collaborazione con il setto-

re privato e la partecipazione degli agricoltori in azioni di **miglioramento genetico** detto appunto **“partecipato”** è possibile pensare a una progettualità che ci faccia di nuovo “navigare”, riscoprendo prima di tutto la capacità di saperlo fare e trovando rassicurazione sul fatto che la tradizione non è uno statico museo delle cere, pronto a sciogliersi al primo sole anomalo, ma è tradizione del saper fare che deve essere continuamente alimentata e rinnovata.

Emanuele De Paoli

Università degli Studi di Udine

LE TECNICHE DI SELEZIONE GENOMICA E LE TECNICHE DI EVOLUZIONE ASSISTITA (TEA): METODI DIVERSI PER SCOPI COMPLEMENTARI

La selezione operata dal genere umano utilizza la diversità presente nelle specie viventi per identificare, riprodurre e utilizzare razze di animali da allevamento e varietà di piante agrarie. Tradizionalmente, le piante venivano selezionate basandosi esclusivamente sulle caratteristiche visibili, un processo chiamato “selezione fenotipica”. Oggi, grazie alla capacità di leggere il genoma (ovvero il DNA), è possibile prevedere le caratteristiche future di una pianta già allo stadio semenzale, attraverso la “selezione genomica”. Questo metodo consente di identificare le piante più promettenti fin dalle fasi giovanili e utilizza le tecniche genomiche moderne solo per leggere il DNA, non per modificarlo. Non rientra quindi né nell'ambito OGM né in quello delle TEA.

Il meccanismo che genera diversità genetica mediante incrocio è simile al mescolamento di mazzi di carte, dove le carte rappresentano elementi di DNA. Incrociando varietà diverse, si cerca di otte-

nere nella progenie la combinazione di caratteristiche desiderata (la mano con le carte migliori), tra tante di scarso interesse. Quando invece una mano di carte contiene già carte eccellenti tranne una, si vorrebbe poter cambiare solo quella carta anziché ripartire con una mano nuova che potrebbe essere complessivamente peggiore. Le due situazioni rappresentano fuori di metafora il caso in cui si adotti un approccio di incrocio e selezione, potenziato dalla capacità di LEGGERE il DNA (cioè di vedere le carte della propria mano e decidere di passare il turno), e il caso in cui si applichi le TEA, che consentono di MODIFICARE il DNA (ovvero di cambiare una singola carta in una mano complessivamente già molto buona).

L'incrocio-selezione e le TEA non sono quindi ideologie alternative, ma metodi complementari. L'incrocio-selezione è particolarmente adatto per migliorare caratteristiche complesse regolate da molti geni, come la resilienza a condizioni ambientali avverse. Invece, le TEA sono più efficaci per migliorare caratteristiche determinate da pochi geni, come la resistenza a malattie batteriche e fungine. Un approccio che combina entrambe le metodologie offre una cassetta degli attrezzi completa per il miglioramento genetico delle piante.

PAROLE CHIAVE

AMPELOGRAFIA

prende il nome dalle parole greche “ampelos” (vite) e “grafia” (descrizione). È una disciplina dedicata allo studio, all’identificazione e alla classificazione delle varietà di vite. Questo processo si basa sull’analisi delle caratteristiche morfologiche delle piante di vite e, quando possibile, sulla loro associazione con la zona di origine.

BANCHE DEL GERMOPLASMA

sono strutture o istituzioni dedicate alla conservazione e alla gestione delle risorse genetiche vegetali. Questi centri raccolgono, catalogano e mantengono campioni di semi, tessuti o altre parti di piante che contengono il materiale genetico di diverse specie e varietà. Lo scopo principale delle banche del germoplasma è preservare la biodiversità agricola e forestale, garantendo che le risorse genetiche siano disponibili per la ricerca scientifica, il miglioramento delle colture, la conservazione delle specie e il ripristino degli ecosistemi. Questi istituti giocano un ruolo cruciale nella sicurezza alimentare e nella sostenibilità ambientale.

MIGLIORAMENTO GENETICO

è il processo scientifico attraverso il quale si selezionano e incrociano individui con caratteristiche desiderabili per sviluppare nuove varietà o razze di piante e animali. L’obiettivo è migliorare aspetti come la resa, la resistenza a malattie, la qualità dei prodotti e l’adattabilità ambientale. Questo processo utilizza tecniche tradizionali di selezione e incrocio, nonché moderne biotecnologie come l’ingegneria genetica. Il miglioramento genetico contribuisce alla sicurezza alimentare e alla sostenibilità agricola odierna ma ha origini antichissime nella società umana.

MUTAGENESI

nel miglioramento genetico la mutagenesi è una tecnica che induce mutazioni nel DNA delle piante o degli animali per creare nuove varianti con caratteristiche desiderabili, come una maggiore resistenza alle malattie o una resa migliorata. Queste mutazioni possono essere provocate tramite agenti chimici o radiazioni e in tal caso rientrano nella classificazione delle tecniche non OGM, già in uso prima dell’introduzione della normativa dell’Unione Europea del 2001. Altre tecnologie moderne di mutagenesi, come il genome editing, non sono al momento incluse tra le tecniche esentate dalla regolamentazione OGM.

SELEZIONE GENOMICA

Metodo di selezione di razze e varietà di animali da allevamento e piante agrarie per l’approvvigionamento di cibo e materiali basato sull’utilizzo dell’informazione genetica contenuta nella molecola di DNA anziché sull’osservazione delle caratteristiche visibili o altrimenti misurabili. L’informazione genetica coinvolta in tali procedure viene solo interpretata ma non modificata mediante mutagenesi o tecniche di ingegneria genetica.

NUOVE TECNICHE GENOMICHE (NTG) o TECNICHE DI EVOLUZIONE ASSISTITA (TEA)

Le nuove tecniche genomiche (NTG), soprannominate tecniche di evoluzione assistita (TEA) in Italia, sono avanzate metodologie di ingegneria genetica che permettono modifiche precise e mirate del DNA degli organismi senza l’introduzione di materiale genetico esogeno come nel caso degli organismi geneticamente modificati in senso stretto (OGM). Tra queste, il genome editing con il metodo CRISPR-Cas9 è la più nota, consentendo l’inserimento, la rimozione o la sostituzione di specifiche sequenze genetiche. Queste tecniche offrono opportunità avanzate per il miglioramento delle piante e degli animali, aumentando l’efficienza e la precisione rispetto ai metodi tradizionali di mutagenesi e selezione.

RESILIENZA E SOSTENIBILITÀ IN AGRICOLTURA: IL RUOLO DELLE RADICI

Le piante, non potendosi spostare, completano il loro ciclo biologico nel luogo dove germinano, che può presentare condizioni avverse alla loro crescita e sviluppo. Esse però hanno un'elevata capacità di adattamento agli stress e capacità di modificare le caratteristiche fisico-chimiche e biologiche dell'ambiente che le circonda. La selezione di linee in funzione della loro maggiore capacità adattativa agli stress può essere un'azione efficace per ottenere un'agricoltura a bassi input di sintesi e, quindi, più sostenibile.

Foto: Università di Udine

Sperimentazione in tunnel di piante di vite cresciute a diverso regime idrico, azotato e potassico presso l'Azienda Agraria "A. Servadei" (Di4A, Università degli Studi di Udine, Udine).

I livelli produttivi richiesti alle piante coltivate sono tali da non poter essere raggiunti se non con **rifornimenti esterni dei nutrienti**, pur in presenza di considerevoli quantità endogene di questi nutrienti nel suolo. Essi, infatti, anche se presenti possono mostrare una scarsa biodisponibilità per le piante, ovvero non risultare prontamente disponibili per l'assorbimento radicale (forme inorganiche scarsamente solubili o organiche non direttamente utilizzabili), e pertanto risulta necessario apportarli/integrarli con fertilizzanti per lo più in forma minerale.

In particolare è importante chiarire i meccanismi di risposta alle fluttuazioni delle forme disponibili dei nutrienti e delle strategie messe in atto dai vegetali per mantenere un rifornimento sufficiente e bilanciato dei nutrienti essenziali per il proprio sviluppo.

MECCANISMI DI RISPOSTA DELLE RADICI AGLI STRESS NUTRIZIONALI

Una **limitata disponibilità nutrizionale** può impedire una normale crescita dei vegetali, limitare la loro capacità di risposta agli stress e causare consistenti peggioramenti delle caratteristiche quantitative e qualitative delle produzioni agricole.

Per un'attività agricola mirata a un uso efficiente delle risorse disponibili (nutrienti, acqua) e alla diminuzione degli apporti di fertilizzanti, la conoscenza delle **modalità con cui le piante acquisiscono e utilizzano i nutrienti** è cruciale così come gli aspetti regolativi sottesi al coordinamento tra le attività di assorbimento e quelle assimilativa dei nutrienti. È noto che numerose piante rispondono a condizioni di allevamento che prevedono un limitato rifornimento di nutrienti, attivando i meccanismi di assorbimento (trasportatori) dei nutrienti a livello radicale, modificando la crescita dell'apparato radicale e ri-programmando il metabolismo al fine di favorire una ri-mobilizzazione e ri-distribuzione dei nutrienti più limitanti all'interno della pianta.

Misurazione degli scambi gassosi in piante di vite. Tali misure consentono di valutare la velocità di alcuni importanti processi vegetali, quali la fotosintesi e la traspirazione fogliare.



UN ESEMPIO: RISPOSTA ALLA SCARSITÀ DI FERRO BIODISPONIBILE

Ad esempio, in terreni calcarei e ben areati la quantità di **ferro biodisponibile** per l'assorbimento radicale può risultare assai limitata. Per contrastare tali condizioni avverse, la maggiore parte delle specie vegetali tende a promuovere la solubilità di questo elemento grazie a un'intensa attività di acidificazione nelle aree di suolo a contatto con le radici (rizosfera) e ad aumentare la superficie di suolo esplorata dalle radici mediante proliferazione di peli radicali e di radici secondarie (ramificazione). La **capacità di acidificare la rizosfera e di stimolare lo sviluppo radicale** sono alcuni dei tratti distintivi che maggiormente contraddistinguono le specie a maggiore efficienza di acquisizione dell'elemento. Cercare di individuare tali descrittori e quantificarli nelle diverse linee vegetali è uno degli obiettivi degli studi di fenotipizzazione.

AGRICOLTURA 4.0: USO RAZIONALE DEI FERTILIZZANTI

Nell'ambito del progetto Agritech, un'attività di ricerca condotta dal Di4A (Dipartimento di Scienze agroalimentari, ambientali e animali dell'Università di Udine) prevede lo studio fenotipico di alcune varietà di vite e di varie specie cerealicole e leguminose (come il lupino) che sono state individuate sulla base della loro rilevanza economica in regione e/o del loro valore nutrizionale.

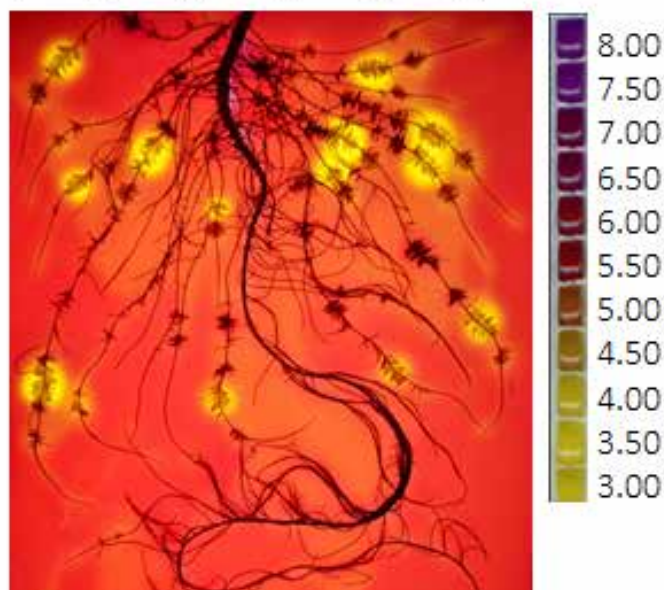
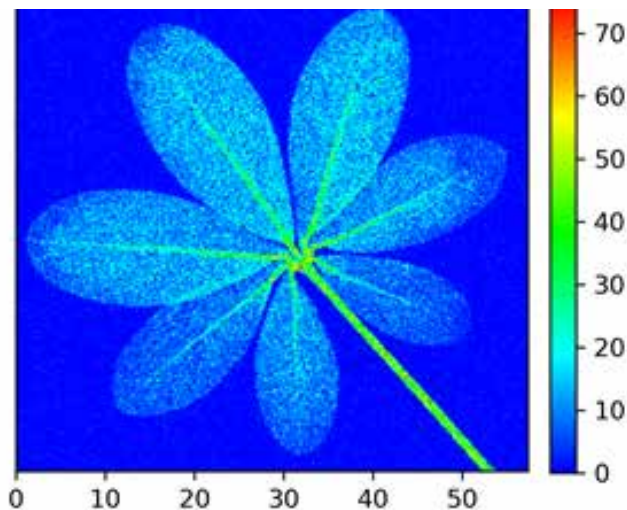
Per una **agricoltura a bassi input**, risulta fondamentale selezionare delle varietà che presentino un'alta efficienza di acquisizione dei nutrienti. Pertanto, la ricerca di UNIUD ha l'obiettivo di fenotipizzare la **risposta vegetale agli stress nutrizionali e idrici**, localizzando il segnale di espressione dei geni maggiormente coinvolti nella regolazione della crescita radicale e nell'acquisizione degli elementi e correlandoli con l'analisi quali-quantitativa degli elementi nei tessuti vegetali.



I VANTAGGI DELLE TECNICHE INNOVATIVE DI FENOTIPIZZAZIONE

La fenotipizzazione mediante tecniche innovative e non invasive (quale l'analisi iperspettrale), assieme a sistemi sempre più sofisticati per la gestione ed elaborazione dei dati (tecniche di intelligenza artificiale), consente di ridurre i tempi, i costi e la laboriosità delle operazioni analitiche, consentendo anche il monitoraggio dello stesso individuo durante tutto il ciclo biologico. In questo modo si possono individuare **nuovi tratti distintivi dei caratteri di resilienza delle piante agli stress**. La messa a punto di tali tecniche innovative di fe-

notipizzazione oltre ad affiancare le fasi di selezione alla ricerca di specie/linee più resilienti, può rivelarsi importante anche **per identificare le forme più appropriate di fertilizzanti e biostimolanti** che stimolino maggiormente le piante a rispondere in modo pronto ed efficiente a condizioni edafiche avverse. Nel contesto di un'Agricoltura 4.0, tali ricerche promuoveranno lo sviluppo di strumenti per facilitare l'individuazione di segnali di stress nelle colture (usando per esempio delle telecamere iperspettrali, droni o smartphone) fornendo un supporto decisionale per le pratiche agricole (apporto irriguo, fertilizzazioni, trattamenti fitosanitari o altro).



Immagini riferite a piante di lupino bianco cresciute secondo diversi apporti nutrizionali di azoto e fosforo. La foto in alto a sinistra confronta le chiome di piante di lupino in azoto (a sinistra) e di fosforo carenza (a destra). In alto a destra viene riportato il dettaglio di una foto di lupino bianco analizzata mediante raggi-X (immagine acquisita da Prof. Vogel Mikus Katarina, NIB, Lubiana, Slovenia). In basso a sinistra è riportato l'apparato radicale di piante di lupino in fosforo carenza dove si possono apprezzare i cluster roots e i noduli dei batteri azoto fissatori. In basso a destra è fotografato l'apparato radicale di lupino bianco posto su un gel che cambia colore in funzione dell'acidità (indicatore di pH: giallo corrisponde a zone a bassa acidità, rosso-zone a valori di pH neutro, viola-zone a pH alcalino): nell'immagine si evince la capacità di acidificazione di radici di lupino in fosforo carenza, le zone gialle sono porzioni di radice ad alta densità radicale (definite cluster roots) dove avviene una maggiore acidificazione).

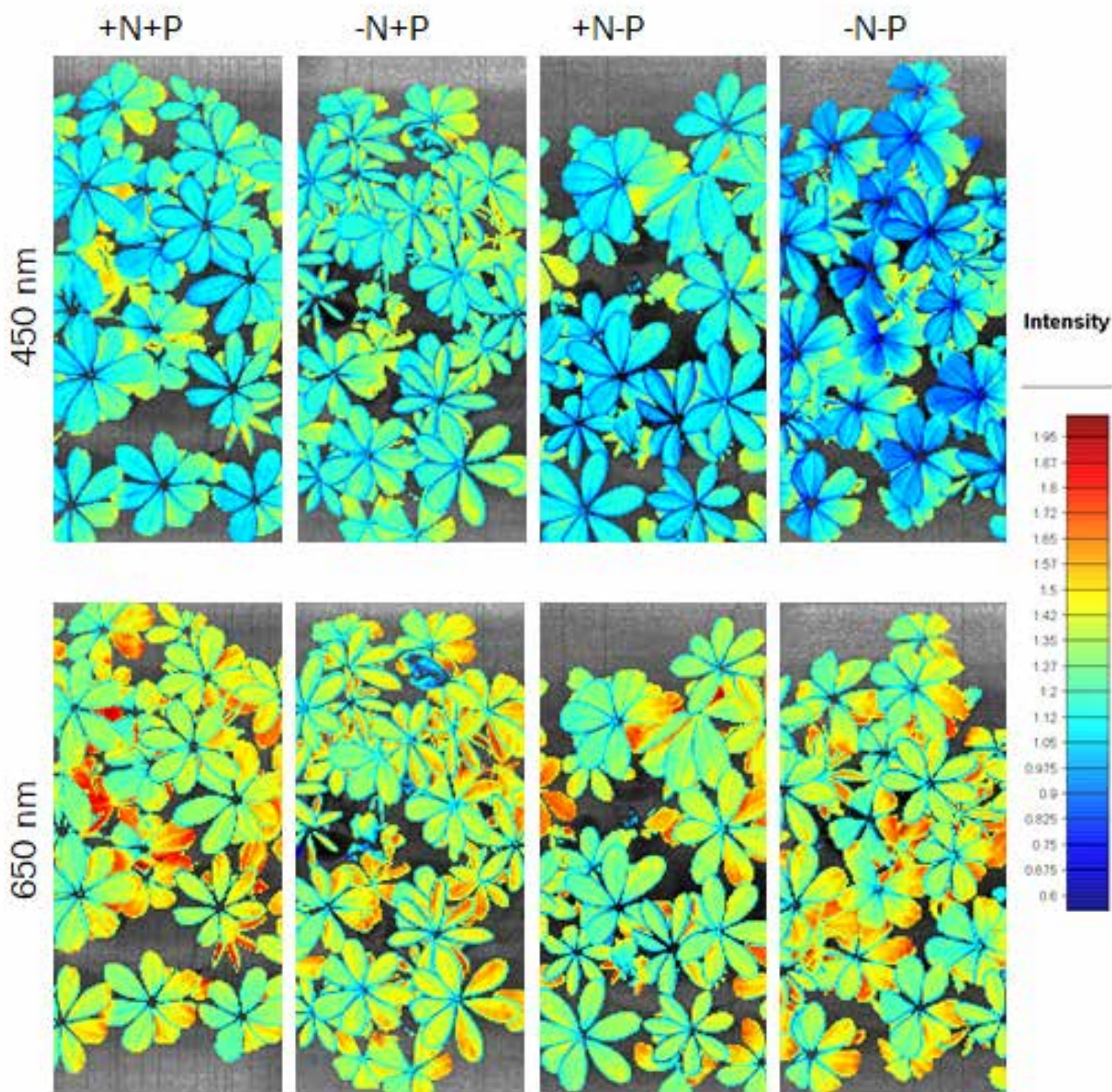


Foto di foglie di lupino bianco acquisite a due lunghezze d'onda (450 e 650 nm) mediante macchina iperspettrale. Piante cresciute con diversi apporti nutrizionali azotati e fosfatici, ovvero piante cresciute in: soluzione nutritiva: completa (+N+P), soluzione nutritiva azoto carente (-N+P), soluzione nutritiva fosforo carente (+N-P), oppure soluzione nutritiva azoto e fosforo carente (-N-P).

PROSPETTIVE FUTURE

Lo sviluppo di tecniche innovative e non invasive per la fenotipizzazione delle piante coltivate consentirà di selezionare linee ad alta resilienza agli stress ed efficienza di acquisizione di nutrienti tali da consentire un basso apporto di input di sintesi in agricoltura.

Michele Canciani
 Arianna Lodovici
 Nicola Tomasi
 Gabriella Vinci
 Laura Zanin
 Università di Udine

PAROLE CHIAVE

AGRICOLTURA A BASSI INPUT

un'agricoltura che richiede un utilizzo di sostanze chimiche di sintesi (fertilizzanti, pesticidi...) limitato / ridotto rispetto all'agricoltura intensiva, promuovendo invece l'utilizzo di pratiche agro-ecologiche sostenibili, esempio è l'uso di irrigazione a goccia o inoculo di micorrize.

ANALISI IPERSPETTRALE

insieme di processi capaci di identificare, misurare e rappresentare la riflettanza delle radiazioni magnetiche, consentendo di analizzare aspetti difficili da vedere all'occhio umano. Queste tecniche permettono una rapida, profonda e non invasiva fenotipizzazione delle colture utilizzando diversi indici iperspettrali.

BIODISPONIBILITÀ

la disponibilità nel suolo di un nutriente a essere assorbito dalla pianta attraverso le radici. La biodisponibilità di un nutriente è influenzata dalle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche del suolo, le quali determinano la concentrazione di nutrienti nella soluzione del suolo.

CONDIZIONI EDAFICHE

si riferiscono alle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del suolo che influenzano la crescita della pianta. La gestione delle condizioni edafiche è necessaria per mantenere un'ambiente ideale alla crescita delle piante e migliorare l'ecosostenibilità ambientale.

FENOTIPIZZAZIONE

il processo di caratterizzazione di un fenotipo che si origina tra l'interazione di un genotipo e l'ambiente che lo circonda. I tipi di fenotipizzazione possono basarsi su valutazioni della risposta vegetale, ad esempio mediante approcci biochimici, fisiologici, morfologici.

INNOVAZIONI COLLABORATIVE PER L'ADATTAMENTO DELLE AZIENDE AGRICOLE A UN CLIMA CHE CAMBIA

Le aziende agricole si confrontano quotidianamente con il cambiamento climatico e la produzione primaria affronta problemi quali ondate di calore, siccità e allagamenti. Un approccio collaborativo e partecipativo aiuta a superare le difficoltà che gli agricoltori incontrano nell'applicare le innovazioni e alcune soluzioni per supportare l'adattamento a un clima che cambia. In questo contesto nasce la rete di aziende agricole friulane del progetto Agritech.

Foto: Università di Udine

Danni da grandine su mais in Friuli Venezia-Giulia nell'estate 2023.

Le aziende agricole, qualunque sia il loro indirizzo produttivo, si confrontano quotidianamente con il cambiamento climatico sia per eventi 'estremi' come la siccità, le ondate di calore, gli allagamenti, il gelo o la grandine, in grado di ridurre o azzerare i raccolti, sia per mutate condizioni meteorologiche che impattano sulle modalità e sui tempi delle attività quali le lavorazioni del terreno, la semina delle colture, le fertilizzazioni il controllo delle piante infestanti, nonché la scelta di quali colture impiantare in mancanza o con limitate risorse idriche per gli interventi di irrigazione. Per tutte queste ragioni le aziende agricole cercano di adattarsi al clima che cambia mettendo in atto una serie di azioni specifiche per il proprio sistema produttivo e l'ambiente in cui sono situate.



Visita di parcelle dimostrative di colture di diversificazione presso l'Azienda Sperimentale A. Servadei dell'Università di Udine nel maggio 2023.

COME LE AZIENDE AGRICOLE SI STANNO ADATTANDO AI CAMBIAMENTI DEL CLIMA

Esistono diverse strategie e innovazioni (*"2021. Climate Resilient Practices: typology and guiding material for climate risk screening"*, FAO Rome 2021) che permettono di migliorare la capacità delle aziende agricole di adattarsi al cambiamento climatico: l'utilizzo di varietà resistenti agli stress idrici o con ciclo colturale più breve, la semina anticipata o ritardata, l'introduzione di colture più adatte e di tecniche di gestione più economiche e sostenibili per le lavorazioni o l'uso più efficiente degli input (irrigazioni, fertilizzanti e fitofarmaci).

Tuttavia, la scelta di quale o quali pratiche innovative adottare, seppur note, non è semplice in quanto spesso comporta dei **cambiamenti, anche significativi, nella gestione aziendale**. Oltre a nuovi investimenti o costi aggiuntivi, sono **richieste nuove conoscenze** che vanno adattate/interpretate nel contesto aziendale in cui si opera, correndo un rischio dovuto all'inesperienza nel loro uso. Infine, si può anche arrivare ad adattamenti nelle filiere di destinazione dei prodotti agricoli abitualmente utilizzate.

L'IMPORTANZA DELLA CONDIVISIONE DELL'INNOVAZIONE: GLI APPROCCI COLLABORATIVI

In uno studio dell'Università di Wageningen (*"Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate-smart agriculture in Europe: evidence from the Netherlands, France, Switzerland and Italy"*, 2016 *Journal of cleaner production*, 112, 9-21.) gli autori hanno sottolineato come per accelerare l'adozione delle innovazioni (soprattutto quelle di sistema) in agricoltura non sia sufficiente identificarle, incentivarle economicamente o parlare dei benefici in riviste o incontri di settore. **Per favorire una stabile e convinta adozione delle innovazioni da parte delle aziende agricole** si propone un approccio collaborativo o partecipativo. Esso si basa sul progettare, testare e adattare l'innovazione insieme alla azienda agricola che potrebbe andare ad adottarla. A livello europeo, gli approcci collaborativi sono stati sviluppati all'interno dei **partenariati per l'innovazione (PEI-AGRI)**, che hanno sponsorizzato i Gruppi Operativi.

- La banca dati dei Gruppi Operativi italiani contiene informazioni su più di 100 gruppi operativi che hanno ideato e testato soluzioni per adattarsi ai cambiamenti climatici (innovaturale.it/it/pei-agri/gruppi-operativi-italia)

ESEMPI DI APPROCCI COLLABORATIVI: RETI DI AZIENDE AGRICOLE, LIVING LABS, AZIENDE DIMOSTRATIVE E LIGHTHOUSE

In realtà, non esiste un solo tipo di approccio collaborativo, ma ne esistono diversi specifici per innovazioni, gruppi e situazioni locali diverse.

Ad esempio, per **reti di aziende agricole** (*farmers' network*) si intende un gruppo formato prevalentemente da agricoltori, ma anche da altri attori, che condivide un obiettivo, es. conversione all'agricoltura biologica o conservativa e che si ritrova

periodicamente per discussioni, analisi dei risultati di azioni comuni, visite alle aziende dei membri del gruppo o in altre aziende o gruppi.

Un altro tipo di approccio è quello dei **living labs**. Essi sono dei laboratori a cielo aperto che permettono di progettare e testare azioni, pratiche o sistemi innovativi da poter applicare, se ritenute valide, presso le altre aziende.

Sia all'interno di reti di aziende che dei **living labs** possono esistere **aziende dimostrative** che sono aperte a visite per mostrare un'innovazione su scala aziendale.

- In Europa esiste una rete di aziende dimostrative chiamata **climate farm demo**, che testano soluzioni innovative per l'adattamento al cambiamento climatico (climatefarmdemo.eu/cfd/en/#/farms).

Oltre alle aziende dimostrative possono essere presenti anche delle **aziende pilota**, dette anche

Il Licor710, uno strumento per la misura diretta dell'evapotraspirazione, viene testato dall'autunno 2023 presso l'azienda A. Servadei dell'Università di Udine nell'ambito del progetto Agritech.



lighthouse farms: queste rappresentano aziende che nell'adottare una innovazione hanno raggiunto risultati particolarmente rilevanti che le rendono quindi esempi di buone pratiche che possano essere portati da esempio per azioni non solo dimostrative ma anche di comunicazione e di supporto alla formazione. A livello mondiale esiste una rete di *lighthouse farms* (lighthousefarm-network.com/lighthouse-farms). La collaborazione tra il mondo della ricerca, dei servizi tecnici e gli agricoltori, anche attraverso l'uso delle nuove tecnologie permette di creare soluzioni sempre più adattate alle esigenze degli agricoltori.

- Negli Stati Uniti esistono gruppi di agricoltori che gestiscono sperimentazioni in azienda agricola e hanno a disposizione degli strumenti per poter facilmente analizzare i dati dei loro esperimenti, traendone le conclusioni più utili per la loro attività. Un esempio di questi strumenti è il FarmStat sviluppato dalla University of Nebraska Lincoln (cropwatch.unl.edu/farm-stat).

LA RETE DI AZIENDE AGRICOLE DEL PROGETTO AGRITECH IN FVG

Nell'ambito del progetto Agritech, finanziato dal PNRR, il DI4A dell'Università degli Studi di Udine sta coordinando una rete di aziende agricole friulane. Il progetto, in collaborazione con le università di Padova, Bolzano, Torino e il CNR, si concentra in particolare sulla **gestione di tre risorse chiave per l'adattamento** al cambiamento climatico: **l'acqua, il carbonio e l'energia**. Nella nostra regione, sono in particolare coinvolte in questo progetto venti aziende a seminativo, zootecniche da latte e viticole. Le attività della rete di aziende, in questa fase iniziale, prevedono la realizzazione di sperimentazioni sia presso l'azienda "A. Servadei" dell'Università di Udine che presso aziende partner, la realizzazione di giornate dimostrative e di incontri, ad esempio su nuove tecniche colturali o nuovi strumenti e sensori per una gestione più efficiente delle risorse.



Le aziende agricole interessate a partecipare alle attività del progetto Agritech possono contattare gli autori di questo articolo

Elisa Marraccini
Gabriela Alandia Robles
Gemini Delle Vedove
 Università degli Studi di Udine



STRATEGIE DI GESTIONE DEL SUOLO PER IL VIGNETO: UNO STUDIO PLURIENNALE SU COVER CROPS E MONITORAGGIO DELLO STATO IDRICO DELLE PIANTE

La gestione delle coperture vegetali all'interno dei vigneti può rappresentare una strategia per fornire soluzioni in risposta alle sfide del cambiamento climatico nell'ambito della viticoltura. In un progetto coordinato da UniUD che coinvolge tre regioni italiane, l'effetto di diverse gestioni del suolo sullo stato idrico delle piante di vite è monitorato tramite sensori innovativi: essi forniranno dati importanti per determinare le migliori pratiche agricole per mitigare la scarsità idrica nel nostro Paese.

Foto: Reinhard da Pixabay

In ambienti mediterranei, i suoli viticoli sono estremamente sensibili alla degradazione causata dalle condizioni ambientali. La moderna pratica viticola lascia una considerevole porzione della superficie del terreno non coltivata, necessaria per garantire un adeguato rifornimento idrico e nutrizionale alle viti, e consentire il passaggio delle attrezzature agricole anche a seguito di eventi di pioggia. Questa area è particolarmente vulnerabile alla perdita di fertilità e alla erosione, le pratiche di conservazione del suolo sono quindi diventate fondamentali per mitigare la degradazione di suolo nei vigneti.



Foto: Alexander Vollmer da Pixabay

I SERVIZI ECOSISTEMICI DELLE COLTIVAZIONI DI COPERTURA

Una delle tecniche più comuni per contrastare questo fenomeno è l'uso delle colture di copertura, che consiste nella semina di piante erbacee che crescono insieme alla coltura principale, offrendo una serie di benefici chiamati "servizi ecosistemici". Tra questi servizi vi è il miglioramento della struttura del suolo, un aumento della ritenzione idrica, una riduzione della crescita delle erbe infestanti, la promozione della biodiversità e un contributo al sequestro del carbonio. Inoltre, la competizione creata dalle colture di copertura permette di ridurre lo sviluppo vegetativo della vite nelle fasi iniziali di crescita permettendo a questa di sopportare meglio le eventuali condizioni di stress idrico estivo.

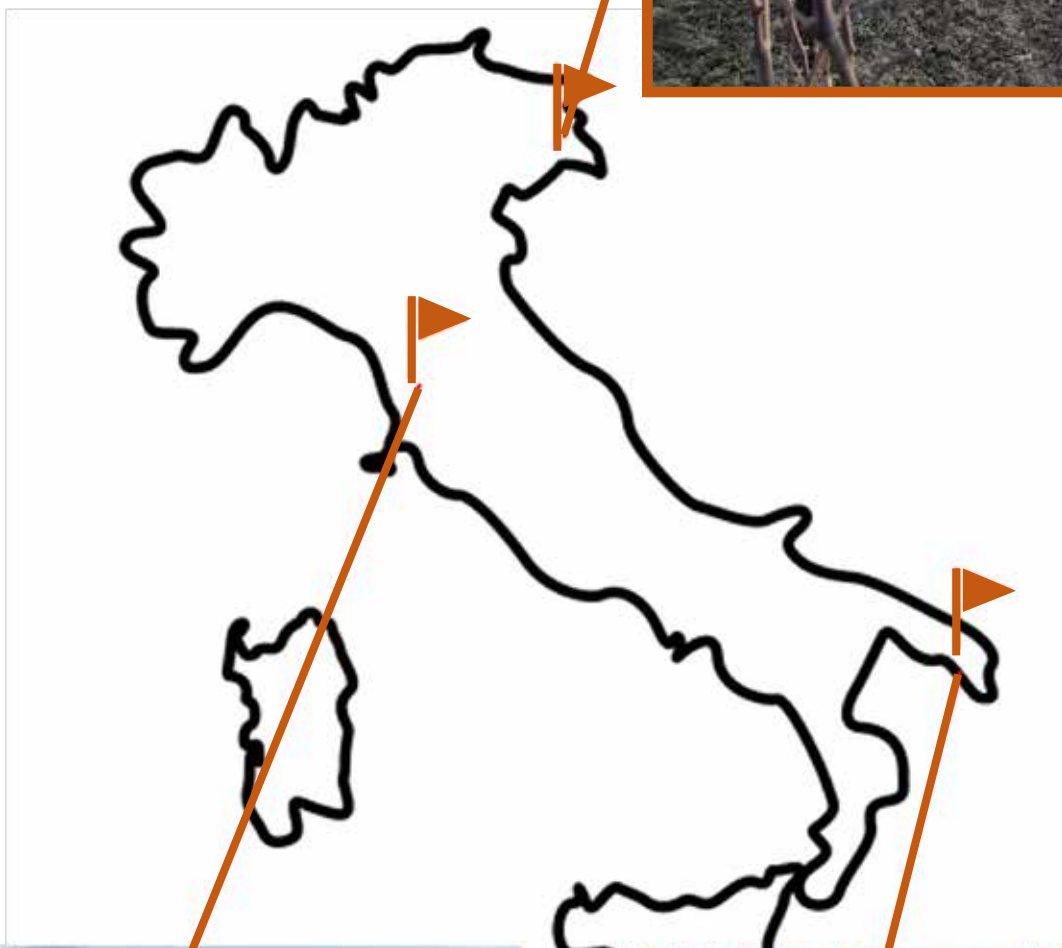
NUOVE ATTIVITÀ DI RICERCA AGRITECH

Il progetto finanziato dai fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) Agritech nel task 4.2.2 ha come focus principale la mitigazione dell'impatto negativo del cambiamento climatico sui suoli viticoli italiani, attraverso l'uso di colture di copertura.

Le attività di questa task di progetto sono coordinate dal Dipartimento di Scienze agroalimentari, ambientali e animali della Università degli studi di Udine, che opera su **tre aziende distribuite sul territorio nazionale**: Azienda Agricola Specogna (Corno di Rosazzo, UD, Friuli-Venezia Giulia), Azienda Agricola La Vite (Cenaia – Crespina, PI, Toscana), e Azienda agricola Villani Miglietta (Carmiano, LE, Puglia). Nelle tre aziende sono messe a confronto

tre diverse colture di copertura seminate nell'interfilare dei vigneti: Favino chiaro (leguminosa), Segale (graminacea) e un mix di Segale e Favino; le colture seminate sono confrontate con un controllo lavorato negli interfilari, ossia una situazione in cui il terreno tra i filari di vite è mantenuto privo di vegetazione.

SPERIMENTAZIONI CON LE COLTURE DI COPERTURA SEMINATE NEGLI INTERFILARI



Distribuzione sul territorio italiano dei tre vigneti soggetti alle prove sperimentali con le colture di copertura seminate negli interfilari.

NUOVI DATI DA SENSORI INNOVATIVI

L'effetto delle quattro gestioni di suolo sullo stato idrico delle piante di vite è monitorato in continuo grazie alla installazione di sensori Tree Talker su 36 viti per ogni sito sperimentale. Con questi sensori possiamo registrare il flusso idrico nei fusti di ogni pianta, e la disponibilità idrica a livello radicale, fornendo dati innovativi sulla disponibilità idrica in campo.

Le colture di copertura seminate nel vigneto avranno un diverso impatto sulla disponibilità idrica e sulla competizione radicale con la vite: la sensoristica installata in questi tre vigneti fornirà dati importanti per determinare le migliori pratiche agricole per mitigare la scarsità idrica nel nostro paese.

Altri servizi ecosistemici di queste colture di copertura saranno valutati nel corso di questo progetto, come: l'accumulo di carbonio nel suolo, la respirazione del suolo, e l'effetto di queste colture sulla biodiversità vegetale. Questi dati raccolti a tre latitudini distinte rappresentano una grande opportunità per comprendere l'effetto di queste pratiche agricole sui suoli di diverse realtà italiane.



Sensoristica installata nel vigneto della azienda agricola Specogna (Corno di Rosazzo, UD). I sensori in foto misurano il flusso idrico della pianta e la disponibilità idrica a livello radicale.

Mirko Sodini
Paolo Sivilotti

Università degli Studi di Udine

ALLEVAMENTI ANIMALI E CAMBIAMENTI CLIMATICI

L'allevamento degli animali, soprattutto dei ruminanti, è responsabile di rilevanti emissioni di gas climalteranti, ma una sua gestione sostenibile può apportare benefici ambientali e sociali attraverso diversi servizi ecosistemici. Questi subiscono gli effetti del clima che cambia, come è evidente anche nel settore apistico: una riduzione della salute degli insetti impollinatori come le api si ripercuote su quella degli ecosistemi.

A questi aspetti sono dedicate specifiche attività di monitoraggio e ricerca di UniUD.

Foto: lilla79 da Pixabay

Un recente studio della Banca Mondiale (2021, *Moving Towards Sustainability: The Livestock Sector and the World Bank*) indica che il settore agricolo contribuisce per circa il 11% a tutte le **emissioni di gas serra**. La maggior parte derivano dall'allevamento del bestiame. Tra queste, le emissioni enteriche (**soprattutto di metano**) dei bovini corrispondono a più del 4% del totale delle emissioni di gas serra. Considerando che 1,3 miliardi di persone dipendono dall'allevamento del bestiame risulta chiaro il ruolo chiave dell'allevamento animale sulle future dinamiche riguardanti il riscaldamento globale, ma anche sulla fornitura di altri servizi ecosistemici.



Foto: Leopictures da Pixabay

I SERVIZI ECOSISTEMICI DEGLI ALLEVAMENTI SOSTENIBILI

I ruminanti possono **convertire il foraggio** proveniente dalle praterie (questi ecosistemi ricoprono il 30% delle terre emerse prive di ghiacci), **in alimenti a elevato valore nutrizionale** quali carne e latte. I prodotti di origine animale, e la carne in particolare, hanno un elevato valore biologico della proteina, sono ricchi di composti bioattivi e sono importanti per l'alimentazione anche per l'apporto di micronutrienti.

La gestione sostenibile delle aziende zootecniche può avere un ruolo importante nella definizione della piacevolezza scenica del **paesaggio**, nel mantenimento della **biodiversità**, nella riduzione del **rischio idrogeologico e/o di incendi**, nel mantenimento di **tradizioni**, ma ha anche la capacità di influire sull'attività degli **impollinatori**.

VALUTARE LA SOSTENIBILITÀ DELLE AZIENDE ZOOTECHNICHE

Dunque, valutare la sostenibilità delle produzioni zootecniche solamente in base alla loro **impronta carbonica** (uno studio condotto in alcune aziende regionali riporta emissioni di 1,1-1,4 kg CO₂-eq per ogni kg di latte) risulta riduttivo poiché non considera l'insieme degli altri servizi ecosistemici.

Attraverso le attività del Centro Nazionale Agri-tech, continuano i monitoraggi e le valutazioni necessarie ai fini della **riduzione delle emissioni**

del comparto zootecnico, ma queste dovranno essere collegate al monitoraggio degli altri servizi ecosistemici che queste aziende sono in grado di erogare se consapevoli e opportunamente gestite. Dunque la sostenibilità dell'allevamento bovino deve essere contestualizzata **nell'insieme dei servizi ecosistemici** che sono parte fondamentale della sostenibilità sia ambientale sia sociale dell'azienda. Le sfide riguardano la remunerazione dei servizi ecosistemici che attualmente non hanno un mercato e sono di difficile identificazione e quantificazione. Le attività future si concentreranno nel determinare le emissioni di gas serra delle aziende zootecniche nel modo più preciso possibile e nell'individuare le **azioni di mitigazione** quali il miglioramento dell'efficienza produttiva o riproduttiva della mandria e nell'individuare, valorizzare e aumentare la fornitura di servizi ecosistemici.

L'ATTIVITÀ APISTICA

Fra gli allevamenti animali, l'attività apistica contribuendo al fondamentale servizio ecosistemico dell'**impollinazione**, svolge un ruolo cruciale sia negli ambienti naturali che in quelli agricoli. Di conseguenza, qualsiasi fattore negativo per le api può produrre **effetti sfavorevoli a cascata** sull'ambiente, sull'economia e sull'intera società, come vediamo nel box di approfondimento e anche nell'articolo di Francesco Nazzi sulle api selvatiche **API E CAMBIAMENTI CLIMATICI: LA GOCCIA CHE FA TRABOCCARE IL VASO** a pag. 145.

LE API DOMESTICHE E I CAMBIAMENTI CLIMATICI

L'ape da miele (*Apis mellifera*) è un insetto sociale che vive in famiglie numerose, composte da migliaia di individui. Oltre a produrre il miele, l'ape svolge da sempre un insostituibile servizio di impollinazione delle piante coltivate, che si riflette in produzioni agricole quantitativamente e qualitativamente più elevate, e delle piante spontanee, preservando la biodiversità vegetale dei nostri ambienti. Si stima infatti che il 85% delle piante con fiore dipenda dall'impollinazione animale, che viene garantita principalmente dalle api.

Purtroppo, negli ultimi anni sono state registrate gravi e diffuse morie di alveari, attribuite a fattori di natura biotica (ad esempio parassiti e patogeni) e abiotica (ad esempio pesticidi e scarsità di risorse), talora interconnessi fra loro. A queste problematiche, si aggiungono i cambiamenti climatici, che possono condizionare il benessere e la sopravvivenza degli alveari, intensificando l'effetto negativo dei fattori di stress appena menzionati.

Cosa può accadere alle api se aumentano le temperature?

Normalmente, nei climi temperati, una colonia d'api avvia la propria attività in primavera, quando iniziano le prime fioriture e il conseguente allevamento di covata, che porta allo sviluppo di famiglie che presentano fino a 50.000 individui a inizio estate.

Tuttavia, l'incremento del numero di api nella colonia coincide con l'incremento della popolazione di un pericoloso acaro parassita (*Varroa destructor*), che si riproduce proprio nelle cellette di covata, raddoppiando di numero ogni tre settimane.

Inverni miti, come quello appena trascorso (a gennaio 2024, nella pianura friulana, la temperatura media mensile si è attestata intorno a 4-5 °C, risultando di circa 1 °C più calda rispetto all'ultimo trentennio - ARPA FVG, (Meteo FVG Report, Gennaio 2024, https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/meteo-fvg//2024/meteo.fvg_2024-1_it.pdf), inducono le api ad allevare precocemente covata; di conseguenza, a inizio estate, il numero di parassiti raggiunge valori insostenibili dalla colonia che, se non trattata tempestivamente dall'apicoltore, soccombe. Peraltro, l'incremento della popolazione di *Varroa* nelle colonie favorisce la diffusione e la proliferazione di un patogeno letale per le api, ovvero il Virus delle Ali Deformi, con esiti conseguentemente nefasti.

Cosa possiamo fare per ridurre gli effetti negativi del cambiamento climatico?

Fortunatamente, le api possiedono un sistema immunitario che, se adeguatamente alimentato, può contrastare efficacemente i parassiti e i patogeni. Infatti, è stato osservato che le api nutrite con polline presentano infezioni virali moderate rispetto a quelle malnutrite.

Ognuno di noi, dunque, può contribuire al benessere delle api garantendo loro un pascolo adeguato nei momenti più critici, ovvero in estate, quando *Varroa* e virus proliferano negli alveari e le fioriture scarseggiano.

Tale azione benefica, ad esempio, si concretizza limitando gli sfalci nei nostri giardini e lasciando andare in fiore le specie spontanee, oppure seminando degli spazi dedicati alle api, utilizzando apposite miscele di sementi in commercio.

Ulteriori effetti avversi dei cambiamenti climatici su questi preziosi insetti pronubi e sul conseguente impatto sul servizio ecosistemico dell'impollinazione sono attualmente allo studio, per comprenderne appieno le ripercussioni a livello di individuo e di colonia, al fine di adottare le più opportune contromisure di mitigazione.



Foto: Simon Oberthaler da Pixabay

PAROLE CHIAVE

IMPOLLINAZIONE

trasporto di granelli di polline da una pianta all'altra, per favorirne la fecondazione incrociata.

FATTORI BIOTICI

organismi viventi che agiscono su determinati processi.

FATTORI ABIOTICI

caratteristiche ambientali non direttamente dipendenti dagli esseri viventi (radiazione, temperatura, processi geologici, ecc).

PARASSITA

organismo che vive a spese e come ospite di un altro essere vivente.

PATOGENO

microrganismo responsabile dell'insorgenza di una malattia.

PRONUBO

animale che favorisce l'impollinazione delle piante.

Mirco Corazzin
Desiderato Annoscia
Università degli Studi di Udine



ROBOTICA PER L'AGRICOLTURA 4.0: MONITORAGGIO DELLE CHIOME E DEL SUOLO

L'utilizzo di sistemi robotici autonomi è una frontiera innovativa nel settore agricolo, specialmente per il monitoraggio della vegetazione e del suolo. Robot mobili con avanzate capacità di rilevamento consentono un controllo preciso delle condizioni di colture e terreno. È un approccio mirato ed efficiente per ottimizzare la gestione delle risorse, migliorare la qualità delle colture e massimizzare la produttività agricola, promuovendo una produzione alimentare più sostenibile e resiliente al cambiamento climatico in atto.

Foto: PIR0 da Pixabay

L'agricoltura ha da sempre un impatto significativo sull'ambiente in termini di utilizzo delle risorse naturali (acqua *in primis*), inquinamento, emissioni di gas serra e perdita di biodiversità a scala locale e globale.

La sfida per il futuro è proprio quella di rendere le pratiche agricole più sostenibili nonostante la produzione agricola debba essere raddoppiata nel 2050 rispetto al 2009 per soddisfare la domanda di una popolazione umana in costante crescita.

LA STRATEGIA EUROPEA PER LA TRANSIZIONE AGRICOLA

In questo contesto, l'Unione Europea ha sviluppato un piano decennale per guidare la transizione agricola verso **un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente** (la strategia *Farm to Fork*). Infatti, tale strategia mira ad accelerare la transizione verso un sistema alimentare sostenibile, riducendo la dipendenza dai pesticidi, diminuendo l'eccesso di fertilizzazione e proteggendo il suolo, l'acqua, l'aria, la salute delle piante e degli animali. Tutti gli attori della catena alimentare devono quindi contribuire all'attuazione di questo piano, a partire dalla trasformazione dei metodi di produzione che possono beneficiare di nuove soluzioni tecnologiche e digitali per fornire migliori risultati ambientali e climatici.

NUOVI SISTEMI PER MONITORARE COLTURE, SUOLO E MICROCLIMA

Il **monitoraggio automatizzato** del *continuum* suolo-pianta-atmosfera ad alta risoluzione spazio temporale è fondamentale per trasformare gli attuali sistemi di coltivazione attraverso un più consapevole processo decisionale degli agricoltori e consentendo ai ricercatori di rispondere a domande scientifiche chiave per i nostri sistemi agricoli.

Negli ultimi due decenni si è registrato, in particolare per quanto riguarda il monitoraggio delle colture, del suolo e del microclima, un costante sviluppo di **applicazioni Internet of Things (IoT)** in agricoltura così come lo sviluppo e l'utilizzo di sistemi autonomi e robotici con spiccate capacità computazionali e logiche. In particolare, **la robotica può fornire notevoli benefici** non solo in termini di produzione delle colture e di ottimizzazione dell'uso delle risorse, ma anche di riduzione dell'uso di pesticidi chimici, **migliorando la sostenibilità e le prestazioni climatiche** attraverso un modello più orientato ai risultati, basato sull'uso di dati e analisi aggiornati. Per questi motivi, l'implementazione di soluzioni robotiche autonome, insieme a tecniche di monitoraggio

avanzate, sta diventando di fondamentale importanza nell'ottica di un'agricoltura resiliente e sostenibile. Le **soluzioni robotiche**, infatti, possono acquisire dati da colture e piante a distanza ravvicinata e da diversi punti di vista, sono meno dipendenti dalle condizioni atmosferiche rispetto alle piattaforme aeree, non sono soggette a rigidi regolamenti legislativi e hanno un carico utile per il trasporto di sensori superiore rispetto ai veicoli aerei senza pilota (UAV).

IL PROTOTIPO DI UNIUD PER LA MAPPATURA 3D

Presso l'Università degli Studi di Udine è attualmente in fase di sviluppo un prototipo di robot mobile per la mappatura 3D in agricoltura, con **un'interessante combinazione di caratteristiche**:

- è in grado di navigare su terreni difficili e passaggi stretti ed è quindi particolarmente adatto a monitorare vigneti e frutteti;
- ha una notevole capacità di calcolo;
- ha un'ottima percezione dell'ambiente e della struttura della vegetazione;
- è in grado di descrivere lo stato di salute della vegetazione per poterlo collegare a determinate caratteristiche delle piante.

Robot mobile Agile-X dell'Università degli Studi di Udine.



LE CARATTERISTICHE TECNICHE DEL ROBOT DI UNIUD

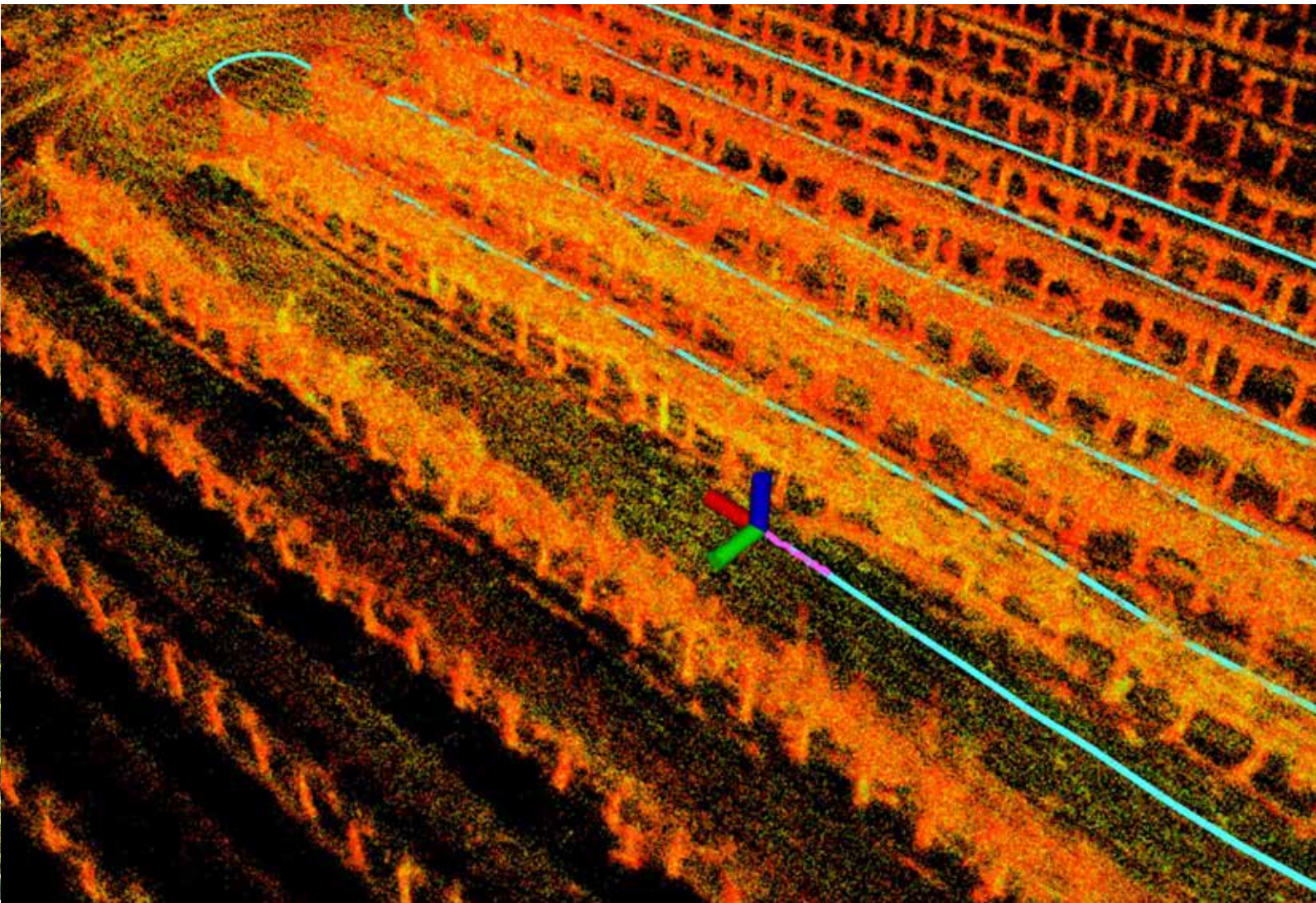
Il prototipo di robot mobile è basato su una piattaforma Agile-X Robotics Scout 2.0. Il robot è in grado di navigare su terreni difficili e passaggi stretti grazie alle quattro ruote motrici e alla cinematica differenziale. Si tratta quindi di una soluzione ottimale soprattutto per il monitoraggio di colture permanenti (per esempio, vigneti e frutteti). La piattaforma è dotata di un ricevitore GNSS a basso costo e di un sensore inerziale (IMU) come sistemi di georeferenziazione diretta. Inoltre, presenta una notevole capacità di calcolo grazie alla scheda NVIDIA Jetson AGX Xavier, sviluppata per sfruttare gli algoritmi di intelligenza artificiale anche nei sistemi embedded. La percezione dell'ambiente è garantita da un sensore LiDAR per il rilievo 3D della struttura della vegetazione e da una telecamera RGB-D. Inoltre, al fine della fenotipizzazione, il robot mobile è dotato di una camera multispettrale per l'acquisizione di immagini multispettrali per la stima degli indici di vegetazione utili per descrivere lo stato di salute della vegetazione.

UN'APPLICAZIONE PRATICA PER I VIGNETI

Recentemente, il prototipo sviluppato dall'Università di Udine è stato utilizzato per effettuare un'analisi degli **effetti del regime idrico** sullo stato della chioma della vite. In particolare, i dati provenienti dal robot a terra sono combinati con quelli

ottenuti con un UAV per ottenere sia dati riguardanti gli indici vegetativi che la ricostruzione 3D della chioma. Per ricostruire la nuvola di punti 3D, è stato adottato un approccio basato sulla localizzazione e la mappatura simultanea (SLAM). Dalla nuvola di punti 3D si ottengono poi i dati relativi al volume, alla superficie e all'area proiettata delle piante.

Esempio di ricostruzione 3D di un vigneto.



MONITORARE LE EMISSIONI DI GAS SERRA IN AGRICOLTURA

La robotica può anche essere estremamente utile per migliorare i sistemi di monitoraggio e rendicontazione delle riduzioni delle emissioni di gas a effetto serra **a seguito di diverse strategie gestionali in campo agricolo**.

Attualmente, le emissioni possono essere quantificate attraverso l'utilizzo di modelli oppure attraverso misure in campo. Per quanto riguarda i **modelli**, essi possono presentare notevoli incertezze nelle stime a causa della mancanza di una accurata e completa comprensione del processo che si va a simulare, di un'inadeguata parametrizzazione e di una limitazione associata alla quantità di dati di input richiesti. Per quanto riguarda, invece, le **misure dirette in campo**, molti sistemi di monitoraggio non consentono di avere un'adeguata risoluzione spaziale (per esempio, i sistemi basati su camerette per la misura delle emissioni dal suolo consentono misure puntuali e non distribuite su tutta l'area di interesse) oppure possono essere utilizzati solo in contesti con particolari caratteristiche fisiche (terreni pianeggianti e colture estremamente omogenee come nel caso di tecniche micrometeorologiche come la correlazione turbolenta). Al contrario, **robot mobili dotati di analizzatori di gas** potrebbero consentire un monitoraggio continuo e spazializzato delle emissioni fornendo importanti dati per la validazione di modelli anche complessi.

UN FUTURO DI INNOVAZIONE E SPERANZA

Nei prossimi anni quindi assisteremo a grandi progressi della robotica mobile applicata all'agricoltura di precisione, dai sensori alle piattaforme mobili, dagli algoritmi di localizzazione ai metodi di intelligenza artificiale, con la speranza che queste innovazioni possano contribuire in modo efficace alla **transizione verso un sistema alimentare più sostenibile**, sano e rispettoso dell'ambiente.

NOI E IL CLIMA



NOI E IL CLIMA

Benessere, sicurezza, equità, ansia climatica

Il clima e i suoi sempre più rapidi cambiamenti toccano direttamente diversi aspetti della nostra sfera personale e sociale.

In questa sezione di *Segnali dal clima in FVG 2024* partiamo dagli indicatori che ci consentono di misurare il livello di benessere o disagio bioclimatico per persone e animali nell'ambiente esterno, per capire poi come si analizza il comfort e discomfort termico all'interno delle abitazioni.

Il nostro abitare può anche essere messo a rischio da eventi estremi: vediamo quindi come la progettazione di edifici e strutture dovrà tener conto del clima che cambia.

Non tutti però siamo egualmente vulnerabili ai rischi che i cambiamenti climatici pongono al nostro benessere e alla nostra sicurezza: è quindi necessario che nel pianificare l'azione climatica si inserisca la dimensione dell'equità climatica.

Di fronte a cambiamenti, impatti e sfide di così ampia portata la nostra mente può reagire con diverse eco-emozioni: l'articolo conclusivo di questa sezione ci aiuta a comprenderle per poterle gestire costruttivamente.

BENESSERE E DISAGIO BIOCLIMATICO PER PERSONE E ANIMALI



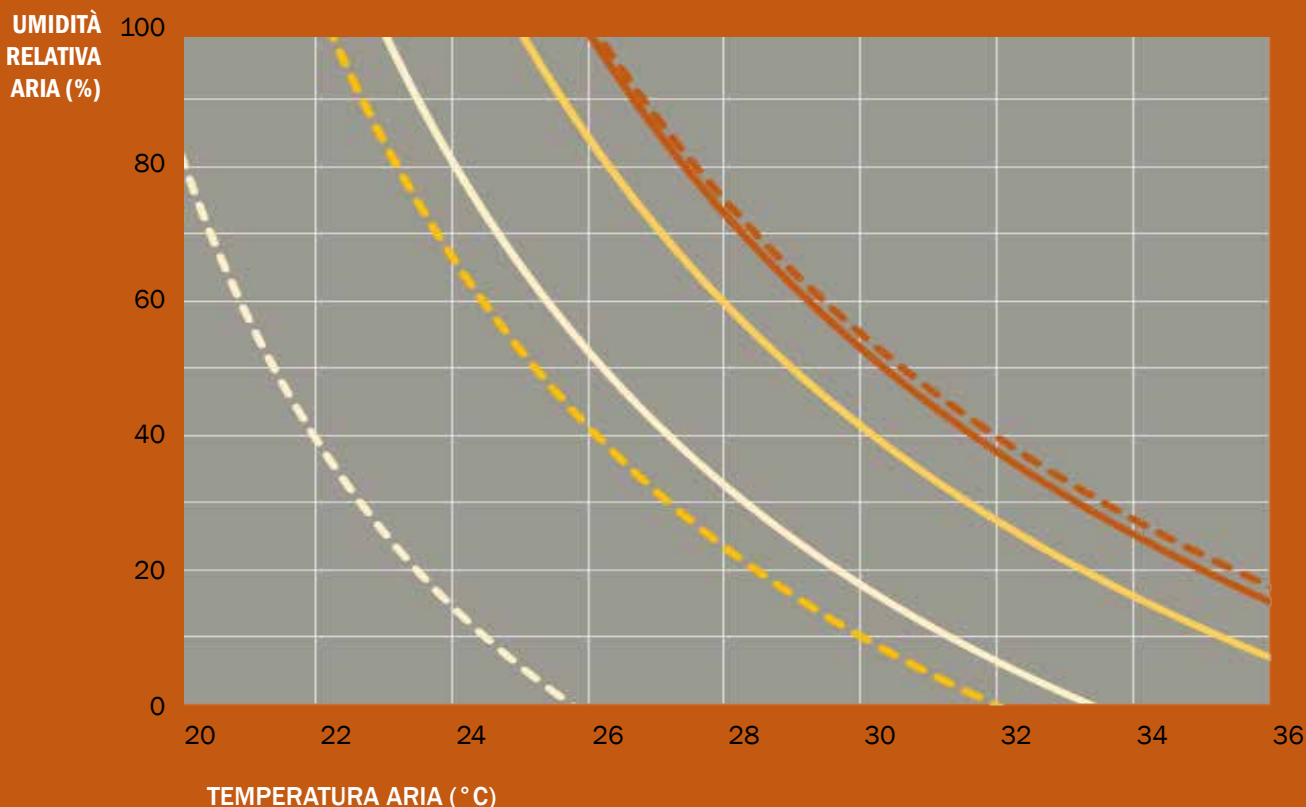
Foto: Ria da Pixabay

Le alte temperature estive unite ad alti tassi di umidità possono creare condizioni di disagio e anche sofferenza per persone e animali, tra cui quelli allevati a fini produttivi. Specifici indici permettono di quantificare questo “disagio bioclimatico” che negli ultimi decenni è aumentato sia per gli umani che per i bovini. In futuro, nello scenario a emissioni crescenti i giorni di disagio medio o elevato aumenteranno di molto, mentre con lo scenario a emissioni ridotte la situazione sarà simile a oggi.

Durante l'estate, in Friuli Venezia Giulia, temperature elevate unite a elevati livelli di umidità possono determinare disagio o addirittura sofferenza sia per gli esseri umani che per gli animali. I livelli di sofferenza raggiunti possono essere così elevati da portare a situazioni pericolose per la salute e, negli animali, perdite di produzioni (per esempio diminuzione della produzione di latte nelle bovine).

COME SI MISURA IL DISAGIO BIOCLIMATICO

Vi sono degli indici termo-idrometrici, calcolati a partire da dati di temperatura e umidità, che al superamento di soglie specifiche quantificano il livello di disagio percepito. La figura individua per gli esseri umani (indice THOM) e per i bovini (indice THI) soglie crescenti di disagio in funzione di temperatura umidità relativa dell'aria.



INDICE DI STRESS



ESSERI UMANI

basso (THOM 23)
 medio (THOM 25)
 elevato (THOM 26)



BOVINI

basso (THI 67)
 medio (THI 72)
 elevato (THI 79)

COME È CAMBIATO IL DISAGIO BIOCLIMATICO NEGLI ANNI?

La letteratura scientifica internazionale evidenzia come il bacino del Mediterraneo rappresenti una delle zone dove il riscaldamento climatico risulta più accentuato e questo si registra anche nelle stazioni di quota delle Alpi. Come già visto nell'articolo "L'incremento della temperatura media annua in Friuli Venezia Giulia: dal mare alla libera atmosfera", il Friuli Venezia Giulia, che si trova tra il mare e l'arco alpino, risente di questo aumento

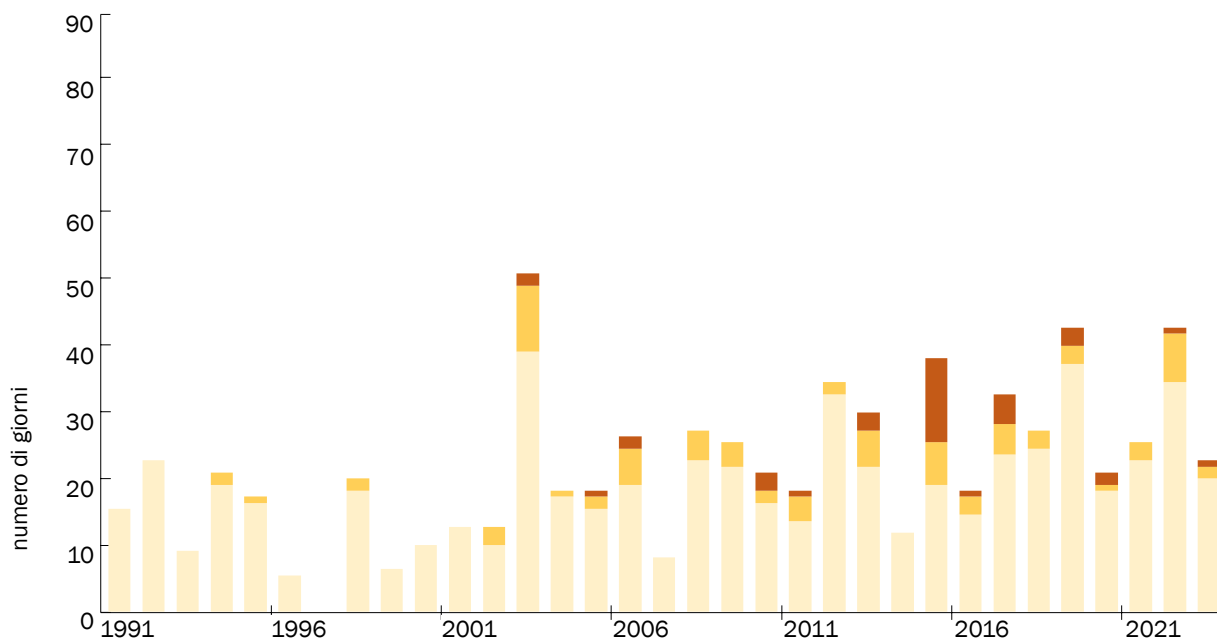
più evidente delle temperature. Accanto alle temperature anche i livelli di sofferenza bioclimatica raggiunti diventano nel tempo più severi.

I dati relativi a Udine, dal 1991 a oggi, evidenziano che il numero di giorni con disagio più forte sta aumentando. L'estate del 2003 sembra essere lo spartiacque che individua in regione un prima e un dopo. Non a caso a partire dal 2004 ARPA FVG fornisce dei servizi territoriali di monitoraggio e/o previsione di allerta. Oggi si utilizza l'indice di THOM per gli esseri umani e il THI per le bovine.

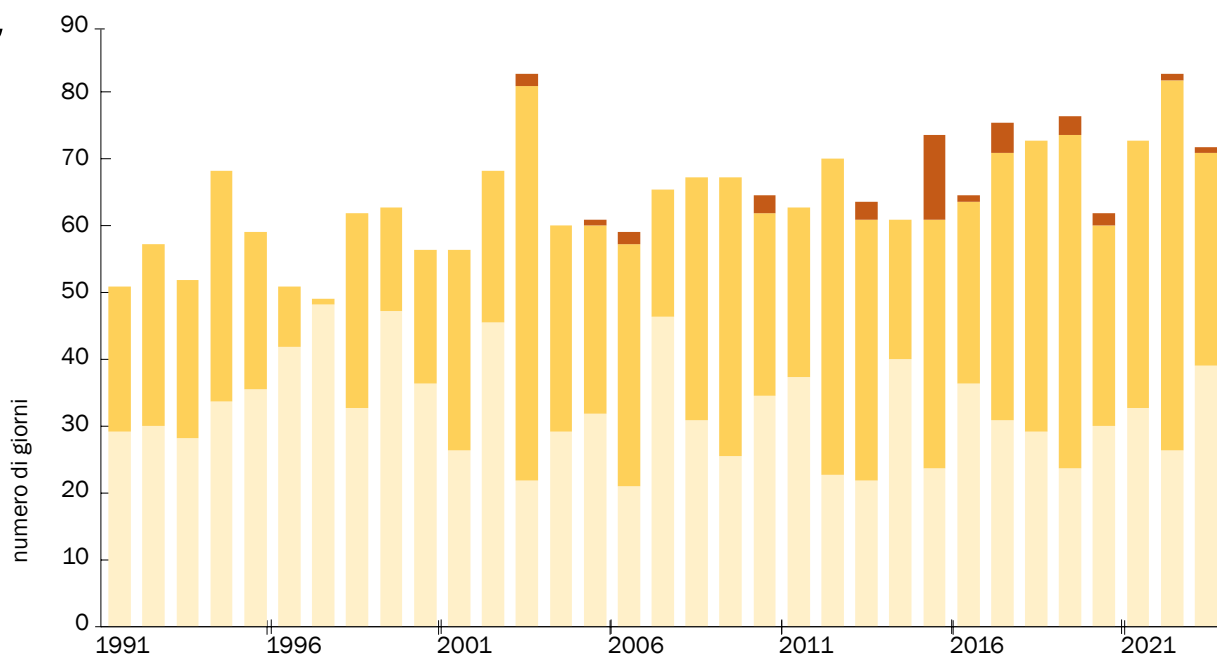
GIORNI DI DISAGIO BIOCLIMATICO NEGLI ANNI 1991-2023

lieve medio elevato

PER GLI ESSERI UMANI



PER I BOVINI

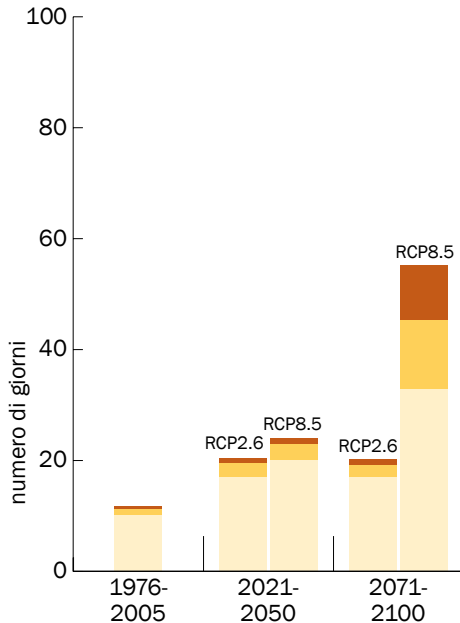


Udine 1991-2023 Numero di giorni di disagio bioclimatico da giugno ad agosto (lieve, medio ed elevato) per esseri umani (indice di THOM) e per le bovine (indice THI).

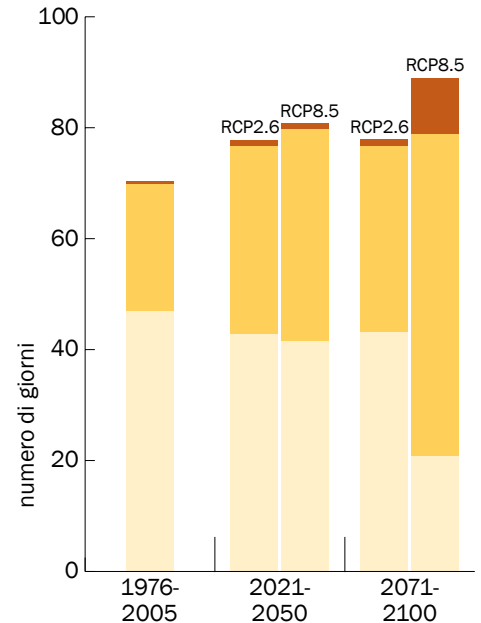
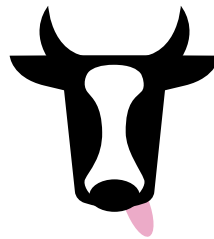
GIORNI DI DISAGIO BIOCLIMATICO NEL RECENTE PASSATO, NEL FUTURO PROSSIMO E A FINE SECOLO

lieve medio elevato

PER GLI ESSERI UMANI



PER I BOVINI



Udine numero di giorni di disagio bioclimatico da giugno ad agosto (lieve, medio ed elevato) per esseri umani (indice di THOM) e per i bovini (indice THI). I dati sono riportati per il trentennio 1976-2005 (storico) e per i due trentenni futuri 2021-2050 e 2071-2100 con riferimento allo scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP 2.6) e a emissioni crescenti (RCP 8.5).

COSA CI RISERVA IL FUTURO

Per stimare come potrà cambiare la distribuzione dei livelli degli indici di disagio bioclimatico nel futuro si devono ipotizzare dei futuri emissivi su cui i calcoli di opportuni modelli matematici ci restituiscono la possibile climatologia del futuro.

I grafici sopra riportati evidenziano il numero medio di giorni con livello lieve, medio ed elevato di disagio nel trentennio 1976-2005 e nei due trentenni futuri 2021-2050 e 2071-2100. Per i due trentenni futuri si fa riferimento allo scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP 2.6, Accordo di Parigi rispettato) e a emissioni crescenti (RCP 8.5, scenario "business as usual").

A fine secolo nello scenario a emissioni crescenti il numero di giorni di disagio con livelli medio ed elevato sarà considerevolmente più alto dell'attualità mentre con lo scenario a emissioni ridotte la situazione sarà simile a oggi.

Andrea Cicogna
ARPA FVG

SCENARI E MODELLI CLIMATICI UTILIZZATI

In continuità a quanto sperimentato in diversi lavori in regione, in questa breve analisi si fa riferimento all'ensemble di 5 modelli climatici per i periodi 2021-2050 e 2071-2100, secondo gli scenari emissivi RCP 2.6 (con forte riduzione delle emissioni di gas serra, come prevede l'Accordo di Parigi) e RCP 8.5 (scenario con emissioni crescenti).

I 5 modelli sono stati scelti da un data-set di 14 sviluppati nell'ambito dei programmi EURO-CORDEX e MED-CORDEX e utilizzati all'interno dello "Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia" (ARPA FVG, 2018).

Molte delle elaborazioni di tali modelli sono oggi disponibili su una piattaforma informatica dedicata (Piattaforma Proiezioni Climatiche per il Nord-Est, clima.arpa.veneto.it).

CAMBIAMENTO CLIMATICO E BENESSERE: LE TEMPERATURE ESTIVE NEGLI SPAZI ABITATIVI

Temperature elevate, specialmente se associate a elevata umidità, possono risultare pericolose per le persone, specialmente le più fragili. Per poter agire a loro tutela, in un'ottica di equità climatica, è importante valutare questo fenomeno all'interno delle abitazioni, specialmente quelle sprovviste di impianti di climatizzazione.

Uno studio di UniTS ha analizzato le condizioni interne di benessere e stress in un edificio plurifamiliare, considerando il clima attuale e futuro e anche l'effetto di ventilatori elettrici.

Foto: Andrew George su Unsplash

È risaputo che il cambiamento climatico è caratterizzato da un aumento delle temperature, tuttavia è ancora da esplorare l'effetto sulla salute delle persone che vivono in ambienti chiusi ed esposte a condizioni estreme. Il problema è particolarmente sentito nel caso di **categorie vulnerabili** come anziani, bambini o persone affette da particolari patologie. Il problema è ancora più evidente in presenza di ondate di calore, cioè di periodi continuativi con elevate temperature e umidità.



Foto: press 🍌 and ★ da Pixabay

L'**approccio tecnologico** al problema prevede l'adozione dei sistemi di aria condizionata che, tuttavia, causano l'aumento dei consumi di energia, delle emissioni di gas serra e implicano costi per l'installazione e il funzionamento. In **situazioni economicamente disagiati** questo approccio non può essere seguito, per cui si ritiene opportuno valutare il rischio dovuto alle elevate temperature e umidità all'interno degli alloggi in assenza di sistemi attivi di condizionamento.

In uno studio dell'Università di Trieste (Dipartimento di Ingegneria e Architettura) si sono valutate situazioni di **microclima interno nelle abitazioni** durante il periodo estivo e il loro effetto sulle condizioni di comfort delle persone. Un ulteriore contributo è dato dalla valutazione, come soluzione alternativa al condizionamento, dell'utilizzo di semplici ventilatori elettrici.

IL BENESSERE IN UN CLIMA CHE CAMBIA

La pericolosità delle **alte temperature e umidità** per le persone è cosa risaputa, così come è evidente che le temperature dell'ambiente sono in aumento a causa del cambiamento climatico. In ambito regionale le situazioni critiche vengono monitorate durante il periodo estivo, ARPA FVG utilizza a tale scopo l'indice di THOM per il **disagio bio-climatico**, che considera l'effetto combinato di temperatura e umidità, e supporta il sistema regionale di allertamento per ondate di calore, che la Regione attiva al superamento di determinate soglie critiche.

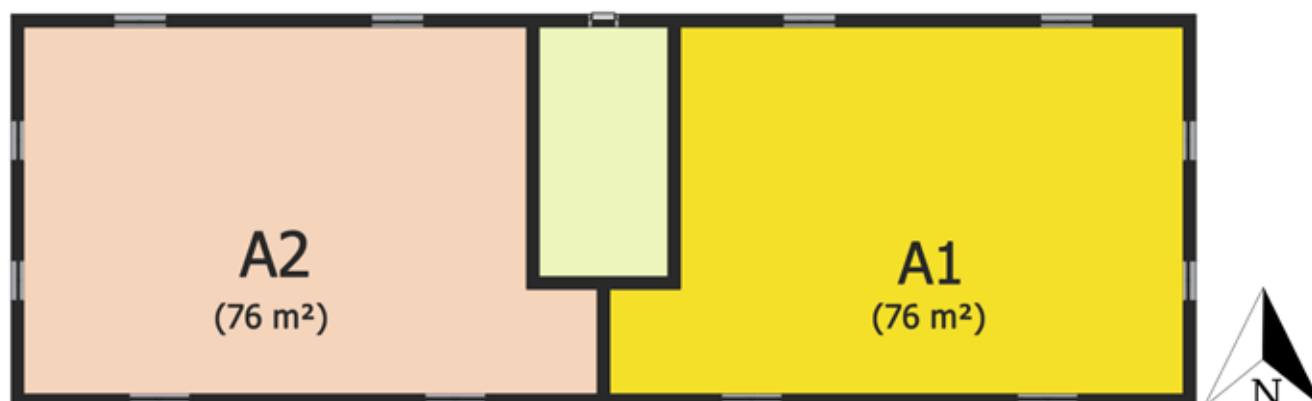
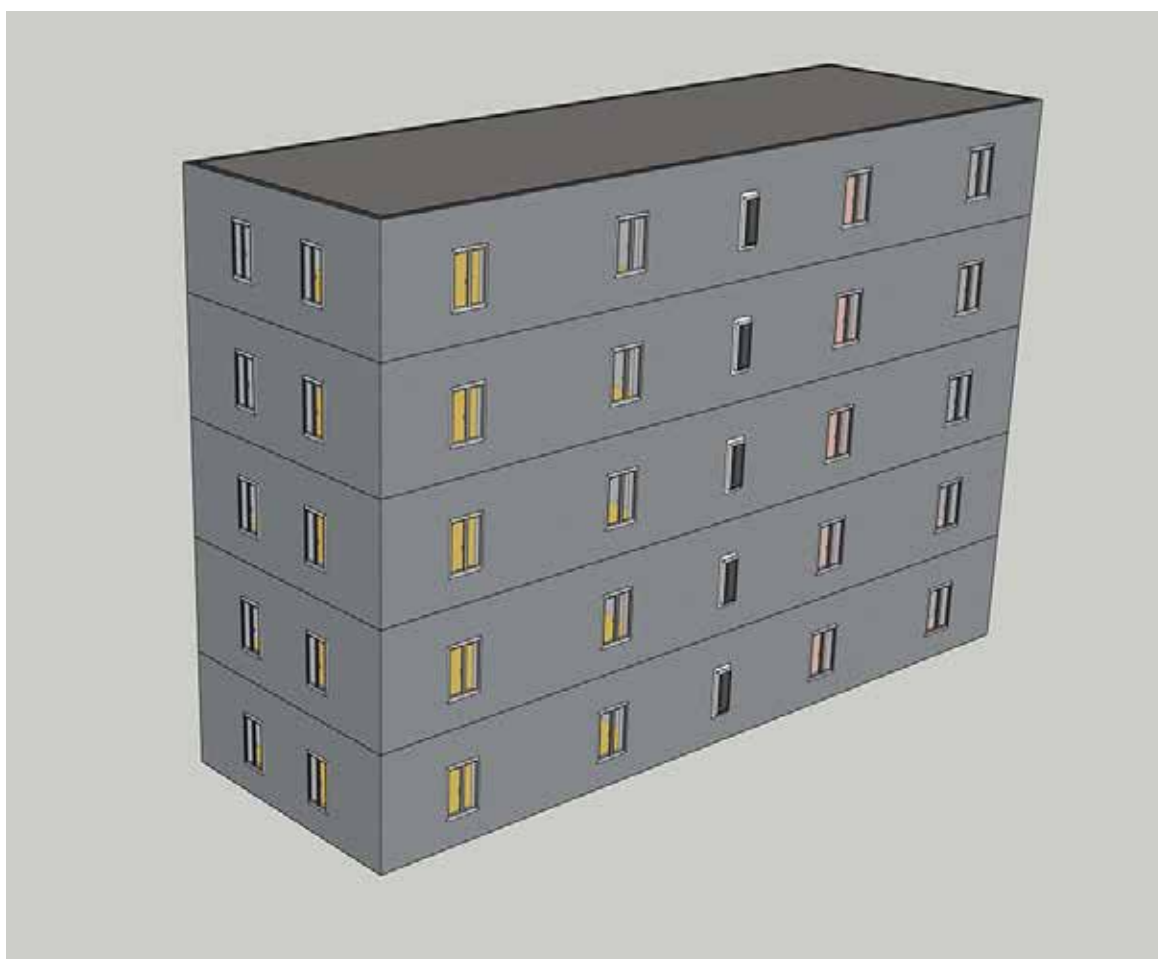
I dati forniti riguardano però condizioni ambientali esterne, mentre sarebbe opportuno valutare le condizioni di benessere e la pericolosità delle condizioni climatiche **negli ambienti abitati**. Infatti, in particolari situazioni di geometria, esposizione, costruzione e mancanza di impianti di climatizzazione possono crearsi situazioni pericolose per la salute o comunque ambienti dove può risultare difficile risiedere.

UN EDIFICIO PER VALUTARE GLI EFFETTI DEL CLIMA

Per procedere all'analisi delle condizioni in ambiente confinato è stato considerato **un edificio tipico** per il panorama costruttivo italiano. L'edificio selezionato per questo lavoro è stato realizzato nel periodo tra il 1961 e il 1975 ed è rappresentativo di molti **edifici poco o per nulla isolati** con bassa massa termica e alta trasmittanza. L'edificio è composto da cinque piani fuori terra con un

vano scale e due appartamenti per piano. La volumetria lorda è di 3074 m³ con una superficie utile totale di 848,6 m², ogni appartamento ha una superficie calpestabile di 76 m².

Ogni appartamento viene individuato indicando il piano, partendo da 0 e l'appartamento, indicando con A1 l'appartamento con esposizione Est e A2 quello con esposizione ovest, pertanto P4_A2 indica un appartamento all'ultimo piano esposto a ovest.



L'edificio utilizzato per le simulazioni, sotto un piano generico con indicati i due appartamenti.

GLI STRUMENTI E I DATI UTILIZZATI

Per condurre l'analisi è stato costruito un **modello virtuale** dell'edificio e per valutare le condizioni interne in termini di benessere sono state realizzate delle **simulazioni** che riproducono gli scambi di calore e umidità tra l'ambiente interno ed esterno attraverso le pareti e le finestre, considerando gli effetti delle temperature,

dell'irraggiamento solare e della ventilazione degli ambienti.

Per valutare l'effetto del cambiamento climatico sul benessere delle persone sono stati utilizzati sia **dati climatici storici** forniti da ARPA FVG che dati climatici rappresentativi di possibili scenari climatici **futuri**.

I DETTAGLI TECNICI

Per valutare le condizioni interne in termini di benessere sono state eseguite simulazioni dinamiche con il software Energy Plus mentre il modello dell'edificio è stato realizzato utilizzando il software DesignBuilder.

I file climatici utilizzati per la simulazione sono in particolare: un file TMY (*Test Meteorological Year*), dati meteorologici tipici, ricavato da dati climatici raccolti tra il 1995-2022 rappresentanti l'andamento medio del clima negli anni passati, e un file FMY (*Future*

Meteorological Year), dato meteorologico futuro, ottenuto proiettando i dati TMY nel futuro per rappresentare il periodo compreso negli anni 2036-2050. In questo caso i dati generati hanno sfruttato le proiezioni disponibili dal modello GCM-RCM HadGEM2-ES RACMO22E e RCP 8.5 reperito sui siti CORDEX e ARPA FVG. I dati, sia attuali che futuri, riportano le grandezze, quali temperatura, umidità, irraggiamento solare per ogni ora in un anno e consentono un'analisi accurata delle condizioni interne.



INDICE DI BENESSERE, PMV E PPD

Il PMV o *Predicted Mean Vote*, Voto Medio Previsto è un indice derivante dagli studi di Fanger svolti negli anni settanta che correla parametri fisici e biologici con la sensazione di benessere termico di una persona soggiornante in un ambiente. L'indice varia da un valore di -3 molto freddo a un valore +3 molto caldo. Il valore ottenuto dipende da parametri dell'ambiente: temperatura, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell'aria e da parametri della persona: attività, vestiario.

Il legame tra scala di valori e parametri è stato ricavato statisticamente, pertanto accanto al voto PMV si associa l'indice PPD *Partial Percentage of Dissatisfied*, Percentuale parziale di Insoddisfatti che rappresenta la percentuale di persone che in un dato ambiente esprime un giudizio caldo, leggermente caldo, leggermente freddo e freddo. Infatti, essendo il PMV un dato statistico, anche se la maggioranza delle persone risulta soddisfatta dell'ambiente esiste una percentuale di persone che esprimono un giudizio negativo. Ad esempio, nel caso di un ambiente ideale avente $PMV=0$ il 5% di persone risulta comunque insoddisfatto ottenendo un $PPD=5\%$.

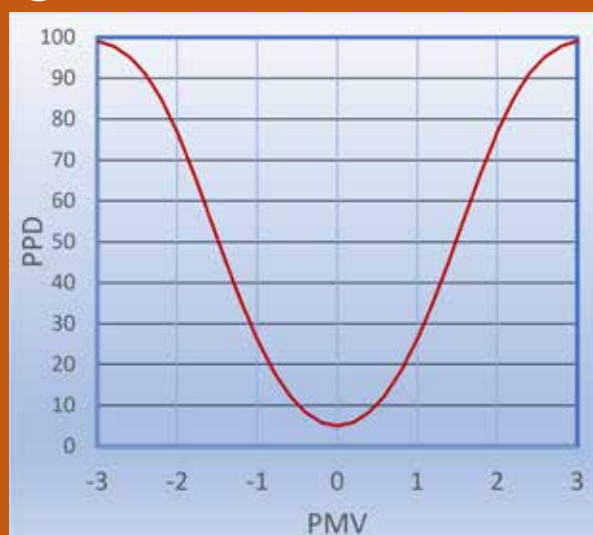
Da un punto di vista pratico le condizioni di benessere possono essere ricavate utilizzando centraline che misurano le proprietà ambientali necessarie per valutare i parametri PMV e PPD una volta determinati i parametri relativi alle persone (come rappresentato in figura)

1

SENSAZIONE

+3	Molto Caldo
+2	Caldo
+1	Leggermente caldo
0	Neutro
-1	Leggermente freddo
-2	Freddo
-3	Molto freddo

2



Indici PMV e PPD 1) scala del valore medio previsto; 2) legame tra PPD e PMV.



Centralina di Benessere Termico.

I PARAMETRI PER VALUTARE IL BENESSERE E LO STRESS

Lo scopo principale del lavoro è quello di valutare, in diverse situazioni climatiche, le **condizioni di benessere delle persone nell'edificio**. Per questo scopo sono stati utilizzati due parametri, il primo destinato alla determinazione delle condizioni di benessere o di disagio, il secondo basato su un modello termofisiologico capace di individuare possibili situazioni di stress termico.

Il primo modello (illustrato nel box esplicativo su Benessere, PMV e PPD), utilizza una scala di valutazione di **benessere o disagio termico** degli ambienti su sette livelli: da -3 molto freddo a + 3 molto caldo.

Il secondo sfrutta il modello biofisico sviluppato da Gagge che invece valuta la **risposta del corpo umano** agli stimoli esterni quali temperatura, umidità e irraggiamento. Nel secondo caso, tra i diversi dati ricavati, viene fornita la frazione di superficie del corpo umano bagnata dal sudore. Proprio quest'ultimo parametro viene utilizzato in questo lavoro per valutare le condizioni di stress termico degli ambienti interni.

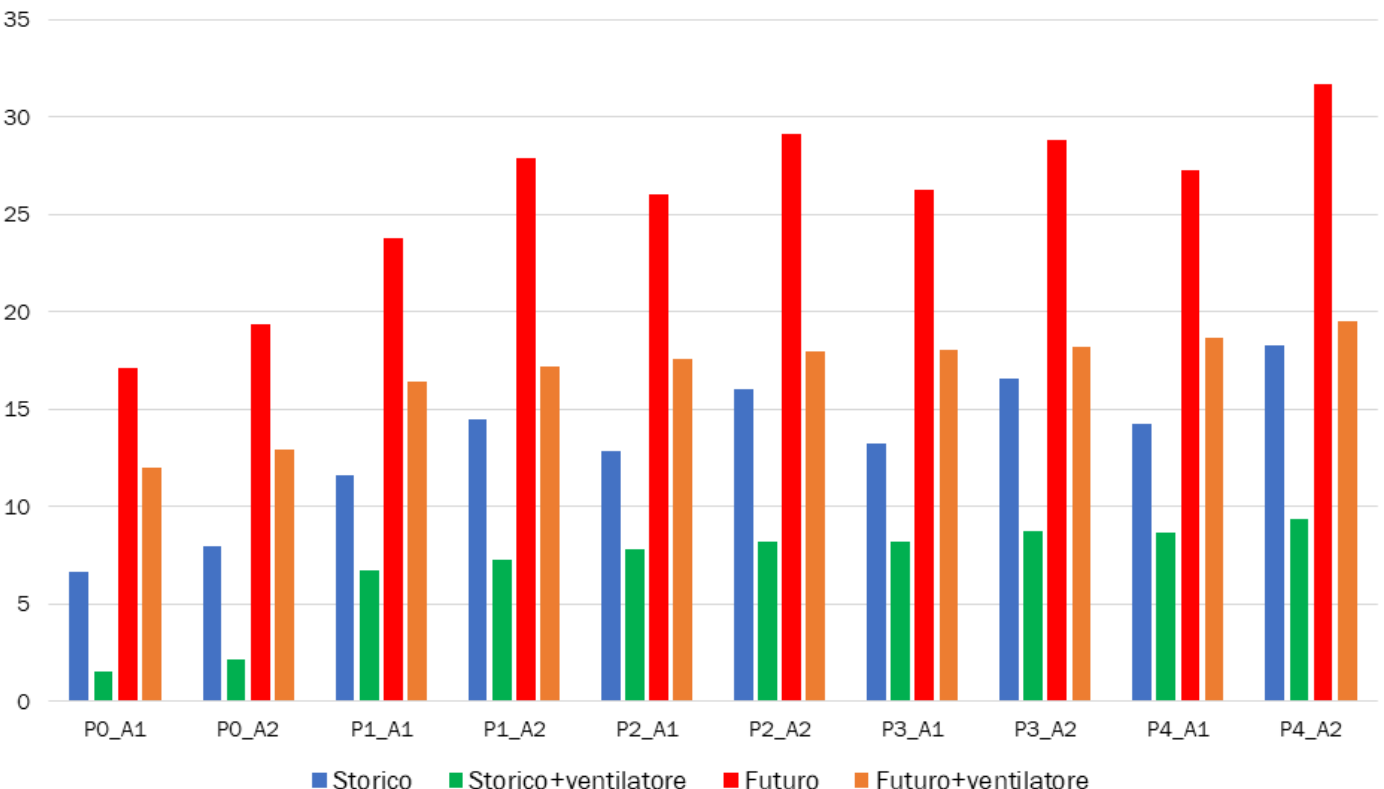
CLIMA E BENESSERE

Un modo per valutare il **livello di comfort all'interno di un edificio** e quanto il cambiamento climatico possa influire è quello di valutare la frazione delle ore totali, tra giugno e agosto, in cui il valore di PMV supera il valore di +2 livello indicato come molto caldo.

Come si può immaginare la valutazione non è uniforme all'interno di un edificio, ma **dipende dall'esposizione**. Come si può notare nel grafico, la percentuale di ore con sensazione di molto caldo è più elevata per i piani alti, specialmente per l'ultimo, più esposti alla radiazione solare. Inoltre, è evidente che il **cambiamento climatico** genera un **aumento delle situazioni di disagio termico**, infatti la frazione di ore con sensazione di molto caldo risulta sempre maggiore nel periodo futuro **2036-2050** rispetto alla situazione attuale.

Come possibile mitigazione del disagio è stato valutato l'effetto di un **ventilatore elettrico**, in questo caso per valutare il termine PMV la velocità dell'aria è stata aumentata a 0.8 m/s rispetto al valore tipico di 0.1 m/s per l'aria ferma. In questo caso si nota una sostanziale **diminuzione delle ore di discomfort** sia nel periodo storico che in quello futuro.

PERCENTUALE DI ORE CON SENSAZIONE DI CALDO



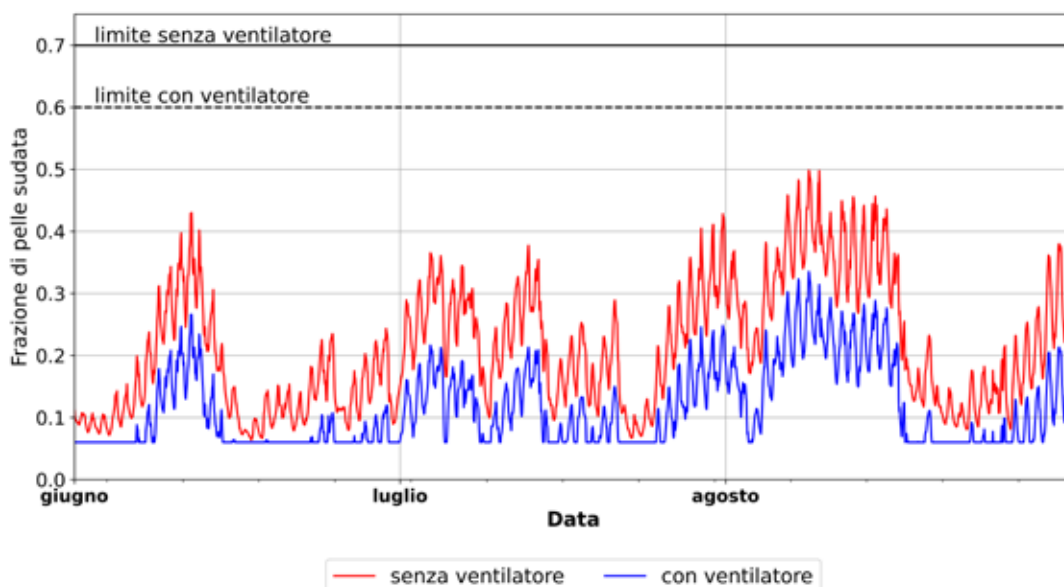
Percentuale di ore con PMV >2 per i diversi file climatici. Storico utilizza i dati nel periodo 1995-2022, Futuro dati nel periodo 2036-2050, ventilatore indica l'attivazione del ventilatore elettrico. P indica il piano; A1 l'appartamento con esposizione est e A2 quello con esposizione ovest.

CLIMA E STRESS TERMICO

Tramite l'utilizzo del modello biofisico è possibile valutare la **percentuale della superficie del corpo ricoperta da sudore**; questo è un parametro indicativo dello stress termico per una persona al raggiungimento di valori limite. Lo stress termico è identificato come la situazione per cui il corpo umano non riesce a smaltire il calore, e nel modello adottato tale limite è stato valutato in letteratura come il 60% della superficie del corpo coperta da sudore in presenza di un ventilatore, che sale al 70% in sua assenza.

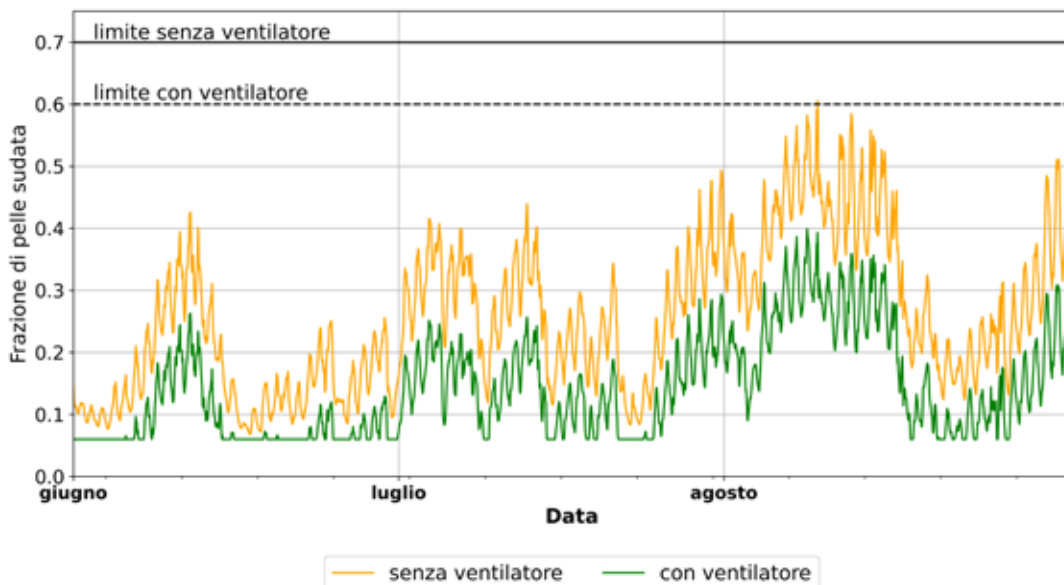
Le figure presentano la percentuale di pelle coperta da sudore con e senza la presenza di un ventilatore e con i dati climatici storici e quelli proiettati nel futuro. È evidente come la presenza di un ventilatore contribuisca a diminuire la frazione di pelle ricoperta da sudore, allontanando i valori dalle condizioni limite, riducendo il pericolo di stress termico. Tuttavia, è anche evidente come il **cambiamento climatico**, e l'aumento delle temperature, possano **acuire i rischi per la salute**.

RISCHIO DI STRESS TERMICO IN ESTATE CON IL CLIMA ATTUALE



Andamento della frazione di pelle bagnata dal sudore per i dati climatici attuali nei mesi tra giugno e settembre con e senza ventilatore. In entrambi i casi i limiti per lo stress termico sono distanti.

RISCHIO DI STRESS TERMICO IN ESTATE CON IL CLIMA FUTURO



Andamento della frazione di pelle bagnata dal sudore per i dati climatici futuri, nei mesi tra giugno e settembre, con e senza ventilatore. I limiti per lo stress termico sono prossimi, specialmente senza ventilatore. L'utilizzo di quest'ultimo migliora la situazione.

SVILUPPI PRATICI DEI MODELLI SVILUPPATI

È in corso un lavoro assieme ad ATER Trieste per l'applicazione dei modelli descritti in edifici attualmente sottoposti a ristrutturazione. L'approccio risulta particolarmente interessante perché potranno essere valutati anche gli **effetti degli interventi di riqualificazione** sul benessere delle persone, sia per via numerica che tramite misure con centralina di benessere.

**Marco Manzan
Atlas Ramezani**

Università degli Studi di Trieste



Edificio da riqualificare e modello numerico per i calcoli. Grazie ad ATER Trieste si potranno applicare i modelli di benessere e di stress termico.



EDILIZIA E CAMBIAMENTO CLIMATICO: PROGETTARE STRUTTURE PIÙ RESISTENTI AGLI EVENTI ESTREMI

Con il riscaldamento globale aumenta, in generale, la frequenza e l'intensità degli eventi meteorologici estremi. Molti componenti e sistemi costruttivi, progettati per resistere agli eventi atmosferici convenzionali, risultano carenti per fenomeni estremi, come quelli registrati di recente in FVG. Sarà necessaria una nuova attenzione per adeguare i sistemi edilizi e in particolare le loro componenti più vulnerabili, per renderli più resistenti agli eventi meteo più intensi.

Foto: Furio Pieri

Come noto, il cambiamento climatico è tipicamente associato a svariati effetti e ripercussioni. Tra i vari aspetti degni di considerazione, a livello globale, le evidenze attuali e le proiezioni future indicano un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi atmosferici estremi: spesso si sottovaluta l'effetto e le conseguenze che ciò può comportare in termini di progettazione strutturale e/o manutenzione di elementi e sistemi costruttivi. **Gli edifici sono inevitabilmente e direttamente coinvolti nel processo di cambiamento climatico, per vari aspetti.** A livello di componenti e sistemi edilizi, essi sono infatti di consueto progettati (in termini strutturali) per offrire adeguata resistenza e funzionalità durante la vita di esercizio, nei confronti di varie azioni (tra cui il vento, la neve, la grandine), ma le condizioni stanno cambiando.

COSTRUIRE IN UN CLIMA CHE CAMBIA

Da questo punto di vista, è ormai risaputo che il continuo incremento delle temperature comporterà, in molte parti del mondo, un'ulteriore **aumento del numero di eventi atmosferici violenti**, che per varie ragioni richiederanno – già nel prossimo futuro – **un diverso approccio alla progettazione edilizia**. Diversamente, un numero crescente di elementi e sistemi costruttivi (es. strutture industriali, coperture, telai e coperture di serre, ecc.), ma anche di sistemi edilizi integrati (es. impianti fotovoltaici, ecc.) potrà inevitabilmente subire danni severi sempre più frequenti. Gli **eventi meteorologici avversi verificatisi nell'estate 2023 in Friuli Venezia Giulia**, e manifestatisi sotto forma di pressioni del vento estremamente intense e/o tempeste

con grandine particolarmente violenta, sono una recente dimostrazione di ciò che può accadere quando si verificano eventi “fuori scala” rispetto alle statistiche climatiche.

In diversi episodi recenti, entrambi i fenomeni hanno presentato **caratteristiche tali da eccedere le attuali convenzioni e procedure** di normativa di calcolo, e/o da superare i requisiti minimi che servono per certificare i prodotti, caratterizzare la resistenza meccanica delle componenti edilizie, ottimizzarne la progettazione. Ingentissimi sono infatti i danni registrati in regione nell'estate 2023. In tale ottica – specialmente per quanto concerne **le componenti e i materiali più deformabili, vulnerabili e/o fragili (es. vetrate)** – sarà necessario porre una sempre più profonda attenzione nel dimensionamento e/o adeguamento dei sistemi edilizi.



Esempi di danni al costruito osservati in regione a seguito del maltempo di luglio 2023: (1)-(2) tetti scoperchiati e (3)-(4) serre e pannelli fotovoltaici danneggiati dalla grandine (foto (3)-(4) gentilmente fornite da © Società Agricola Paulitti & C. s.s..)

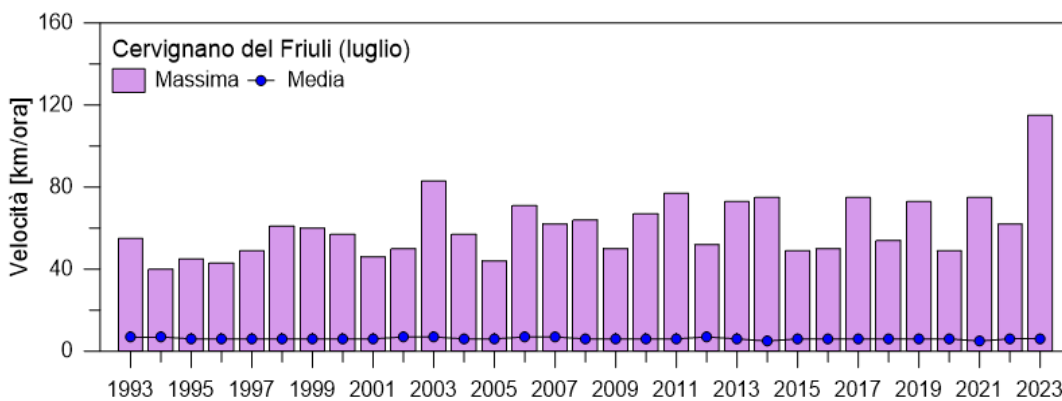
LA VELOCITÀ DEL VENTO

In ambito edilizio, le ripercussioni dovute a eventi atmosferici estremi saranno evidenti sia sulle nuove costruzioni e strutture, che sull'esistente. Le ipotesi di calcolo in uso per la progettazione strutturale si basano infatti su **dati caratteristici e convenzioni che evidentemente richiederanno un aggiornamento** nel prossimo futuro, onde evitare o quantomeno minimizzare la presenza di elementi e sistemi edilizi sotto-dimensionati, nei confronti di una crescente domanda di resistenza. A tale proposito, può essere significativo analizzare

alcuni dati delle stazioni di monitoraggio della rete meteorologica regionale, diffusi da ARPA FVG. **Durante l'estate 2023**, esse hanno registrato **raffiche di vento particolarmente intense in pianura**, es. 120 km/ora a Cervignano del Friuli (13 luglio 2023) e 136 km/ora a Vivaro (26 luglio 2023). Quest'ultima, in particolare, rappresenta la rilevazione più alta registrata in 30 anni nella pianura friulana.

Nonostante la velocità media sia stata pressoché costante e pari a 6-7 km/ora – la velocità di picco è stata particolarmente elevata.

VELOCITÀ DEL VENTO A CERVIGNANO NEL CORSO DEGLI ANNI



Velocità massima e media del vento registrata, negli ultimi 30 anni, nella stazione di Cervignano del Friuli durante il mese di luglio (dati ARPA FVG-RAFG).

COME SI DETERMINA L'AZIONE DEL VENTO SULLE COSTRUZIONI

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio. Il vento si associa, in particolare, a una serie di fenomeni fluidodinamici che sono complessi da descrivere e caratterizzare, e che dipendono da molti fattori.

In funzione della forma, dell'orientamento e delle dimensioni del corpo investito, il vento si tramuta sulle costruzioni come un sistema di azioni aerodinamiche che vengono tradotte in parametri equivalenti e di semplice utilizzo per la progettazione. Le normative di riferimento per la progettazione strutturale indicano inoltre di considerare gli effetti del vento sui singoli elementi costruttivi sia come spinta (pressione) che come forza radente (che sfiora la superficie della costruzione).

La velocità istantanea del vento varia casualmente nel tempo e nello spazio ed è costituita da diverse componenti, di cui bisogna tener conto nella progettazione. Queste componenti dipendono dalla posizione geografica e dall'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione, dalle caratteristiche locali del terreno, in partico-

lare dalla rugosità e dalla topografia, dall'altezza sul suolo, dalla probabilità di superamento in un anno o dal periodo di ritorno.

Tra i vari fattori che devono essere presi in considerazione per il calcolo strutturale, vi è la velocità base di riferimento al livello del mare (v_b). In mancanza di dati specifici (e per siti di costruzione sino a 1000 m sul livello del mare), si assume $v_b = 25$ m/s (= 90 km/ora) per il territorio del Friuli Venezia Giulia, e $v_b = 30$ m/s (= 108 km/ora) per la sola provincia di Trieste.

Inoltre per le costruzioni di forma o tipologia inusuale, oppure di grande altezza o lunghezza, o ancora di rilevante snellezza e leggerezza, o di notevole flessibilità e ridotte capacità dissipative, o in altre situazioni particolari, il vento può dare luogo a effetti la cui valutazione richiede l'uso di metodologie di calcolo e sperimentali particolarmente complesse. Ad esempio per strutture o elementi strutturali ravvicinati e di analoga forma, ad esempio edifici alti, serbatoi, torri di refrigerazione, ponti, ciminiere, cavi, elementi di carpenteria e tubi, possono manifestarsi fenomeni di interferenza tali da modificare gli effetti che il vento causerebbe se agisse sulle stesse strutture o elementi strutturali isolati.

VALUTARE LA VULNERABILITÀ DI UNA STRUTTURA AL VENTO: UN ESEMPIO CONCRETO

A titolo d'esempio, è stata analizzata la **vetrata** presente nella struttura del Centro Informazione e Documentazione (CID) sita a Torviscosa (UD). La facciata fa parte di un edificio progettato nel 1961 da Cesare Pea e realizzato nel 1962, ed è particolare per forma e dimensioni (figura a). Essa copre infatti fino a 4,95 m in altezza per 6,74 m in larghezza, ed è realizzata con lastre di vetro monolitico, non di sicurezza, a coprire ampie superfici.

Le singole lastre, in particolare, raggiungono dimensioni fino a 3,3 x 2,6 m, seppur con uno spessore ridotto, di appena 5 mm. Queste sono sostenute da un telaio metallico, tramite giunti lineari, a formare la facciata. La **criticità di questo tipo di sistema** può insorgere quando le azioni a cui è sottoposta (vento, urto, ecc.) sono di intensità tale da provocare **effetti meccanici (tensioni e deformazioni nelle componenti) superiori alla capacità dei materiali impiegati**. Il vetro, in particolare, è caratterizzato da una limitata resistenza a trazione, ed è notoriamente associato a elevato rischio di frattura.

Al fine di valutare la vulnerabilità della facciata nei confronti di eventuali fenomeni intensi (es. azione del vento), si è pertanto svolta **un'indagine pilota** di tipo sperimentale (in sito) e numerica.

La prima fase dell'intervento è consistita in un rilievo dimensionale e diagnostico dell'opera. A ulteriore integrazione delle informazioni geometriche di base così ottenute, si è successivamente proceduto a un'analisi sperimentale di tipo non invasivo, resasi necessaria per ricavare alcune importanti caratteristiche dei materiali impiegati, nonché dei dettagli costruttivi non direttamente misurabili durante il rilievo. La figura b, in particolare, mostra alcuni **sensori (accelerometri)** impiegati per monitorare le vibrazioni delle lastre in vetro (quando sottoposte ad azione meccanica esterna) ed estrarre, da queste, le caratteristiche dinamiche del sistema.

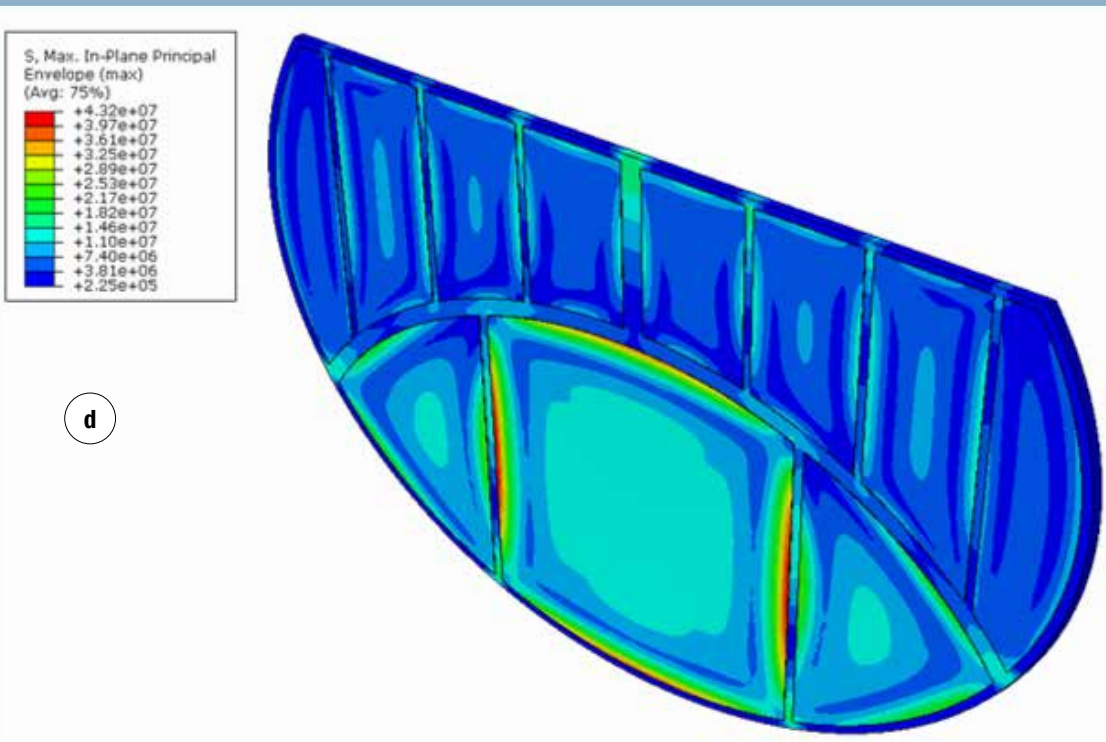
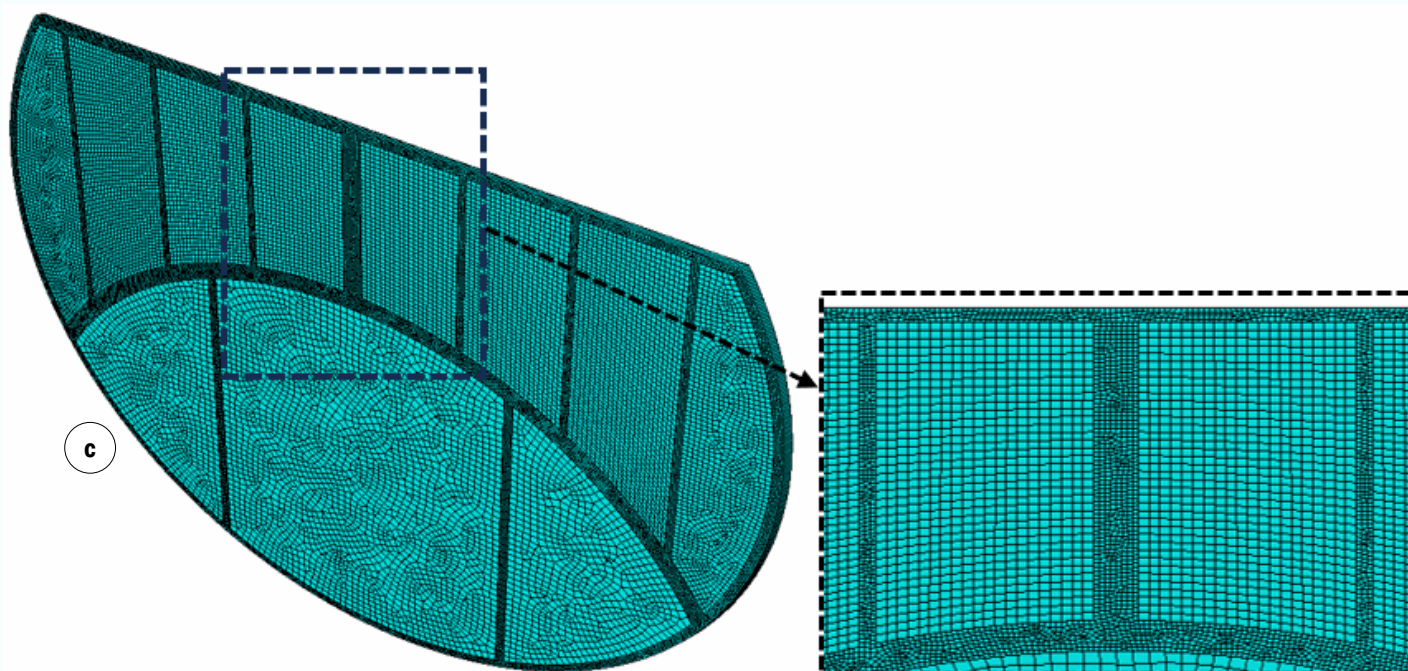
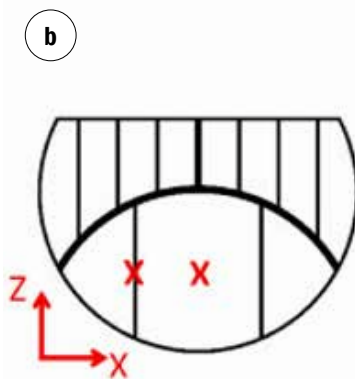
Dal tale caratterizzazione meccanica è stato quindi possibile descrivere e calibrare in modo univoco un **modello numerico a Elementi Finiti**

della struttura (figura c), sufficientemente realistico e affidabile per consentire di simulare diversi scenari di carico da vento per la stessa facciata, andandone a studiare gli effetti attesi.

Un modello numerico a Elementi Finiti rappresenta – in ambito ingegneristico e non solo – **una tecnica di simulazione virtuale estremamente sofisticata e versatile**, molto impiegata sin dagli anni '60. Per una data componente oggetto di indagine, essa prevede di crearne una copia virtuale in cui riprodurre le caratteristiche geometriche, meccaniche, termo-fisiche del sistema reale, e utilizzarla per simulazioni in diversi scenari di interesse pratico. Un passaggio chiave nella risoluzione numerica di sistemi anche molto complessi, è rappresentata dalla scomposizione (discretizzazione) di un dato oggetto in tanti “elementi finiti”, di dimensioni limitate, di geometria regolare (es. quadrati, cubi) e di semplice risoluzione matematica. La soluzione finale del problema da indagare sarà data dalla somma delle soluzioni di ogni singolo “elemento finito”. Maggiore è l'accuratezza del modello virtuale, e maggiore sarà l'accuratezza delle simulazioni.

In particolare, la figura d mostra la risposta del sistema (comprensivo di telaio metallico, giunti e lastre di vetro) sottoposta a una pressione del vento uniforme. L'immagine si riferisce alla distribuzione di tensioni di trazione nelle componenti della facciata, quando esposta a una pressione del vento con velocità fino a 150 km/ora.

Un'analisi mista sperimentale-numerica di questo genere è molto utile per poter **valutare la capacità della facciata nel sopportare eventi atmosferici anche intensi** (e prevedere, eventualmente, possibili strategie di mitigazione). Si osserva, in particolare, che la tensione massima di trazione (che rappresenta il parametro critico per la verifica strutturale del vetro) si concentra prevalentemente ai bordi delle lastre (zone in rosso nella figura d). Quest'ultima, al crescere dell'intensità del vento, supera inevitabilmente la resistenza del materiale, il che comporterebbe la frattura (e il conseguente collasso) delle lastre di vetro monolitico, quando esposte a raffiche di vento estremamente violente.



Esempio di analisi di una vetrata esistente in presenza di azione del vento:
 (a) CID di Torviscosa;
 (b) setup di prova sperimentale: si nota uno dei sensori applicati sulla vetrata;
 (c) modello virtuale della facciata;
 (d) risultati dell'analisi numerica a elementi finiti (immagini tratte da C. Bedon et al. (2022): "Considerations on efficient procedural steps for seismic capacity assessment and diagnostics of historic structural glass systems" - Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 163, 107562).

Poiché gli ultimi anni hanno registrato alcuni eventi e picchi particolarmente intensi, sarà opportuno tenerne conto anche nel calcolo strutturale.

Si precisa, a tale scopo, che valori di velocità del vento di ancora maggiore intensità sono tipici delle stazioni di costa o di alta montagna. Durante la **tempesta Vaia del 2018**, che aveva provocato danni ingenti al patrimonio costruito e al patrimonio forestale, le stazioni di rilevamento in Carnia registrarono raffiche di vento istantanee (a 10 m dal suolo) fino a 170-200 km/ora.

LE DIMENSIONI DELLA GRANDINE

Per quanto riguarda questo fenomeno, è particolarmente significativo il risultato della ricerca condotta dall'European Severe Storms Laboratory (ESSL) in merito a **frequenza di episodi severi di grandine**.

La stima fornita da uno specifico modello statistico per la dimensione dei chicchi di grandine in Europa dal 1950 a oggi conferma il notevole e rapido **incremento nella dimensione dei chicchi** dagli anni '90: nel periodo 2012-2021 la grandine di grosse dimensioni risulterebbe tre volte più probabile che negli anni '50 del secolo scorso. Nel Nord Italia, nell'ultimo decennio, si sarebbe registrato il più significativo incremento nella severità degli eventi grandinigeni. **Il record Europeo per il chicco più grande** in assoluto, a oggi, è stato registrato a **Tiezzo di Azzano Decimo il 24 luglio 2023**: fino a 19 cm di dimensione e circa 1 kg il peso stimato (si veda anche: il report mensile meteo.fvg di luglio 2023 https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/meteo-fvg//2023/meteo.fvg_2023-7_it.pdf). Anche le analisi condotte in Friuli Venezia Giulia evidenziano una tendenza all'aumento delle dimensioni dei chicchi di grandine, **anche se i dati misurati dalla rete di pannelli in FVG mostrano un calo nella frequenza delle grandinate**.

In generale, su ampia scala, i dati raccolti confermano pertanto il progressivo intensificarsi di eventi atmosferici sfavorevoli, dei quali sarà fondamentale tenere conto. Particolarmente oneroso potrebbe essere l'impegno richiesto per ridurre la vulnerabilità di sistemi e componenti esistenti e già carenti dal punto di vista strutturale.

Chiara Bedon

Università degli Studi di Trieste

COME SI DETERMINA L'EFFETTO DELLA GRANDINE SU COPERTURE/TAMPONAMENTI IN VETRO E IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Per elementi in vetro adibiti a semplice tamponamento negli edifici, e pertanto tipici di coperture, pensiline o tettoie a cui non è previsto l'accesso non controllato di utenze, la normativa richiede valutazioni specifiche nei confronti della grandine. Fondamentalmente, l'obiettivo della verifica è minimizzare i rischi per le persone che – in caso di rottura del vetro – possano trovarsi nelle vicinanze o al di sotto di una lastra in vetro danneggiata. Per la prova di resistenza alla grandine, la normativa prevede che il test sia svolto sul sistema nella sua interezza (elemento in vetro, struttura di supporto (es. telaio metallico), dispositivi di fissaggio e ulteriori componenti secondarie (es. guarnizioni)).

Diverso è l'approccio di verifica per le coperture vetrate progettate per l'accesso dell'utenza (es., solai e pavimentazioni), dove i requisiti strutturali sono ben più gravosi.

Gli eventi atmosferici estremi sono particolarmente dannosi anche nei moduli fotovoltaici (PV), dove le componenti elettriche sono protette da lastre in vetro temprato estremamente sottili e flessibili (3,2 mm il loro spessore tipico). Qualsiasi danno eventuale nel vetro di protezione comporterebbe la perdita di integrità, con conseguenze sulle componenti elettriche e sulla funzionalità / durabilità dei moduli.

La normativa di riferimento per certificazione dei pannelli fotovoltaici prevede l'esecuzione di diversi test di resistenza, tra cui quello atto a valutare gli effetti della grandine. Si tratta fondamentalmente di un test svolto in laboratorio, necessario a verificare che il modulo PV sia in grado di resistere all'impatto di chicchi di grandine di determinate caratteristiche (dimensioni, velocità di impatto, temperatura). La configurazione più onerosa prevede il lancio di sfere di ghiaccio con diametro di 75 mm (203 grammi), a una velocità di 39,5 m/s (= 142,2 km/ora), andando a colpire ogni modulo PV in 11 punti di impatto.

ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI: ANCHE UNA QUESTIONE DI GIUSTIZIA

Gli impatti sui cambiamenti climatici gravano maggiormente sui gruppi più vulnerabili che vedono i loro diritti umani fondamentali sempre più a rischio. È in questo scenario che si è sviluppata la nozione di giustizia climatica, che rivendica un adattamento inclusivo e orientato all'equità. L'inclusione di tutti nei processi decisionali e nelle misure di adattamento diviene dunque cruciale per favorire la resilienza dei sistemi umani.

Foto: Furio Pieri

Mortegliano, danni alle abitazioni causati dalla grandinata di luglio 2023.

Il contrasto fra locale e globale viene meno quando si tratta di cambiamento climatico. Piuttosto, nello scenario dei cambiamenti climatici, le due dimensioni si sovrappongono dal momento che gli impatti devastanti della crisi climatica colpiscono ogni area del pianeta, seppure con modalità e intensità che dipendono dalle specifiche caratteristiche e vulnerabilità di ciascun territorio.



RISPOSTE DI ADATTAMENTO LOCALI A SFIDE GLOBALI

Fenomeni graduali, come l'innalzamento dei mari e l'aumento delle temperature annue si stanno verificando anche in Friuli Venezia Giulia, come documentato anche da diversi articoli in questa edizione di Segnali dal clima in FVG. A questi fenomeni gradualsi aggiungono gli **eventi estremi** - come ondate di calore, incendi boschivi, piogge intense e temporali molto forti, mareggiate, siccità prolungate - la cui intensificazione è stata comprovata su scala globale. Sebbene in un territorio di limitata estensione come quello del Friuli Venezia Giulia non siano ancora individuabili delle tendenze statisticamente significative riguardo alla frequenza e intensità di tali fenomeni, il verificarsi di eventi estremi impattanti non è una mera ipotesi, ma **una realtà sperimentata anche dai nostri territori** nel corso degli ultimi anni.

Basti pensare agli incendi del Carso dell'estate 2022 e alle grandinate che si sono verificate in regione nell'estate del 2023, che hanno creato situazioni destabilizzanti, difficilmente gestibili e danni ambientali, alla proprietà e alla salute.

In futuro, a causa dei cambiamenti climatici tali eventi estremi potrebbero diventare più frequenti e portare a danni e conseguenze al nostro territorio che potremo contenere soltanto attuando fin da ora efficaci misure di adattamento. **Misure di adattamento** che, nonostante la portata globale della sfida, considerino le specifiche caratteristiche dei **sistemi socioeconomici e ambientali locali** nella loro complessità. D'altra parte, è necessario che su scala globale vi sia un vero e proprio impegno condiviso per rispondere prontamente sia agli impatti gradualsi che a quelli derivanti dagli eventi estremi.

LA DISTRIBUZIONE ASIMMETRICA DI IMPATTI E VULNERABILITÀ

Per poter rafforzare la resilienza dei sistemi umani, è necessario che le politiche di adattamento considerino anche la distribuzione asimmetrica degli impatti del cambiamento climatico.

Gli impatti del cambiamento climatico rischiano infatti di esacerbare le condizioni di intere comunità o individui che, a causa di **molteplici fattori non climatici**, bensì sociali, economici, culturali e ambientali vivono in una condizione di vulnerabilità preesistente.



Fonte: ADB / Asian Development Bank <https://climatevisuals.org/>

Per comprendere pienamente questa relazione, è bene definire cosa si intende per **vulnerabilità** nel panorama dell'attuale crisi climatica. Il *Working Group II* dell'IPCC nell' *Allegato II del Sixth Assessment Report* del 2022 descrive la vulnerabilità come la suscettibilità ai danni del cambiamento climatico e la mancanza di capacità di affrontarne gli impatti e di adattarsi.

Pertanto, **individui e comunità** che per un insieme di fattori socioeconomici - quali reddito, genere, età, disabilità, salute ed esclusione sociale -, ambientali e storici, rischiano non solo **una maggiore esposizione ai rischi**, ma anche di avere **una minore capacità di risposta e ripresa dagli impatti** causati dal cambiamento climatico.

Si pensi alle **aree urbane povere**, che tendono a trovarsi nelle isole di calore urbano e dove le forti ondate di calore possono aggravare le condizioni di vulnerabilità di varia natura, oppure ai **lavoratori che svolgono la loro attività all'aperto**, in settori come l'agricoltura o l'edilizia, per i quali l'impatto dei cambiamenti climatici può significare perdita di reddito senza possibilità di riconversione professionale, ma anche peggioramento delle condizioni di salute.

GIUSTIZIA CLIMATICA

L'intersezione fra impatti ambientali e disuguaglianze socioeconomiche si traduce in un inasprimento delle condizioni di vulnerabilità e porta con sé anche notevoli **ripercussioni su una vasta gamma di diritti umani**, come ad esempio quello alla salute o all'abitazione.

L'incontro fra fattori di vulnerabilità, diritti e sfide ecologiche ha favorito lo sviluppo della nozione di **giustizia climatica**, che contesta la distribuzione iniqua degli impatti dei cambiamenti climatici a discapito delle comunità o individui vulnerabili. Tale relazione è ben descritta dall'IPCC *focal point for Italy*, curato dal CMCC, che afferma che *"la giustizia climatica affianca il tema dello sviluppo a quello dei diritti umani per favorire un approccio basato sui diritti nell'affrontare il cambiamento climatico."* La nozione, emersa a fine anni '80, è strettamente connessa alle contestazioni delle comunità di colore degli Stati Uniti in merito all'ingiusta distribuzione dei benefici e dei costi ambientali delle attività antropiche. Al contempo, la giustizia climatica ha stimolato le critiche degli attivisti del sud del mondo, che denunciavano la notevole **responsabilità delle nazioni ricche** nella crisi climatica, e ribadivano come i **Paesi poveri**

soffrissero maggiormente gli **impatti dei cambiamenti climatici** nonostante il minore contributo al degrado ambientale. Dunque, la giustizia climatica evidenzia come rischi, esposizione e impatti dei cambiamenti climatici non solo siano distribuiti in maniera asimmetrica, ma anche che Paesi e comunità con responsabilità minima delle alterazioni climatiche siano le più colpite.

Sebbene la sua risonanza globale, la giustizia climatica si è concentrata su esperienze di **ingiustizie e impatti locali** dei cambiamenti climatici, dando voce alle vulnerabilità di intere comunità emarginate e alle stridenti richieste di equità e rispetto dei diritti umani.

PER UNA POLITICA DI ADATTAMENTO GIUSTA

Ciò premesso, diventa essenziale nel rispetto dei diritti dei più vulnerabili che la giustizia climatica nel suo insieme venga inserita **nella programmazione, pianificazione e attuazione delle misure di adattamento** ai cambiamenti climatici in maniera efficace, evitando il fenomeno del cosiddetto *“tokenism”* (attuazione di politiche o prassi prettamente simboliche). Per una piena realizzazione della giustizia climatica è importante assicurare **trasparenza e inclusione** delle voci dei più vulnerabili, come donne, immigrati, persone diversamente abili o giovani, nelle negoziazioni e nei processi decisionali per la definizione di misure di adattamento. **Considerare i gruppi più vulnerabili** in tali processi, adottando soluzioni integrate e inclusive, riduce le vulnerabilità (e quindi i rischi) e permette **uno sviluppo resiliente** al cambiamento, come indicato dall'IPCC *focal point for Italy*, curato dal CMCC.

Inoltre, la considerazione degli aspetti sociali, il dialogo e i processi decisionali inclusivi diventano fondamentali perché, come recentemente dichiarato nella comunicazione della Commissione Europea (7732/2024 *“Gestire i rischi climatici: proteggere le persone e la prosperità”*) **soluzioni di adattamento inappropriate possono ampliare ulteriormente le disparità**. La stessa Unione Europea puntualizza, all'interno della sua Strategia di adattamento, l'impegno a garantire che i benefici dell'adattamento ai cambiamenti climatici siano ampiamente ed equamente condivisi, realizzando una resilienza giusta ed equa. A tal proposito, l'UE pone particolare interesse al tema del **contrasto della perdita di posti di lavoro** nei settori

colpiti dai cambiamenti climatici, come l'agricoltura, la pesca e il turismo, promuovendo strategie e politiche a lungo termine di diversificazione economica e iniziative in materia di istruzione, **formazione e riconversione professionale**, che indirizzano verso occupazioni “verdi” per l'aumento della resilienza locale.

Appare evidente che a livello locale, come stabilito dal PNACC (Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici) per il contesto italiano, a livello europeo e internazionale, l'adattamento ai cambiamenti climatici rappresenti una priorità nodale. Tuttavia, è auspicabile che i processi decisionali e le misure di adattamento stesse volgano lo sguardo alla distribuzione asimmetrica degli oneri degli impatti del cambiamento climatico, per una vera e propria **resilienza dei sistemi umani**.

**Anna Giuliani
Chiara Volponi**

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

LE DIMENSIONI DELLA GIUSTIZIA CLIMATICA



GIUSTIZIA DISTRIBUTIVA

Considera la distribuzione degli oneri e dei benefici del cambiamento climatico fra individui, nazioni e generazioni.

GIUSTIZIA PROCEDURALE

Tiene conto della partecipazione nel processo decisionale, facendo luce su chi e come prende le decisioni e sulla base di quali idee.

GIUSTIZIA DEL RICONOSCIMENTO

Comprende il riconoscimento della pluralità di attori della società e dei loro diversi bisogni, desideri e capacità.

GIUSTIZIA COMPENSATIVA

Include il riconoscimento del risarcimento dai danni causati dal cambiamento climatico con lo scopo di ripristinare le condizioni *ex-ante*, con spiccata attenzione all'esistenza di condizioni di ingiustizia.

OLTRE L'ECO-ANSIA: CONNETTERSI CON LE EMOZIONI PER CAMBIARE IL CLIMA DENTRO E FUORI DI NOI



Di fronte alla crisi eco-climatica possiamo avere un ampio spettro di emozioni e pensieri: sono i tentativi del nostro sistema nervoso di adattarsi a una situazione di grave alterazione dell'ambiente in cui viviamo. I cambiamenti climatici possono avere importanti effetti negativi diretti e indiretti sulla nostra salute mentale, ma le eco-emozioni possono essere trasformate costruttivamente in una spinta ad agire se affrontate con consapevolezza, attraverso esperienze di condivisione e riconnessione con il mondo naturale.

Foto: Nino Souza da Pixabay

La parola “eco-ansia” ha iniziato a fare capolino su social e giornali – e quindi nel nostro vocabolario quotidiano - da poco tempo, spesso con significati discordanti. C'è chi la usa come sinonimo di malattia mentale e chi invece la sfodera come arma ironica per sdrammatizzare l'angoscia di un futuro incerto. Comunque la si intenda, quel che è certo è che nel 2023 Google Trends ha registrato un aumento esponenziale delle ricerche correlate a eco-ansia e ansia climatica, e un sondaggio di YouTrend di aprile 2024 rilevava che il **42% degli italiani** aveva provato sentimenti di eco-ansia almeno una volta nell'ultima settimana. Il dato sale al **58% considerando la fascia d'età fra 18 e 34 anni**, rispecchiando un fenomeno catturato dai principali istituti di ricerca in tutto il mondo.



Foto: Janusz Walczak da Pixabay

Lo scopo di questo articolo è presentare **una panoramica delle principali ricadute della crisi eco-climatica sulla salute mentale**, con un focus particolare sulle eco-emozioni, sviluppando alcune riflessioni a riguardo e fornendo a chi legge gli strumenti necessari per avventurarsi in ulteriori approfondimenti. Nell'esplorazione di questo mondo nuovo c'è un unico grande errore da non commettere: quello di pensare che gli effetti della crisi eco-climatica sulla salute mentale siano per forza delle malattie da curare piuttosto che dei tentativi di adattamento dei nostri sistemi nervosi a una situazione di grave alterazione della nostra casa comune, la Terra.

DI COSA PARLIAMO?

Nonostante il crescente interesse da parte di ricercatori e cittadini, parlare di eco-ansia significa ancora essere a rischio di fraintendimenti. Infatti, mentre il mondo accademico è alla ricerca di una definizione condivisa,

il termine "eco-ansia" viene comunemente usato per indicare **un ampio spettro di emozioni e pensieri che si possono provare in relazione alla crisi eco-climatica**. Reazioni che, in ogni caso, rappresentano solo alcune delle tante ricadute che la crisi ambientale – intesa in senso ampio – può avere sulla salute mentale delle persone. L'Organizzazione delle Nazioni Unite e l'Organizzazione Mondiale della Sanità concordano nel dire che la crisi eco-climatica rappresenta oggi **la singola più grave minaccia per la salute umana** in generale, con effetti devastanti sia diretti che indiretti, che ancora si fa fatica a includere nella programmazione dei servizi sanitari dei vari Stati.

DA SEMPRE INTERCONNESSI CON IL NOSTRO AMBIENTE

Allargando un poco lo sguardo, possiamo vedere che fenomeni come l'eco-ansia si inseriscono in una rete più complessa di interconnessioni che

dalla notte dei tempi **legano la nostra esperienza di vita all'ambiente che ci circonda**. Basti pensare ad esempio che il nostro ritmo sonno-veglia, i nostri livelli di energia e pattern di alimentazione si sono evoluti sulla base di variabili stagionali quali luce e temperatura. **Il profondo sconvolgimento del sistema biofisico Terra**, a cui assistiamo ormai a velocità accelerata, **influenza la nostra salute psicofisica, i nostri comportamenti e le nostre relazioni** con gli altri elementi dell'ecosistema in modi che vanno ben oltre il semplice concetto di "eco-ansia" e sono oggetto di studio non solo medico e psicologico, ma anche filosofico e sociologico. **Ci siamo evoluti in un ambiente che ora sta cambiando troppo rapidamente** e in maniera troppo imprevedibile per permetterci di adattarci con facilità.

EFFETTI DIRETTI E INDIRECTI DELLA CRISI CLIMATICA SULLA SALUTE MENTALE

Gli effetti della crisi eco-climatica sulla salute mentale sono, appunto, tanti e diversi. Si va da condizioni di sofferenza conseguenti all'essere testimoni diretti di eventi climatici estremi

– come incendi o alluvioni – a effetti che si sviluppano più lentamente in risposta, ad esempio, alla degradazione dell'ambiente naturale a noi familiare. Prima di parlare di eco-ansia, è importante ricordare che gli effetti più drammatici si hanno **quando la crisi eco-climatica impatta violentemente la vita delle persone** limitando, ad esempio, la disponibilità di cibo, acqua potabile o aria pulita – in questi casi, ovviamente, ci sono **pesanti ricadute anche sulla salute fisica**. Si parla di effetti indiretti, invece, quando una persona che non è stata minacciata direttamente da cataclismi o mancanza di beni di prima necessità sviluppa una condizione di **disagio psicologico per "effetto domino"** o a causa della consapevolezza acquisita tramite le fonti di informazione. Per questo motivo, gli effetti della crisi ambientale sulla salute mentale sono stati paragonati ai **cerchi che si allargano sulla superficie dell'acqua** dopo aver gettato un sassolino.

Un concetto interessante che è stato proposto è quello di **Disturbo da Stress Pre-Traumatico** correlato al clima. Alcuni studiosi, infatti, hanno ipotizzato la possibilità di essere traumatizzati psicologicamente in anticipo alla sola prospettiva di un





Foto: Jake Melara su Unsplash

evento climatico estremo non ancora accaduto. Una condizione simile è stata finora osservata solo nei militari in previsione del combattimento, e le ipotesi riguardanti la crisi eco-climatica sono tutte da esplorare.

Quello che sembra più certo è che la crisi ambientale ha il potere di innescare profondi sconvolgimenti nelle nostre abitudini di vita, nell'ordine sociale e persino nelle istituzioni, portando così a **un trauma collettivo e culturale di ampia portata**, non dissimile da quello sperimentato durante la pandemia.

ECO-EMOZIONI

Le eco-emozioni, invece, sono gli **stati emotivi** (come ci sentiamo) o **mentali** (cosa pensiamo) che costituiscono la nostra esperienza interiore della crisi eco-climatica. In altre parole, quello che succede dentro di noi quando leggiamo la notizia di uno sversamento di petrolio in mare o dell'ennesimo record di temperatura.

Nonostante le ricerche abbiano proposto diversi nomi e classificazioni, le eco-emozioni possono grosso modo essere ricondotte a **tre emozioni primarie: rabbia, paura (che comprende anche l'ansia), tristezza**. Questo perché nei nostri cervelli ci sono dei "circuiti dedicati" per queste tre emozioni, che si attivano sulla base del nostro temperamento individuale e a seconda delle circostanze, e inducono in noi delle precise reazioni anche fisiche.

È importante sottolineare ancora una volta che **non si tratta di disturbi mentali, ma delle reazioni che il nostro sistema nervoso ritiene più efficaci** per metterci in salvo da una situazione di pericolo. In questo senso, le eco-emozioni indicano che **siamo connessi in maniera "sana" con la realtà** del mondo che ci circonda.

LE PRINCIPALI ECO-EMOZIONI

in alcuni casi, le eco-emozioni possono riferirsi agli scenari futuri che ci immaginiamo, e assumono quindi un carattere "anticipatorio", tipico ad esempio dell'eco-ansia. in altri casi, invece, sono più orientate al passato, come i sentimenti di colpa rivolti verso un danno ambientale già avvenuto

ECO-ANSIA
Ansia legata alla crisi ecologica. Può manifestarsi con preoccupazioni rivolte al futuro, attacchi di panico, difficoltà a dormire, irritabilità, perdita di appetito.

ECO-ANSIA

ANSIA DA CAMBIAMENTO CLIMATICO

Ansia legata specificamente alla percezione del rischio esistenziale e della perdita di sicurezza derivate dalla crisi climatica.

PREOCCUPAZIONE DA CAMBIAMENTO AMBIENTALE

È una componente dell'ansia che riguarda i processi del pensiero, che si focalizza sulle problematiche legate alla crisi ambientale occupando molto tempo e impattando sul benessere dell'individuo.

ECO-COLPA ED ECO-VERGOGNA

Emozioni appartenenti alla sfera della tristezza, possono portare ad autosvalutazione e tendenza evitare situazioni in cui ci si sente giudicati.

ECO-PAURA

Emozione appropriata di fronte alla percezione di un pericolo, può portare all'attivazione di comportamenti pro-ambientali come il ritiro e l'inazione.

ECO-PARALISI

Apparente stato di apatia conseguente all'eco-ansia, da non confondere con la mancanza di preoccupazione. Riflette il senso di impotenza nell'affrontare le enormi sfide eco-climatiche.

ECO-RABBIA

Rabbia rivolta verso le persone o istituzioni che sono considerate responsabili della crisi eco-climatica o che non adottano risposte adeguate. È associata all'adozione di comportamenti pro-ambientali e a un minore malessere psicologico.

LUTTO ECOLOGICO

Dolore associato a perdite ecologiche fisiche, o alla perdita di identità culturale legata al territorio, o alla prospettiva di perdite future. A seconda dell'elaborazione, può innescare processi sia di azione che di ritiro.

SOLASTALGIA

Il disagio causato dalla graduale perdita di conforto del proprio ambiente e territorio di origine a causa del suo progressivo degrado. Compromette il senso di appartenenza e di identità.

ECO-BURNOUT

Sensazione di sopraffazione data dalla sovrastimolazione e sovraesposizione a notizie legate alla crisi eco-climatica. Comune soprattutto fra scienziati e attivisti.

STRESS AMBIENTALE

Da non confondere con un'eco-emozione. Termine generale per definire gli impatti psicofisici dovuti a condizioni ambientali sfavorevoli (inquinamento, rumore, affollamento).

STATI MENTALI

Oltre a emozioni vere e proprie, troviamo elencati anche “stati mentali”, cioè condizioni particolari in cui si trova il nostro pensiero. La **preoccupazione da cambiamento climatico** (*climate change worry*), ad esempio, è una condizione di rimuginazione - cioè i famosi “**pensieri che girano nella testa**” senza poter essere ferma-

ti - sui problemi correlati alla crisi eco-climatica. Anche questa condizione ha un significato inizialmente adattivo, cioè è il tentativo del nostro cervello di risolvere in maniera logica un problema da cui poi però potremmo non sapere più come uscire. Come per le emozioni negative, anche la preoccupazione intensa o prolungata può portare a disturbi fisici come mal di testa, tensione muscolare, difficoltà a dormire e disturbi digestivi.

ECO-COLPA

- Orientato al passato
- Si concentra sul “danno” creato
- Può essere indotta dall'esterno
- Ostacola il cambiamento

VS

SENSO DI RESPONSABILITÀ

- Orientato al futuro
- Si concentra sulla possibile soluzione
- Nasce da una presa di coscienza interiore
- Stimola il cambiamento

ECO-ANSIA E ANSIA CLIMATICA

Una distinzione importante da fare riguarda le parole che vengono usate: con il prefisso “eco-” si intende che l'emozione riguarda la crisi ambientale in generale (dal riscaldamento globale all'inquinamento da plastica, dalla perdita di biodiversità agli eventi climatici estremi), con l'aggettivo “climatica”, invece, si intende che l'emozione è relativa solo alle alterazioni del clima. Per esempio, una persona che normalmente non è turbata

dalla crisi ecologica potrebbe comunque trovarsi in uno stato di forte ansia climatica in seguito a un evento climatico estremo. Spesso questi due aspetti si sovrappongono, e alcune ricerche preliminari suggeriscono che la sola “ansia acuta” sia inutile nel farci adottare comportamenti pro-ambientali. Un po' come a scuola: tralasciare i compiti per fare una maxi-studiata la notte prima dell'esame ci fa stare male e ci garantisce risultati peggiori.



Foto: Jonas Svidras da Pixabay

PROSPETTIVA: SÌ, MA QUALE?

La crisi eco-climatica è anche una crisi di prospettiva. Proviamo infatti a immaginare di avere una macchina fotografica e di essere in uno spazio naturale: per i nostri cervelli, pensare alla crisi climatica è come cercare di tenere a fuoco contemporaneamente il fiore ai nostri piedi e la montagna sullo sfondo. Si tratta cioè di **un fenomeno così esteso nel tempo e nello spazio** (il filosofo Timothy Morton lo definisce un “iperoggetto”) **da poter difficilmente essere osservato nella sua interezza in un solo momento**. L'immagine completa sembra inafferrabile. Pensiamo ad esempio al gigantesco ventaglio di eventi che questa crisi comprende: la grandinata anomala che distrugge il nostro giardino, l'isola di plastica nell'Oceano Pacifico, la nonna che d'estate non può uscire di casa per il caldo estremo, le alluvioni in Pakistan, l'aria insalubre della Pianura Padana in inverno, la perdita di habitat degli orsi polari, e via dicendo. **Tutti questi eventi hanno chiaramente una diversa risonanza emotiva** a seconda di dove ci

troviamo nel mondo e del legame che ci unisce all'oggetto danneggiato, il che ci fa mettere a fuoco con più facilità quei pezzi di inquadratura (per tornare alla metafora della macchina fotografica) che per un motivo o per l'altro ci stanno più a cuore. Questo effetto vale anche per la scala temporale. Pensare alla crisi climatica ci costringe infatti a tenere a fuoco contemporaneamente un orizzonte temporale vastissimo: dal presente del *business-as-usual* alla prospettiva di vita di un bambino nato nel 2024, che verosimilmente arriverà a fine secolo e chissà come ci immaginiamo la vita oltre quella soglia.

TENERE INSIEME I PEZZI

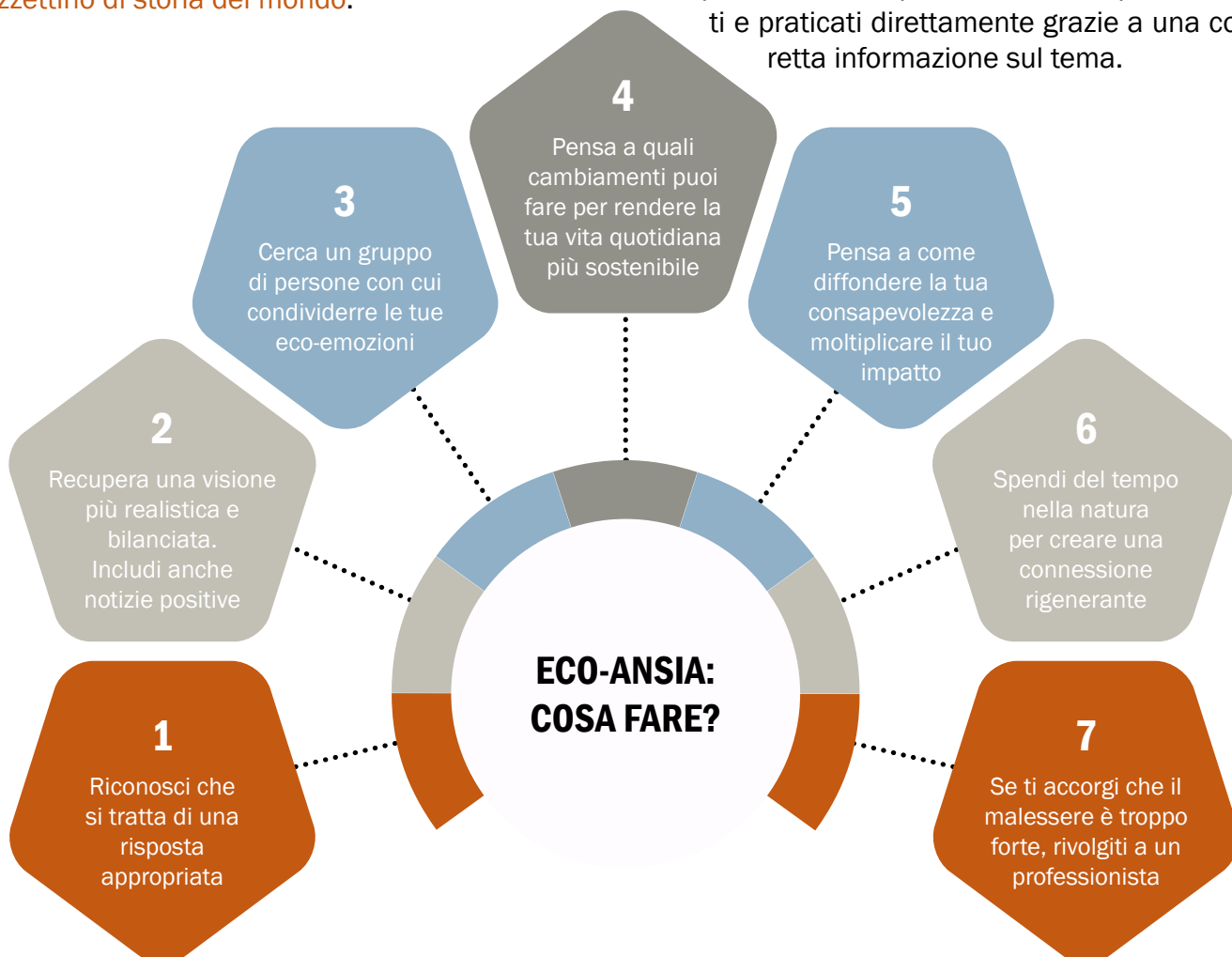
Potremmo anche dire che ci troviamo di fronte a una crisi di integrazione, intendendo la capacità psicologica di tenere insieme in maniera coerente diverse parti di sé, rappresentazioni mentali o sentimenti anche contraddittori. **La consapevolezza della crisi eco-climatica**, infatti, **sollecita una stessa persona in tanti modi**: come cittadini possiamo provare rabbia per la mancanza di

azione politica (e quindi voglia di lasciar perdere l'impegno individuale), **come genitori** possiamo sentirci in colpa e angosciati per il futuro dei nostri figli (e quindi sentire di volere agire in ogni modo possibile), **come lavoratori-consumatori** possiamo provare il desiderio di fare acquisti e sentire di meritarcì una bella crociera senza pensare alle emissioni che produce. Sono tutti sentimenti validi. Allo stesso modo, potremmo trovarci a cambiare spesso opinione riguardo ad alcune politiche ambientali o a non sapere più in quale soluzione crediamo davvero, perché ci sembra di credere a tutte e non credere a nessuna allo stesso tempo. La nostra visione del futuro potrebbe cambiare da estremamente positiva a estremamente pessimistica, così come la percezione della nostra capacità di fare qualcosa di utile. In questa situazione di **disorientamento emotivo e cognitivo**, la capacità di "tenere insieme" le diverse sfaccettature non è un dato secondario da lasciare in pasto allo psicoanalista: **è proprio "tenendoci" insieme** e cercando di volta in volta una narrazione più coerente della nostra esistenza **che inizieremo a riscrivere anche il nostro pezzettino di storia del mondo.**

COSA FARE?

"Ma allora, cosa possiamo fare?". Questa domanda rappresenta un punto di svolta importantissimo: si passa all'azione. È una domanda che spesso viene posta col timore di sentirsi dire che non c'è molto da fare, oppure che le soluzioni sono tutte troppo lontane e poco praticabili. Ricevere una risposta di questo tipo, in effetti, potrebbe farci cadere in uno stato di eco-paralisi. Per fortuna, la scienza ci ricorda che **la realtà è piena di soluzioni praticabili** e in un certo senso si potrebbe dire anziché "non c'è più nulla da fare" che "c'è tutto da fare". **Riconoscere le proprie eco-emozioni** può essere un punto di svolta fondamentale per capire come risponde il nostro sistema nervoso in situazioni di pericolo, e iniziare a sbloccare comportamenti via via più adattivi.

La letteratura scientifica individua alcune macro-categorie di **interventi psicologici** per ridurre l'eco-ansia e favorire un maggior benessere psicologico. Se è vero che alcuni di questi interventi possono essere messi in atto solo da terapeuti esperti, molti altri possono essere sperimentati e praticati direttamente grazie a una corretta informazione sul tema.



CONDIVIDERE LE ESPERIENZE

Ad esempio, si ritiene che sia di fondamentale importanza creare delle connessioni sociali che favoriscano la condivisione delle esperienze relative alla crisi eco-climatica. Questo può avvenire coinvolgendo familiari o amicizie di vecchia data, oppure introducendo il tema sul luogo di lavoro.

Inoltre, a seconda delle preferenze di ciascuno, si potrebbero già trovare dei gruppi attivi a livello locale oppure dei forum dedicati online.

Costruire una consapevolezza collettiva, legata anche alle specificità dei singoli territori e contesti di vita, e **trovare un “contenitore” adeguato per le proprie eco-emozioni** aiuta ad alleviare la sensazione di essere soli davanti all’ignoto e riduce i livelli di stress rafforzando la sensazione di auto-efficacia.

RICONNETTERCI CON L’AMBIENTE NATURALE

Un altro intervento considerato poi centrale è la riconnessione con l’ambiente naturale. Un report della Mental Health Foundation ha calcolato che sono sufficienti due ore a settimana dedicate alla natura per sperimentare **effetti positivi sulla salute mentale**. Secondo il report, le esperienze a contatto con la natura avrebbero non solo un potenziale terapeutico, ma anche preventivo sulla salute mentale. Questo a patto che l’esperienza nell’ambiente naturale rispetti **alcune regole**: l’ambiente che scegliamo deve essere in buone condizioni e non degradato, si può scegliere anche un’attività da svolgere in ambiente urbano o a casa a patto che sia ispirata dalla natura, bisogna coinvolgere i cinque sensi e bisogna creare un legame emotivo o dare un significato personale all’esperienza. Seguendo queste indicazioni, ad esempio, una passeggiata in un parco urbano in condizioni scadenti potrebbe non dare i benefici sperati, mentre qualche ora di disegno di un paesaggio naturale sì.



DIFFERENZE IMPORTANTI

Ci sono alcune differenze che è molto importante tenere a mente, quando parliamo di crisi eco-climatica e salute mentale.

DISPARITÀ TRA NORD E SUD DEL MONDO

La prima è che, nonostante gli effetti più drammatici della crisi si siano finora osservati in Paesi del Sud del Mondo, la maggior parte degli studi riguardanti le risposte psicologiche e gli impatti sulla salute mentale è stata condotta altrove (prevalentemente USA, Europa, Canada e Australia). Questo mette in evidenza una forte disparità nella disponibilità di risorse per la ricerca e significa che, di fatto, quello che sappiamo sull'eco-ansia è una **conoscenza costruita sull'esperienza di un gruppo limitato di individui** (persone che su una scala globale hanno un reddito medio-alto, un livello di istruzione più elevato e una vita quotidiana relativamente tranquilla dal punto di vista eco-climatico). Perciò, è di fondamentale importanza che la ricerca su questo tema prenda in considerazione voci ed esperienze differenti, includendo con priorità quelle di chi vive la crisi eco-climatica in prima linea.

DISPARITÀ DI GENERE

Ormai è chiaro che la crisi eco-climatica è un amplificatore di **disuguaglianze, inclusa la disparità di genere**. Non solo si stima che le persone di genere femminile siano più predisposte a sviluppare problemi come ansia e depressione in relazione alla crisi eco-climatica, ma anche che i fenomeni di violenza di genere (come lo sfruttamento sessuale, il matrimonio forzato e le aggressioni domestiche) aumentino con l'aggravarsi della crisi, innescando così conseguenze ancora più gravi sulla salute psicofisica delle donne e delle bambine. L'ONU stima che **l'80% delle persone sfollate per cause eco-climatiche siano donne**. Inoltre, i "lavori di cura" svolti dalle donne le lasciano spesso in situazioni a maggior rischio di aggressione (pensiamo ad esempio il dover camminare chilometri per andare a prendere l'acqua), per non parlare del diffuso svantaggio economico femminile che, aggravato dalla crisi ambientale, promuove pratiche di sfruttamento sessuale e matrimoni forzati.

Un crescente numero di studi evidenzia anche che **la violenza interpersonale sembra legata in maniera diretta all'aumento di temperatura**: una ricerca condotta negli USA nel 2021 ha per esempio calcolato che per ogni 5 °C di aumento medio della temperatura, la percentuale di episodi di violenza sessuale cresceva del 4,5%.

DIFFERENZE INTERGENERAZIONALI

La crisi eco-climatica ci pone di fronte anche a importanti **differenze generazionali**. Come evidenziato da uno studio pubblicato su Science nel 2020, infatti, **una persona nata nel 2020 sarà esposta a un numero di eventi estremi da 4 a 7 volte maggiore** rispetto a una persona nata nel 1960. Eppure, sono proprio le persone più giovani oggi ad avere **meno potere decisionale** e possibilità di impatto sulle scelte di governi e grosse organizzazioni, riportando perciò **elevati livelli di rabbia e frustrazione**. Nello studio che è diventato poi una pietra miliare della ricerca sull'eco-ansia nelle giovani generazioni, emergeva come su 10.000 partecipanti in 10 Paesi diversi del mondo e di età compresa fra i 16 e i 25 anni, circa il 60% si diceva molto o estremamente preoccupato per il cambiamento climatico, e per il 45% del campione la preoccupazione aveva delle ricadute sulla vita quotidiana. Ed è sempre la prospettiva di un futuro incerto a impattare sulla salute mentale e sulle scelte riproduttive di genitori e aspiranti tali: si stima che il fenomeno *No future, No kids* - non avere figli o averne di meno per motivi climatici - riguardi oggi circa un cittadino americano under 45 su tre.



AGIRE PER L'AMBIENTE

La chiave di volta nel superare una situazione di eco-ansia sembra poi essere l'azione: se ci attiviamo con comportamenti pro-ambientali, costruiamo quella che l'autrice Joanna Macy chiama "speranza attiva", cioè una speranza che deriva dal fatto di innescare direttamente dei cambiamenti positivi. Le ricerche attuali indicano che **una spinta fondamentale all'azione viene data dal provare sentimenti di eco-rabbia**: un'emozione importantissima e spesso svilita o sottovalutata, che invece è dotata di grande potere trasformativo. Le azioni ambientali che ciascuno di noi può mettere in atto sono tantissime, e si può davvero dire che ce ne siano per tutti i gusti e per tutte le tasche. Un aspetto importante da tenere a mente è la distinzione fra azioni individuali (come ad esempio passare a una dieta *plant-based* o installare i pannelli fotovoltaici) e azioni collettive (come unirsi a un gruppo di attivismo, a un'associazione o fare educazione e informazione).

Le **azioni individuali**, infatti, hanno la caratteristica di essere più "a portata di mano", possono rappresentare per noi un maggior valore aggiunto alle nostre vite quotidiane, ma il loro impatto – a fronte anche di un significativo sforzo – è senza dubbio minore. Le azioni collettive, invece, possono richiedere un maggior sforzo nell'uscire dalla propria zona di comfort (ad esempio trovando il tempo necessario e conoscendo persone nuove), possono dare la sensazione di essere poco concludenti dal punto di vista concreto, ma hanno il pregio indiscusso di mettere in moto un cambiamento sociale e culturale di portata più ampia. Trovare il giusto equilibrio fra queste due componenti, a seconda delle preferenze e possibilità individuali, può **ridurre la sensazione di impotenza di fronte alla crisi** e aiutare sia il nostro benessere psicologico che il pianeta.

E SE ANDASSI IN TERAPIA?

A livello psicoterapico, alcuni punti chiave su cui lavorare sono l'**elaborazione del lutto** per un ambiente naturale che va via via degradandosi (spesso con perdite molto significative a livello personale) e la creazione di una **cornice di significato esistenziale** con cui inquadrare meglio la nostra esperienza di vita in questa strana epoca.

Anche il **bilanciamento dei pensieri "tutto bianco/tutto nero"**, sostenuto da una visione più realistica e flessibile, è incoraggiato per recuperare uno stato di benessere. Per i professionisti della salute mentale è poi di fondamentale importanza formarsi sul tema e farsi promotori di un'educazione scientificamente informata e in costante aggiornamento.

LA SFIDA DEL CAMBIAMENTO

La sfida che ci attende nel presente e negli anni a venire non riguarda solo aspetti tecnici come la transizione energetica o l'abbandono della plastica. Come sostiene il giornalista Ferdinando Cotugno, il **cambiamento climatico è anche un cambiamento mentale**, che dovrà avvenire e sta già avvenendo. Le eco-emozioni non sono altro che le spie di allarme che ci segnalano che qualcosa non va, e laddove le vecchie soluzioni non sono efficaci, bisognerà trovare nuove strategie anche psicologiche per ripensare i nostri rapporti all'interno dell'ecosistema che ci ospita e ci sostiene.

Maria Da Re

Medico Specializzando in Psichiatria
Università degli Studi di Udine

Il contenuto di questo articolo è frutto del punto di vista originale dell'autrice e non riflette necessariamente la posizione dell'Università degli Studi di Udine o della Scuola di Specializzazione in Psichiatria di Udine su tali argomenti.



AGIRE PER IL CLIMA

AGIRE PER IL CLIMA

Mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici

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.

Si tratta quindi di da un lato di ridurre, con la MITIGAZIONE, le emissioni dei gas che aumentano l'effetto serra, causa principale dell'attuale rapidissimo aumento delle temperature a scala planetaria; dall'altro di giocare d'anticipo per ridurre i rischi e cogliere eventuali opportunità derivanti dai cambiamenti climatici nel nostro territorio, attraverso l'ADATTAMENTO.

Sono due linee di azione entrambe indispensabili e complementari, che in Friuli Venezia Giulia si stanno concretizzando attraverso diverse iniziative. In questa sezione ne presentiamo alcune avviate a livello istituzionale.



ATTIVITÀ DELLA REGIONE FVG SULL'ADATTAMENTO CLIMATICO NEL 2023

Continua l'impegno dell'Amministrazione regionale nella mitigazione e nell'adattamento ai cambiamenti climatici intrapreso con la legge regionale "FVGreen". Nel 2023 ha avviato ulteriori iniziative a supporto dell'adattamento, cogliendo anche le opportunità offerte da diversi progetti europei.

Foto: Stefano Fabian

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia è impegnata in diverse iniziative progettuali per l'adattamento ai cambiamenti climatici, che affiancano e integrano il percorso istituzionale avviato con la Legge regionale "FVGreen" (L.R 4/2023). La legge prevede la redazione della Strategia regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, a cui verrà data attuazione attraverso il successivo Piano regionale per il clima.

BANDO VERDE URBANO 2023 PER I COMUNI: CONTRIBUTI PER MISURE DI ADATTAMENTO CLIMATICO A LIVELLO URBANO

Nel 2023 è stato pubblicato nuovamente, con l'assestamento del bilancio per gli anni 2021-2023, il bando regionale per la concessione dei contributi per la progettazione e l'esecuzione di interventi di realizzazione o di riqualificazione di **aree verdi nei centri abitati**.

Lo scopo degli interventi finanziati è di promuovere un approccio al verde urbano che sia in grado di contribuire al raggiungimento degli obiettivi europei, nazionali e locali concernenti la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, con particolare riferimento agli **eventi alluvionali estremi**, alle **ondate di calore**, all'**inquinamento**, alla **perdita di habitat** e di **biodiversità**, nonché al **consumo e al degrado del suolo**.

Quattro sono state le linee di intervento finanziate:

- Infrastrutture blu e reti fluviali – interventi di ritenzione naturale delle acque, gestione sostenibile dei deflussi di pioggia e riduzione del loro impatto, riutilizzo di acqua piovana
- Ripristino della connettività ecologica, la biodiversità urbana inclusa la fauna selvatica
- Realizzazione di infrastrutture verdi
- Parchi e aree verdi

Le domande finanziate sono state 25, per un contributo massimo di € 200.000 per Comune. Tra

le misure più richieste, nei progetti presentati, ci sono state: la realizzazione di **parchi e aree verdi**, la trasformazione di parcheggi per automobili e per biciclette in **parcheggi verdi**, la **depavimentazione di suoli artificiali**.

PROGETTO MOUNT RESILIENCE



Nel settembre 2023, con il kick off meeting tenutosi a Ponte di Legno (BS), ha preso ufficialmente il via, il Progetto Mount Resilience (*Accelerating transformative climate adaptation for higher resilience in European mountain regions*) di cui la Regione è partner tramite il Servizio relazioni internazionali e programmazione europea e la Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile. Si tratta di un Progetto finanziato dal Programma Horizon Europe, interamente dedicato alla montagna.

Il budget di Mount Resilience è di 18 milioni di euro, è coordinato dal Polo UNIMONT (unimontagna.it) dell'Università degli Studi di Milano, durerà 4 anni e sei mesi.

Soluzioni basate sulla natura per l'adattamento ai cambiamenti climatici: parcheggio verde drenante, durante la visita alla città di Mechelen nelle Fiandre, nell'ambito della EU Mission sull'adattamento climatico.



Il progetto mira ad accelerare la **trasformazione resiliente al clima** di dieci tra le comunità e le regioni più rilevanti situate in montagna in nove Paesi europei.

I **47 partner provenienti da 13 Paesi europei** che partecipano al progetto sono chiamati a creare una banca dati delle possibili azioni di adattamento agli effetti del cambiamento climatico nonché proporre politiche efficaci per le comunità e le regioni montane.

I **temi di principale interesse dei comuni montani** sono gli effetti del cambiamento climatico, il consumo idrico in agricoltura, il risparmio e l'efficiamento energetico, l'utilizzo del suolo e la tutela della biodiversità, il turismo invernale.

La regione Friuli Venezia Giulia, con il 43% della superficie regionale situata in zona montana, è particolarmente esposta agli impatti del cambiamento climatico nelle aree montane.

Nel 2024 si definiranno gli ambiti di lavoro dei partners regionali con altri soggetti partners chiamati a definire e attuare azioni dimostrative.

MISSION ON ADAPTATION E ASSISTENZA TECNICA MIP4ADAPT



Nel 2023 sono continuate le attività nell'ambito della Missione UE "Adattamento ai cambiamenti Climatici", a cui la Regione ha aderito con DGR n. 1748/2022.

La Regione ha aderito al pacchetto di tre misure di **assistenza tecnica offerte dalla Mission Implementation Platform** (MIP4Adapt) alle regioni che ne fanno parte.

La Regione beneficerà di supporto tecnico offerto da un team di società di consulenza, esperte nell'adattamento climatico, per perseguire questi obiettivi:

- Passare **dalla valutazione del rischio allo sviluppo di percorsi di adattamento** e possibilmente

a un piano di adattamento climatico con finanziamenti. La metodologia adottata sarà coerente con le sei fasi previste dallo strumento di supporto dell'adattamento della Piattaforma Climate Adapt

- Identificazione di **progetti dimostrativi di adattamento** al clima e accesso ai relativi fondi e finanziamenti
- Stimolare **la mobilitazione e l'impegno dei cittadini e degli stakeholders** nella creazione di percorsi trasformativi verso la resilienza climatica.

STRUMENTO DI SUPPORTO DELL'ADATTAMENTO

È disponibile sulla Piattaforma Climate Adapt climate-adapt.eea.europa.eu/it e prevede 6 fasi:

1. Preparare il terreno per l'adattamento;
2. Valutazione dei rischi e delle vulnerabilità legati ai cambiamenti climatici;
3. Individuazione delle opzioni di adattamento;
4. Valutazione delle opzioni di adattamento;
5. Attuazione dell'adattamento;
6. Monitoraggio e valutazione dell'adattamento.

PROGETTO AGORA



Il progetto AGORA <https://www.cmcc.it/it/projects/agora-a-gathering-place-to-co-design-and-co-create-adaptation>, coordinato dal CMCC - Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici - e finanziato dal Programma Horizon Europe 2021-2027, persegue gli obiettivi generali della Missione sull'adattamento ai cambiamenti climatici valorizzando e promuovendo le migliori pratiche, gli approcci innovativi, gli strumenti politici e i meccanismi di governance per coinvolgere in modo efficace le comunità e le regioni nelle azioni per il clima, accelerando e aumentando il processo di adattamento.

In particolare AGORA promuove la partecipazione e l'impegno dei cittadini e degli *stakeholder* nella co-progettazione di soluzioni di adattamento innovative, stimolando processi di trasformazione

della società in diversi contesti sociali, economici e politici attraverso strumenti e approcci transdisciplinari. AGORA promuoverà quindi la democrazia, la giustizia climatica, l'uguaglianza di genere, l'equità e favorirà la capacità di adattamento e l'empowerment dei cittadini per supportare in modo proattivo i processi decisionali.

La Regione ha aderito come ente pilota per attuare un'azione di coinvolgimento dei portatori di interesse sul tema dell'adattamento nell'uso delle risorse idriche. La proposta concordata tra la Direzione ambiente, energia e sviluppo sostenibile e il CMCC, è di **coinvolgere gli stakeholders nel settore delle risorse idriche** e delle misure di

adattamento, per arrivare a un evento pubblico di discussione delle opzioni di adattamento nell'autunno 2024. Il CMCC supporterà la Regione nell'organizzazione dell'evento e nelle metodologie per un efficace dialogo con gli *stakeholder*.

Nell'ambito delle risorse idriche, si affronterà il problema dei prelievi acquiferi nei pozzi artesiani e la tema la sempre maggiore scarsità della risorsa idrica, mentre con i pozzi artesiani si arriva a sprecare fino a 1 miliardo di mc di acqua all'anno.

Silvia Stefanelli

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia



Foto: Silvia Stefanelli



Foto: Silvia Stefanelli

Soluzioni basate sulla natura per l'adattamento ai cambiamenti climatici: area pedonale rivegetalizzata, durante la visita alla città di Mechelen nelle Fiandre, nell'ambito della EU Mission sull'adattamento climatico.



LA CO₂ IN ATMOSFERA: DALLA PREISTORIA, ALL'OGGI, AL FUTURO

La concentrazione di CO₂ in atmosfera è variata nel tempo e ha subito nell'epoca moderna un aumento senza precedenti negli ultimi 2 milioni anni, dovuto alle emissioni generate dalle attività umane e causa principale dell'attuale riscaldamento globale. È possibile oggi sapere quanta CO₂ c'era in passato, quanta ce n'è ora e quanta ce ne potrà essere in futuro nei diversi scenari di sviluppo: una conoscenza importante per capire la relazione tra CO₂ e temperatura del nostro pianeta e per scegliere il nostro futuro climatico.

Foto: Noah Haggerty da Pixabay

Quanta CO₂ c'è oggi nella nostra atmosfera? È più abbondante che in passato? E se sì, di quanto? Come varierà la concentrazione di questo gas in futuro? Sono domande importanti, dato il collegamento tra la concentrazione atmosferica di questo gas e la temperatura del nostro pianeta.

La CO₂ (anidride carbonica, biossido di carbonio) è il più abbondante tra i cosiddetti "gas serra", dopo il vapore acqueo, il quale è naturalmente presente in atmosfera ed è protagonista di uno dei processi di retroazione più rilevanti per i cambiamenti climatici (di cui ci parla Filippo Giorgi nel suo articolo su **I PROCESSI DI "FEEDBACK" CHE AMPLIFICANO IL RISCALDAMENTO GLOBALE**, pag. 39).

L'IPCC, nel suo sesto rapporto di valutazione (prima parte, "Le basi fisico-scientifiche", 2021) https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf, evidenzia che la concentrazione di CO₂ nella nostra atmosfera ha raggiunto **livelli che non hanno precedenti negli ultimi due milioni di anni**. Dal 1750 l'incremento della sua concentrazione ha largamente superato le variazioni naturali che sono avvenute, nell'arco di molti millenni, tra i periodi glaciali e interglaciali negli ultimi 800.000 anni: questo aumento è inequivocabilmente causato dalle attività umane ed è strettamente correlato all'aumento della temperatura a scala planetaria.

Possiamo tutti conoscere la concentrazione della CO₂ in tempo reale e il suo andamento nel tempo consultando i dati rilevati quotidianamente dall'Osservatorio del Mauna Loa e i grafici messi a disposizione sul sito "*The Keeling Curve*" keelingcurve.ucsd.edu.

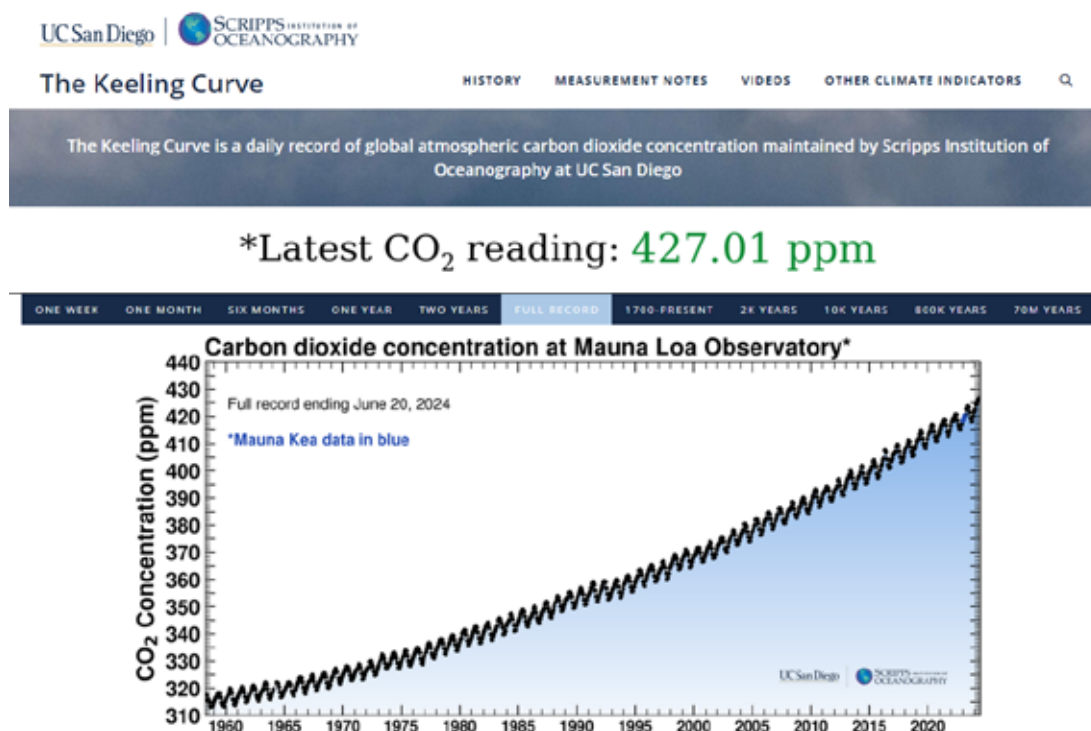
LA CO₂ MISURATA DIRETTAMENTE DAL 1958

L'Osservatorio del Mauna Loa è situato sul versante nord dell'omonimo vulcano, sull'isola di Hawaii, a un'altitudine di 3397 metri sul livello del mare. È una struttura d'eccellenza per la ricerca sull'atmosfera, che monitora con continuità dagli anni '50. La sua collocazione remota, in un sito

dove è minima l'influenza della vegetazione e dell'attività umana, ne fanno un centro ideale per monitorare le componenti dell'atmosfera che possono causare il cambiamento climatico.

Sul sito di *The Keeling Curve* - che prende il nome da Charles David Keeling, il fondatore dell'Osservatorio che avviò le misurazioni della CO₂ atmosferica nel 1958 - possiamo vedere **in tempo reale** il più recente dato di **concentrazione della CO₂ atmosferica** e visualizzarlo nell'ambito di diversi intervalli temporali: una settimana, un mese, sei mesi, un anno, due anni e l'intera serie delle osservazioni dirette effettuate dal 1958, a cura della *Scripps Institution of Oceanography della University of California San Diego*.

Risulta evidente il **progressivo aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera**, al di là di una oscillazione ciclica che si osserva nell'arco di ogni anno. Quest'ultima è dovuta alla **variazione stagionale** nell'assorbimento dell'anidride carbonica da parte della vegetazione terrestre, che è più abbondante nell'emisfero nord del nostro pianeta, dove si trova la maggior parte delle terre emerse. L'assorbimento dell'anidride carbonica da parte della vegetazione terrestre è quindi più intenso durante la primavera e l'estate settentrionali, quando le piante effettuano maggior fotosintesi; si riduce invece in autunno e d'inverno.



Andamento della CO₂ in atmosfera dal 1958, con la lettura più recente disponibile al 14 giugno 2024. Fonte: *Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego* <https://keelingcurve.ucsd.edu/>.

PIÙ INDIETRO NEL TEMPO

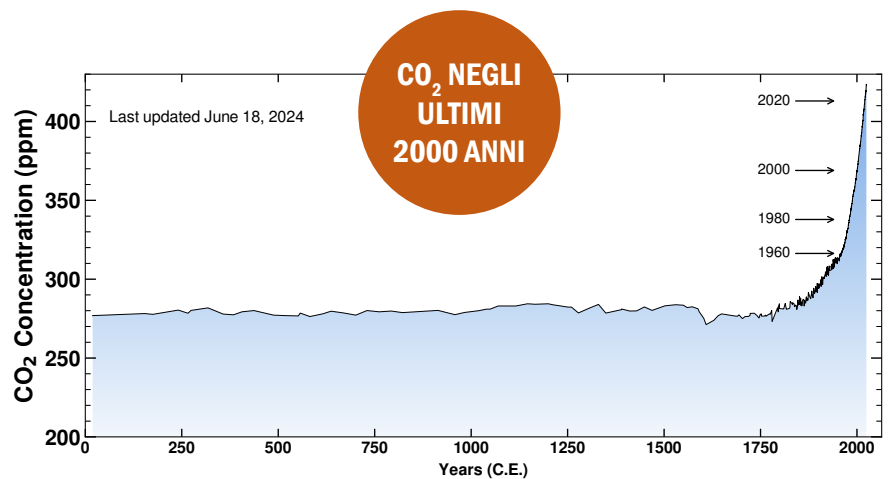
Il sito di *The Keeling Curve* ci consente anche di viaggiare più indietro nel tempo, perché con diverse tecniche è stato possibile ricostruire la concentrazione della CO₂ atmosferica in epoche precedenti all'inizio delle misure effettuate dall'Osservatorio del Mauna Loa.

Ad esempio, possiamo vedere l'andamento della CO₂ negli ultimi 2000, 10.000 e 800.000 anni, ricavato dall'analisi di bolle d'aria contenute nelle carote dighiaccio (di cui ci parla anche Renato R. Colucci nel suo articolo sui paleoclimi **I GHIACCI RACCONTANO: ESPORARE I CLIMI DEL PASSATO CON I METODI DELLA PALEOCLIMATOLOGIA**, pag. 55).

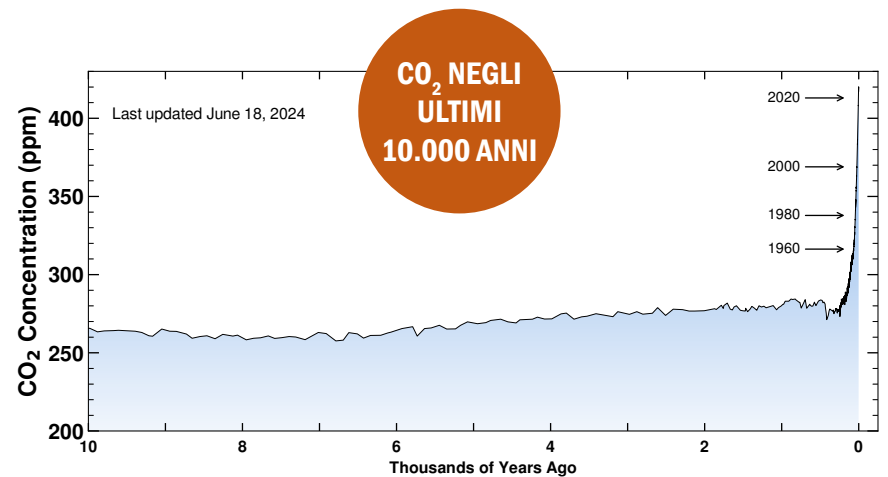
Troviamo quindi conferma al fatto che l'aumento della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera verificatosi dall'inizio dell'epoca industriale e la sua impennata dalla metà del secolo scorso rappresentano un picco eccezionale rispetto ai millenni in cui si sono sviluppate le civiltà umane e non trovano precedenti analoghi neppure nelle oscillazioni multi-millenarie degli ultimi 800.000 anni.

La CO₂ in atmosfera raggiunge oggi valori del 50% più elevati rispetto a quelli dell'epoca preindustriale.

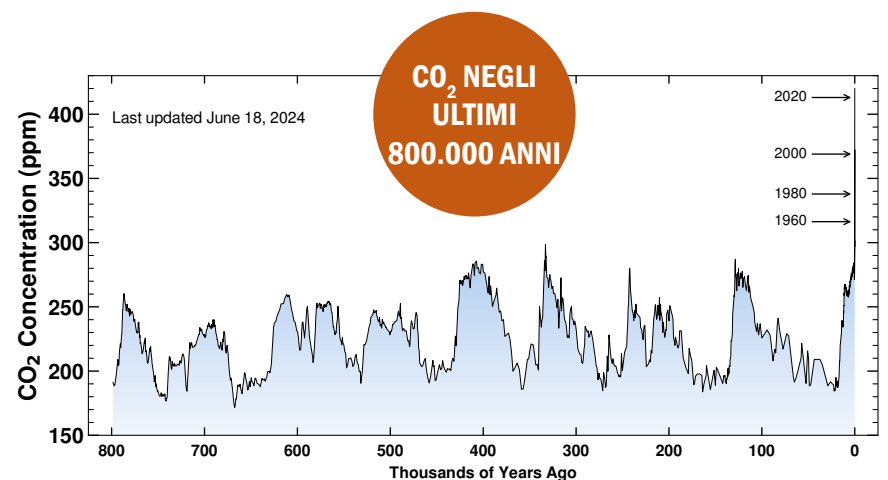
Il più recente rapporto dell'IPCC (prima parte, 2021, a cura del Gruppo di lavoro 1), basato sull'analisi e valutazione di più di 14.000 pubblicazioni scientifiche, analizza anche questi aspetti ed evidenzia come l'aumento della concentrazione dei gas serra, dovuto alle emissioni antropiche, sia la causa dell'aumento della temperatura globale, che nel decennio 2010-2019 è risultata di 1,1 °C più alta rispetto alla media del periodo 1850-1900.



Concentrazione della CO₂ atmosferica negli ultimi 2000 anni (unità di misura: anni d.C.). Fonte: *Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego*, <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, su dati tratti da: Law Dome Ice Core 2000-Year CO₂, CH₄, N₂O and d13C-CO₂, <https://data.csiro.au/collection/csiro:37077> DOI: <https://data.csiro.au/collection/csiro%3A37077v2>

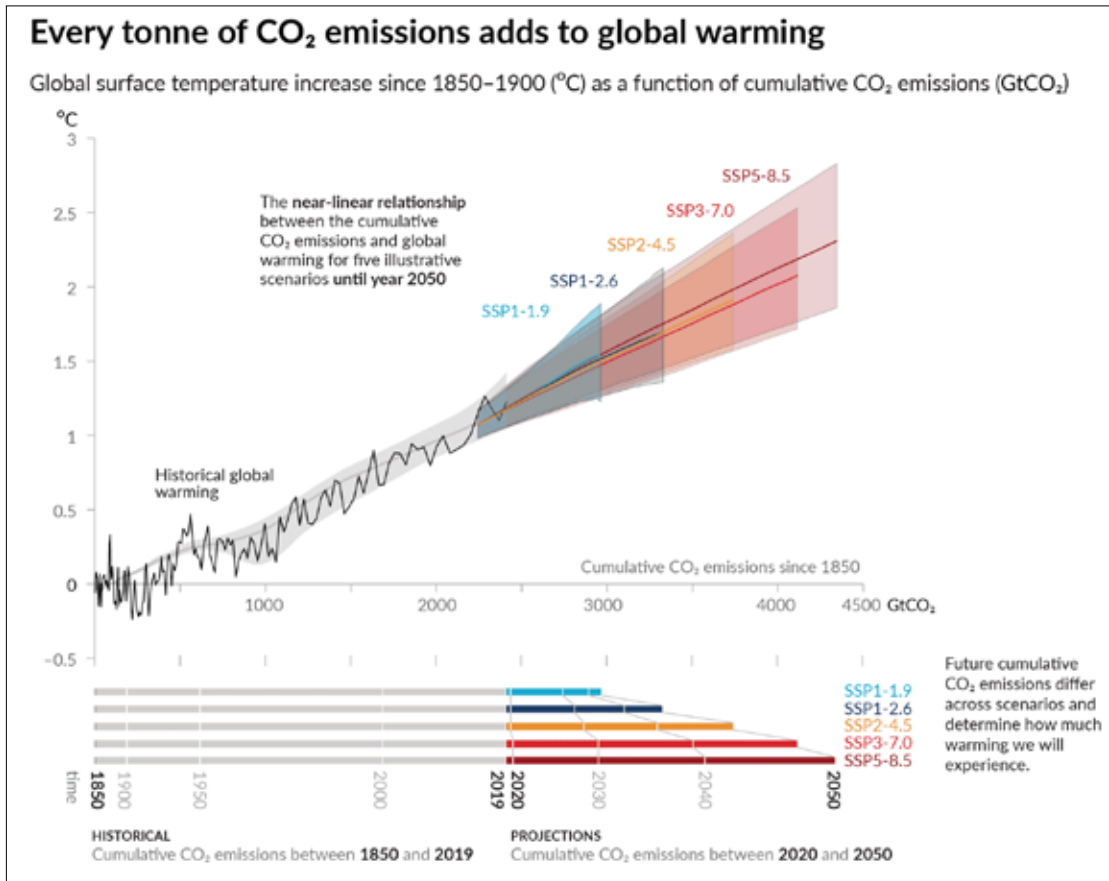


Concentrazione della CO₂ atmosferica negli ultimi 10.000 anni (unità di misura: anni d.C.). Fonte: *Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego*, <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, su dati tratti da: EPICA Dome C - 800KYr CO₂ Data, <https://www.ncei.noaa.gov/access/paleo-search/study/6091>, DOI: <https://www.nature.com/articles/nature06949>



Concentrazione della CO₂ atmosferica negli ultimi 800.000 anni (unità di misura: anni d.C.). Fonte: *Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego*, <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, su dati tratti da: EPICA Dome C - 800KYr CO₂ Data, <https://www.ncei.noaa.gov/access/paleo-search/study/6091>, DOI: <https://www.nature.com/articles/nature06949>

OGNI TONNELLATA DI EMISSIONI DI CO₂ CONTRIBUISCE AL RISCALDAMENTO GLOBALE



Relazione quasi lineare tra le emissioni di CO₂ cumulate nel tempo e l'aumento della temperatura superficiale globale. Le emissioni future di CO₂ differiscono per i diversi scenari socio-economici (SSP) considerati e determinano l'entità del riscaldamento globale che sperimentiamo. Fonte: Figure SPM.10 in IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-10](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-10).

E IN FUTURO? DIPENDE DA NOI

Il sesto rapporto di valutazione dell'IPCC, nel volume curato dal Gruppo di Lavoro 1 sulle basi fisico-scientifiche dei cambiamenti climatici, ci mostra come **potranno variare le emissioni di CO₂ in futuro**, a seconda dei **diversi scenari di sviluppo socio-economico** che l'umanità sceglierà di percorrere. Alle traiettorie con più alti livelli di emissioni corrispondono **proiezioni climatiche** con i più estremi valori di aumento delle temperature globali, con l'aggravarsi di tutti i fenomeni correlati: alterazione delle precipitazioni, fusione dei ghiacci marini e continentali, innalzamento del livello dei mari, intensificarsi degli eventi estremi. I diversi scenari emissivi influenzeranno anche il clima futuro del Friuli Venezia Giulia, come possiamo vedere nell'articolo di Valentina Gallina sulla **PIATTAFORMA DELLE PROIEZIONI CLIMATICHE PER IL NORD-EST: UNO STRUMENTO PER CONOSCERE E PROGETTARE IL FUTURO DEL FVG** (pag. 29).

La **CO₂ permane in atmosfera per tempi molto lunghi**: al di là dello scambio di molecole di CO₂ tra atmosfera e oceani, la quantità in eccesso

di biossido di carbonio rimane in circolazione nell'atmosfera per centinaia di anni. Questo è il motivo per cui è così importante il **"quando"** si ridurranno le emissioni di gas serra, oltre che il **"quanto"**.

Perciò è così urgente e cruciale agire per la **"mitigazione"**, ossia la riduzione delle emissioni di gas climalteranti, in modo da raggiungere quanto prima la **neutralità climatica**: una condizione con "zero emissioni nette", in cui le emissioni residue di gas serra saranno bilanciate da quelle che potranno essere assorbite dall'atmosfera, ad esempio attraverso la crescita delle foreste.

In questa direzione si sta muovendo la Regione autonoma Friuli Venezia Giulia, con le azioni previste dalla Legge Regionale "FVGreen" per giungere alla neutralità climatica nel 2045 e con il supporto tecnico-scientifico di ARPA FVG nello sviluppo di un sistema che consenta di quantificare le emissioni di gas serra nella nostra regione.

L'INVENTARIO DEI GAS CLIMALTERANTI IN FVG PER SUPPORTARE LE DECISIONI

Per scegliere le azioni di “mitigazione” dei cambiamenti climatici più adatte e monitorarne nel tempo l'efficacia è necessario sviluppare un sistema di contabilizzazione delle emissioni di gas serra. In FVG la Regione ha messo le basi di tale sistema a partire dall'esperienza già maturata dall'Agenzia con INEMAR, l'inventario delle emissioni di inquinanti atmosferici.

Foto: Ralf Vetterle da Pixabay

Le proiezioni climatiche per il Friuli Venezia Giulia - delineate nello [Studio Conoscitivo del 2018](#) coordinato da ARPA FVG e ora disponibili, anche per ogni singolo Comune e località, sulla Piattaforma delle Proiezioni Climatiche per il Nord-Est [clima.arpa.veneto.it](#) non lasciano dubbi sull'evoluzione del clima nei vari scenari possibili. Nel caso più virtuoso, quello in cui le emissioni globali di gas climalteranti venissero rapidamente e drasticamente diminuite (secondo i dettami dell'Accordo di Parigi), nella nostra regione le temperature continueranno a crescere fino a metà secolo, ma poi si stabilizzeranno e a fine secolo l'anomalia termica rimarrà entro 1/2 °C in inverno e 2/3 °C in estate. La proiezione più pessimistica (*business as usual*) prospetta dati molto più allarmanti, con aumenti di temperatura che arrivano a 5/6 °C.

LA LOTTA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI E IL BISOGNO DI CONOSCENZA

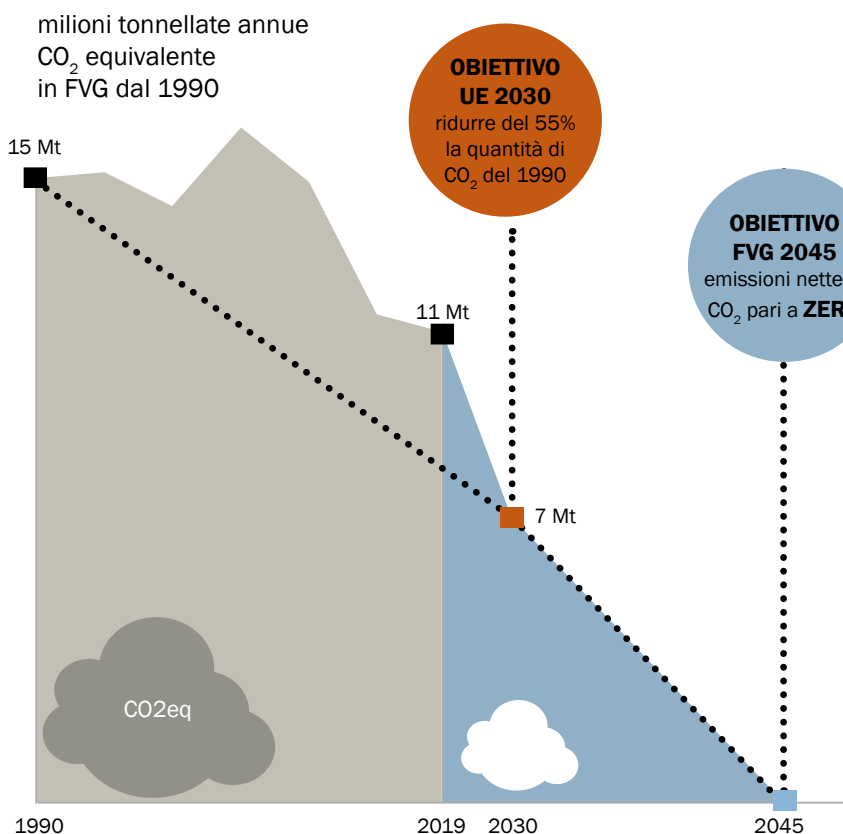
Se appare quindi evidente a tutti la necessità di attuare politiche di riduzione delle emissioni di gas climalteranti (la cosiddetta “mitigazione”) non altrettanto chiaro è su quali azioni sia più efficace agire, e come verificarne gli effetti.

Per fare questo è necessario sapere esattamente **da dove provengono i gas climalteranti** (i cosiddetti gas serra o GHG), quali sono i processi antropici da cui scaturiscono e **i comparti naturali che possono assorbirli** (i cosiddetti “carbon sink”), e **misurare** il contributo che ciascun comparto può dare per la loro riduzione.

Servono cioè strumenti di conoscenza, che diano un quadro della situazione, delle aree più critiche, delle opportunità e delle risorse del nostro territorio, in modo da permettere di fare le scelte più efficaci e di verificarne gli effetti nel tempo in modo appropriato e trasparente.

Tale bisogno di conoscenza viene chiaramente espresso e affrontato a livello regionale nella recente legge FVGreen.

OBIETTIVI FVG RIDUZIONE CO₂ EQUIVALENTE



Dati indicativi ricavati dall'inventario delle emissioni in atmosfera di ISPRA.

LA LEGGE REGIONALE FVGREEN

Con la LR 4/2023 FVGreen - *Disposizioni per lo sviluppo sostenibile e la transizione ecologica del Friuli Venezia Giulia* la Regione FVG si impegna, e impegna il territorio regionale, ad affrontare la transizione ecologica nell'ottica della sostenibilità ambientale e dell'utilizzo consapevole delle risorse naturali.

La legge FVGreen, infatti, oltre ad aver definito la **Strategia regionale per lo sviluppo sostenibile**, introduce anche lo strumento della Strategia regionale per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici che costituisce il quadro di orientamento delle politiche regionali in materia.

Quest'ultima Strategia verrà attuata attraverso un successivo **Piano clima regionale**, che delinea le misure e le azioni prioritarie per ciascun settore, la loro fattibilità tecnica ed economica, gli obiettivi specifici, i soggetti attuatori e responsabili, i tempi e la stima delle risorse necessarie.

Il principale obiettivo strategico che la Legge FVGreen si prefigge in termini di mitigazione è quello della **neutralità climatica** ovvero la riduzione a zero **entro il 2045** delle emissioni nette di gas a

effetto serra, raggiungendo l'equilibrio tra le emissioni e gli assorbimenti di tali gas. Tra le varie misure per conseguire questo obiettivo è previsto il coinvolgimento dei Comuni e degli Enti locali tramite la loro adesione al “**Patto dei Sindaci per il clima e l'energia**” e la conseguente predisposizione dei Piani di azione per l'energia sostenibile e il clima (PAESC).

Tra i compiti dettati dalla Legge FVGreen c'è anche l'utilizzo dei dati per **costituire patrimoni informativi** a supporto delle attività di pianificazione e di programmazione di competenza della Regione e delle amministrazioni locali.

Infatti la principale causa del riscaldamento globale sono i gas serra emessi in atmosfera: risulta pertanto di particolare importanza, per ridurre la presenza di queste sostanze, capire come e dove sono prodotte e in quale quantità.

L'INVENTARIO REGIONALE DEI GAS SERRA

La Legge FVGreen ha previsto di monitorare le emissioni di gas serra in Friuli Venezia Giulia per elaborare poi delle azioni mirate di “mitigazione” che agiscano sulle cause del riscaldamento globale; per farlo è necessario predisporre un “**inventario delle emissioni di gas serra**”.

L'inventario **stima il contributo emissivo delle varie sorgenti antropiche**, a esclusione delle combustioni derivanti da sorgenti naturali, come ad esempio la biomassa (legna, pellet e cippato). Per calcolare il bilancio delle emissioni nette di gas a effetto serra, al contributo emissivo sopra descritto **vanno sottratti gli assorbimenti** dati dalla capa-

cià di rimozione da parte del territorio regionale, come gli assorbimenti delle foreste e del suolo.

La stima delle emissioni è condotta secondo la **metodologia** definita dal principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici, ovvero l'**IPCC** - Intergovernmental Panel on Climate Change, nelle sue linee guida per gli inventari nazionali dei gas serra (<https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>). Tale approccio standardizzato permette di rendere le stime di tutti i Paesi confrontabili tra di loro.

Le emissioni e gli assorbimenti di gas serra vengono riportati come aggregati ed espressi in termini di **CO₂ equivalente**.

COS'È LA CO₂ EQUIVALENTE?

Abbiamo visto che i gas serra sono parecchi, e comprendono non solo la CO₂ propriamente detta (prodotta da fenomeni di trasformazione della sostanza organica come la respirazione e la combustione), ma anche il metano (prodotto da fenomeni di fermentazione della sostanza organica in assenza d'aria), gli F-gas (gas utilizzati essenzialmente come liquidi refrigeranti), il protossido di azoto (derivante da processi naturali e antropici).

Non tutti questi gas hanno lo stesso comportamento in termini di “effetto serra” e quindi di alterazione del clima. Per meglio stimare il loro contributo all'effetto serra vengono espressi in termini di CO₂ equivalente (CO₂ eq), utilizzando i valori di potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential - GWP) del singolo gas in rapporto al potenziale dell'anidride carbonica (CO₂).

Moltiplicando il fattore GWP per la quantità del corrispondente gas climalterante si ottiene la CO₂ eq. Come si vede nella tabella seguente, tratta dal 6° report IPCC, il metano è circa 30 volte più dannoso della CO₂ in termini di effetto serra, il protossido di azoto circa 300 volte, gli F-gas dipendono dal tipo, ma possono arrivare a un fattore 10000.

Gas climalterante	Global Warming Potential (GWP 100 years)
Anidride carbonica (CO ₂)	1
Protossido di Azoto (N ₂ O)	273
Metano (CH ₄)	30
Metano Biogenico (CH ₄ b)	da 27 a 30
F-gas	2000-3000 e oltre (dipende dal gas)

I SETTORI DI EMISSIONE DEI GHG

La metodologia proposta dall'IPCC prevede il raggruppamento delle fonti emissive e dei processi di stoccaggio di carbonio in 5 settori principali:

Energia (ENERGY) – emissioni derivanti da esplorazione e sfruttamento di fonti energetiche primarie; conversione delle fonti energetiche primarie in forme energetiche più utilizzabili nelle raffinerie e nelle centrali elettriche; trasmissione e distribuzione di carburanti; utilizzo di combustibili nelle attività produttive, nei trasporti e in sistemi destinati al riscaldamento.

Processi industriali e uso dei prodotti (IPPU Industrial Processes and Product Use) - emissioni derivanti da processi industriali che emettono GHG tramite la produzione di beni materiali (es. fabbricazione di vetro e cemento, industria chimica) e prodotti contenenti gas fluorurati che possono venir emessi tramite il loro utilizzo.

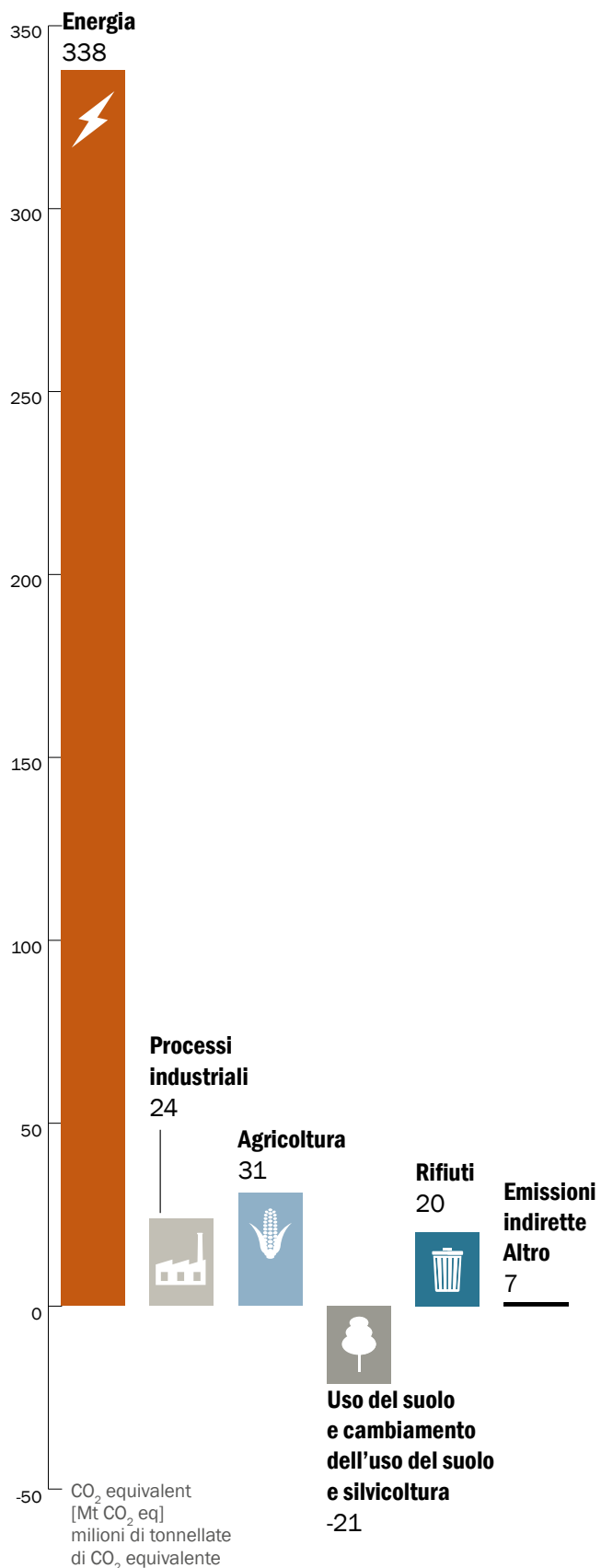
Agricoltura - (AGRICULTURE) - emissioni derivanti da coltivazioni agricole; zone umide gestite e terreni allagati; zootecnia (fermentazione enterica) e sistemi di gestione del letame.

Uso del suolo e cambiamento dell'uso del suolo e silvicoltura (LULUCF Land Use, Land-Use Change and Forestry) – settore che genera soprattutto assorbimenti naturali di CO₂, principalmente grazie alle foreste, ai prati, pascoli e altre terre boscate.

Rifiuti (WASTE) – emissioni derivanti da trattamento e smaltimento dei rifiuti (in particolare gestione delle discariche e trattamento delle acque reflue).

Come illustrato dal rapporto di ISPRA “[Le emissioni di gas serra in Italia. Obiettivi di riduzione al 2030](#)” (maggio 2024) che fa riferimento ai dati del 2022, nel nostro Paese la maggior parte delle emissioni di gas serra deriva dalla produzione di energia (circa l'82%). Seguono le emissioni derivanti dall'agricoltura (7%), dai processi industriali (6%) e dai rifiuti (5%).

FONTI EMISSIVE IN ITALIA 2020 (FONTE ISPRA)

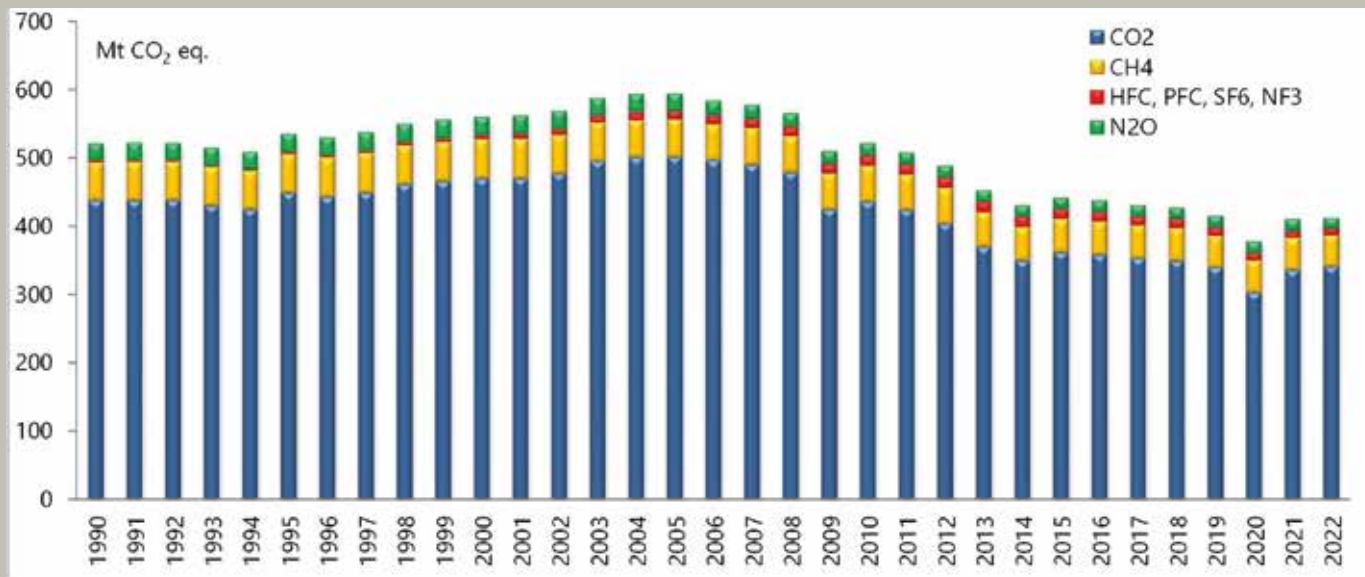


Emissioni di gas serra per settore, inclusi gli assorbimenti del settore “uso del suolo, cambiamento di uso del suolo e silvicoltura” (dati 2022, dal rapporto di ISPRA 2024 “Le emissioni di gas serra in Italia. Obiettivi di riduzione al 2030” <https://www.isprambiente.gov.it/files2024/pubblicazioni/rapporti/rapporto-399-24-le-emissioni-di-gas-serra-in-italia.pdf>)

L'ANDAMENTO DELLE EMISSIONI DI GHG IN ITALIA

Dal 1990 al 2022 in Italia le emissioni climalteranti sono gradualmente aumentate fino ai primi anni del nuovo secolo, poi il trend si è invertito, evidenziando una diminuzione delle emissioni. Come evidenzia l'ISPRA nel suo più recente rap-

porto "Le emissioni di gas serra in Italia. Obiettivi di riduzione al 2030" (2024), la diminuzione delle emissioni di CO₂ è dovuta principalmente alla riduzione delle emissioni osservata nelle industrie energetiche, manifatturiere e nelle costruzioni; invece le emissioni del settore trasporti (rappresentate per oltre il 90% dal trasporto stradale), sono aumentate di oltre il 7% dal 1990.



Emissioni nazionali di gas climalteranti dal 1990 al 2022 per gas (escluso LULUCF). Fonte: "Le emissioni di gas serra in Italia. Obiettivi di riduzione al 2030" - ISPRA, 2024 <https://www.isprambiente.gov.it/files2024/pubblicazioni/rapporti/rapporto-399-24-le-emissioni-di-gas-serra-in-italia.pdf>



INEMAR

ARPA FVG implementa da anni l'inventario delle emissioni in atmosfera INEMAR.

INEMAR è un software realizzato da Regione Lombardia e ARPA Lombardia, utilizzato in diverse regioni italiane, rappresenta uno degli strumenti conoscitivi a supporto della gestione della qualità dell'aria a livello regionale, in quanto raccoglie in un unico database i valori delle emissioni dei diversi inquinanti (NOx, COV, PM10, ecc.), dettagliati per attività (ad esempio: trasporti, allevamenti, industria), unità territoriale (ad esempio: regione, comune), nonché combustibile utilizzato (benzina, gasolio, metano, ecc.).

È possibile quindi rispondere a domande del tipo: "Nel 2019, quante tonnellate di NOx sono state emesse in uno specifico territorio comunale per effetto degli impianti di riscaldamento residenziali". Si comprende quindi quanto uno strumento come INEMAR possa essere di fondamentale importanza per la gestione della qualità dell'aria a livello regionale.

Secondo la metodologia di riferimento europea per il popolamento dell'Inventario delle Emissioni in Aria, denominata EMEP/CORINAIR, le attività antropiche e naturali in grado di produrre emissioni in atmosfera sono catalogate secondo la nomenclatura SNAP97 (*Selected Nomenclature for Air Pollution 97*), articolata in 11 macrosettori emissivi.

Il popolamento dell'Inventario INEMAR attraverso l'implementazione dei dati nei vari macrosettori, richiede una notevole impegno, in quanto vengono inseriti una rilevante mole di dati reperiti in modo sistematico da diverse fonti pubbliche e private, che vengono successivamente elaborati attraverso diversi algoritmi di calcolo, per dare una stima delle emissioni degli inquinanti. Tale stima viene valutata con vari livelli di dettaglio, da quello regionale a quello comunale.

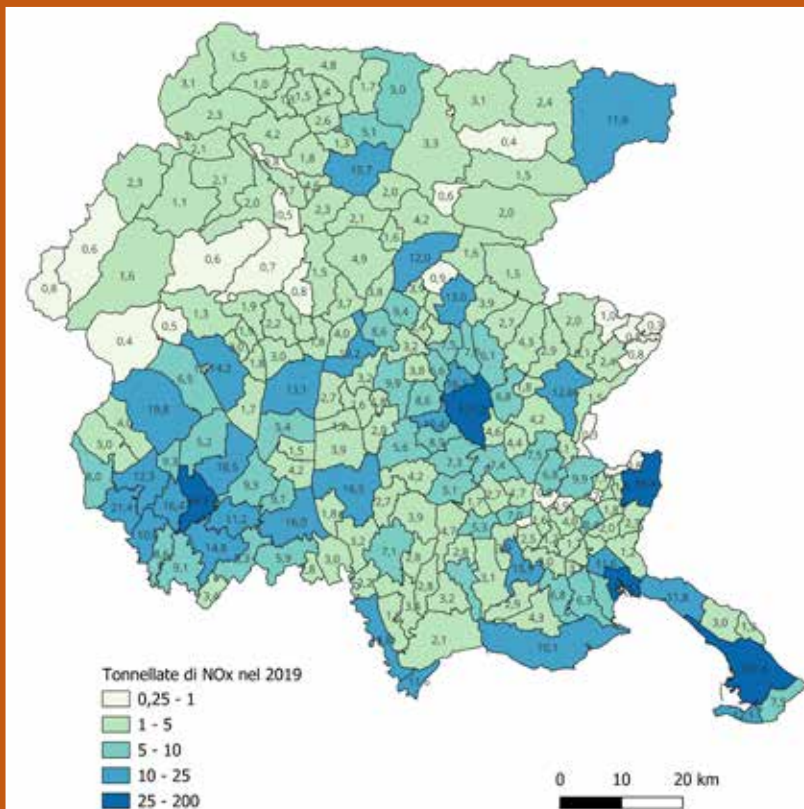
Attualmente sono disponibili le stime complessive delle emissioni in atmosfera dei principali inquinanti relative all'anno 2019 per il Friuli Venezia Giulia, suddivise nei diversi macrosettori (vedi sito arpa.fvg.it).

L'inventario viene redatto e periodicamente aggiornato in ottemperanza all'art. 22 del D.Lgs. 155/2010, secondo il quale le regioni devono predisporlo con cadenza biennale. Conseguentemente il prossimo inventario delle emissioni del Friuli Venezia Giulia verrà aggiornato al 2021 (pubblicazione a luglio 2024).

Macrosetto SNAP 97	Descrizione
M01	Combustione - Energia e industria di trasformazione
M02	Combustione - Non industriale
M03	Combustione - Industria
M04	Processi Produttivi
M05	Estrazione, distribuzione combustibili fossili / geotermico
M06	Uso di solventi
M07	Trasporti Stradali
M08	Altre Sorgenti Mobili
M09	Trattamento e Smaltimento Rifiuti
M10	Agricoltura
M11	Altre sorgenti di Emissione e Assorbimenti

Elenco e descrizione degli 11 macrosettori EMEP/CORINAIR

EMISSIONI DI NOx NEL 2019 DA IMPIANTI DI RISCALDAMENTO RESIDENZIALI



DA INEMAR ALL'INVENTARIO GHG

Per pianificare e monitorare la riduzione delle emissioni climalteranti in Friuli Venezia Giulia, la Regione ha previsto di redigere l'**Inventario regionale dei gas serra** sfruttando l'esperienza già maturata da ARPA FVG nel settore della qualità dell'aria con INEMAR (INventario EMISSIONI in ARia).

L'inventario INEMAR e l'inventario gas serra hanno **finalità diverse**.

Mentre l'inventario gas serra verrà realizzato e utilizzato per analizzare le sostanze che contribuiscono all'effetto serra e che sono presenti nella parte alta dell'atmosfera (MESOSFERA), INEMAR è uno strumento già collaudato e utilizzato da molti anni che analizza gli inquinanti che si trovano negli strati più bassi dell'atmosfera (TROPOSFERA) e che determinano la qualità dell'aria che respiriamo.

I due inventari **differiscono per il sistema di classificazione delle fonti di emissione/assorbimento**.

INVENTARIO EMISSIONI IN ATMOSFERA INEMAR



INVENTARIO GAS SERRA GAS CLIMALTERANTI (GHG)



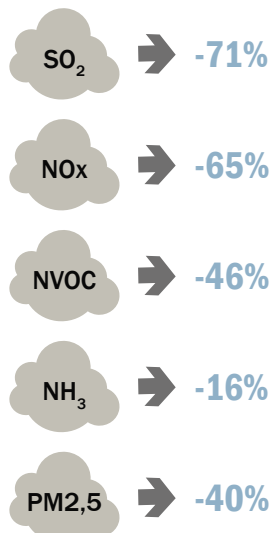
D.Lgs n. 155/2010
Direttiva UE 2016/2204

Redazione degli INVENTARI:
a livello regionale ogni 2 anni;
a livello nazionale ogni 4 anni



OBIETTIVI ITALIANI

riduzione entro il 2030 rispetto i valori del 2005



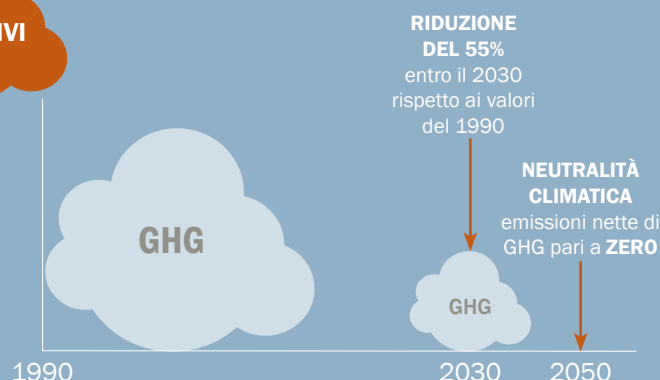
Accordi di Parigi
contenimento 2 °C

Emission Trading System (ETS)
Regolamento 842/2018 Effort sharing
Regolamento 841/2018 LULUCF



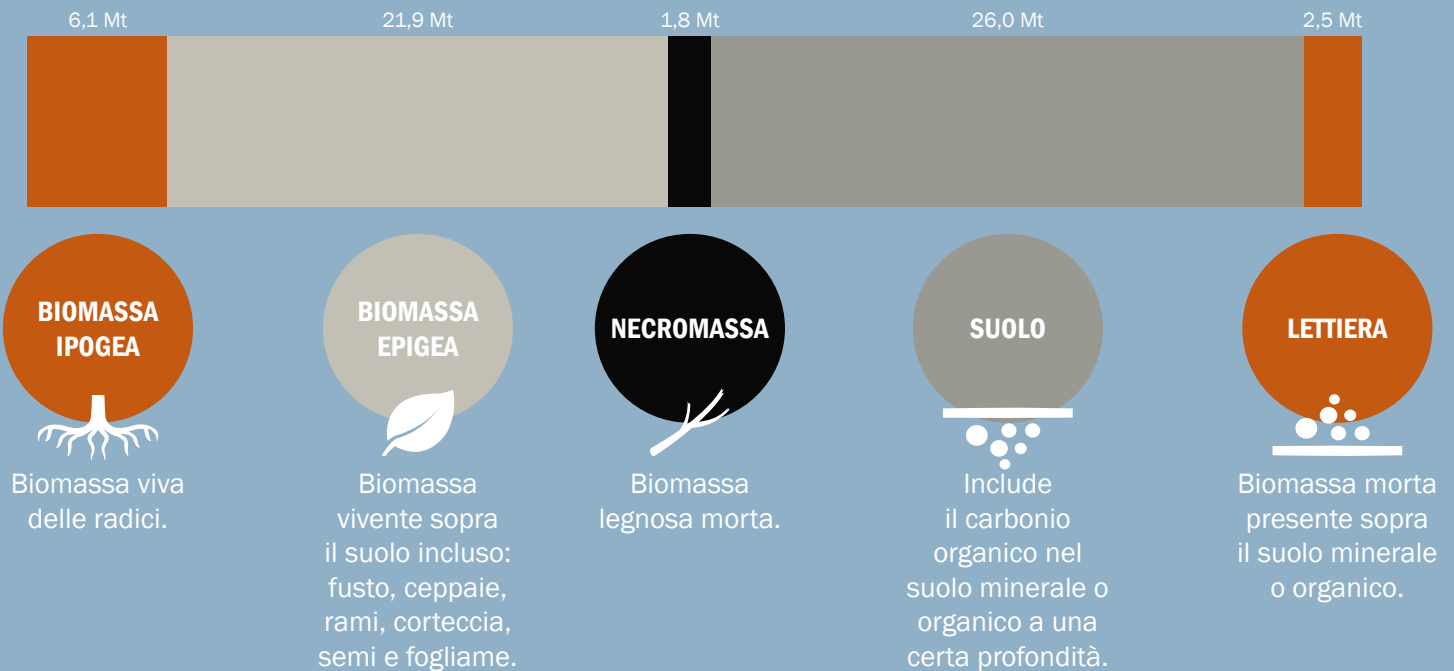
OBIETTIVI UNIONE EUROPEA

riduzione entro il 2030 rispetto ai valori del 1990 dei GHG
neutralità climatica entro il 2050



STOCK DI CARBONIO IN FVG NEL 2019 RIPARTITO PER “SERBATOIO”

milioni di tonnellate di carbonio assorbite



Stock di carbonio in Friuli Venezia Giulia nel 2019 ripartito per “serbatoio” (*carbon sink*): tonnellate di carbonio assorbite nei cinque serbatoi (Dati: ARPA FVG).

La Regione Friuli Venezia Giulia, con la collaborazione di ARPA FVG e altre strutture regionali sta valutando di creare una **piattaforma informatica**, che parte dalla base già esistente dell’Inventario INEMAR per essere integrata con tutte quelle informazioni e dati necessari per la valutazione dei gas serra. Grazie a queste collaborazioni si vuole automatizzare il **flusso di informazioni necessarie per dare una stima dei gas serra**, in modo da fornire alla Regione uno strumento aggiornato che permetta di predisporre le politiche necessarie al raggiungimento dell’obiettivo della **neutralità climatica entro il 2045** espresso da FVGreen.

Attualmente ad esempio, tramite l’inventario INEMAR, è possibile valutare **gli assorbimenti della CO₂ da parte delle foreste**, quantificati tramite lo stock di carbonio (C stock) contenuto nei diversi “serbatoi” (biomassa sopra-epigea e sotto-ipogea- al suolo, lettiera, suolo, ecc.). Le foreste svolgono infatti un ruolo cruciale nel catturare la CO₂ dall’atmosfera infatti, oltre a proteggere il suolo dall’erosione, a essere parte integrante del ciclo dell’acqua, a fornire l’habitat

di molte specie viventi e a regolare il clima locale, assorbono la CO₂ dall’atmosfera rappresentando così un alleato fondamentale per la lotta al cambiamento climatico globale. Attraverso l’implementazione del nuovo inventario di gas serra, sarà possibile integrare gli assorbimenti attualmente calcolabili da INEMAR, con **altri assorbimenti**, come quelli derivanti dal suolo e dai suoi cambiamenti d’uso e dalla silvicoltura, fornendo così una valutazione ancor più completa di quella già esistente.

Tazio Asquini
Anna Maria Bampo
Francesca Bonemazzi
Alessia Movia
Alessandra Petri
ARPA FVG

CONOSCENZE E POLITICHE CLIMATICHE: DAL LOCALE AL GLOBALE



Foto: Arpit Rastogi da Unsplash

Le conoscenze sui cambiamenti climatici e le politiche per fronteggiarli - sia riducendo le emissioni climalteranti (mitigazione) che giocando d'anticipo per attenuarne gli impatti (adattamento) - evolvono di anno in anno, a livello regionale così come a livello nazionale e globale. Anche il 2023 è stato segnato da alcune tappe importanti. A conclusione di “Segnalidal clima in FVG 2024”, allarghiamo quindi lo sguardo ad alcune “pietre miliari” che hanno segnato l'anno passato a livello globale, sia sul piano della produzione di conoscenza che su quello delle politiche climatiche, per poi ricollegarci alla nostra dimensione nazionale e regionale. E, strada facendo, segnaliamo alcune fonti e strumenti che aiutano a rendere accessibile a tutti l'enorme patrimonio di conoscenze oggi disponibili.

CONCLUSO IL 6° RAPPORTO DELL'IPCC

Per quanto riguarda la produzione di conoscenza, a marzo 2023 l'IPCC ha concluso il suo Sesto Rapporto di Valutazione sui Cambiamenti

Climatici (AR6) pubblicandone il [Rapporto di Sintesi \(Synthesis Report – SYR\)](#) che integra i risultati dei tre gruppi di lavoro – [Le basi fisico-scientifiche](#) (2021), [Impatti, adattamento e vulnerabilità](#) (2022), [Mitigazione dei cambiamenti climatici](#) (2022) – e dei tre rapporti speciali – [Riscaldamento Globale di 1.5](#) (2018), [Climate Change and Land](#) (2019), [Oceano e Criosfera in un clima che cambia](#) (2019).

Oltre a evidenziare i cambiamenti del clima, attuali e previsti, a livello globale e i conseguenti rischi per tutti i sistemi naturali e socio-economici, il rapporto mette in luce che **le opzioni per ridurre le emissioni di gas serra e adattarsi** ai cambiamenti climatici causati dall'uomo sono molteplici, fattibili ed efficaci, e sono disponibili ora, ponendo anche grande **attenzione al tema della giustizia climatica**.

Le principali informazioni sui report dell'IPCC sono disponibili in italiano sul sito del **focal point IPCC per l'Italia** presso il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC): ipccitalia.cmcc.it.



Home page del sito ipccitalia.cmcc.it che fornisce materiali in italiano e spiegazioni sui reports dell'IPCC.

I rapporti di valutazione dell'IPCC sono molto corposi e articolati: i tre Rapporti prodotti dai tre Gruppi di lavoro e il Rapporto di sintesi sono affiancati ciascuno da un "Riassunto per i decisori politici" (*Summary for Policymakers*). Le conclusioni più importanti di questi Riassunti sono riportate di volta in volta in un documento molto più sintetico - gli *Headline Statements (dichiarazioni principali)* - che consente di farsi rapidamente

un'idea dei contenuti e delle affermazioni fondamentali. Il focal point dell'IPCC per l'Italia mette a disposizione una traduzione in italiano degli *Headline Statements* e anche altri materiali e spiegazioni utili a capire il lavoro dell'IPCC e quali sono le conoscenze più aggiornate che emergono dai suoi reports.

Lo straordinario lavoro dell'IPCC ha quindi ricadute importanti non solo nell'ambito della comunità scientifica: questo enorme patrimonio di conoscenze viene messo a disposizione dell'opinione pubblica mondiale e dei decisori politici. Nelle più recenti conferenze mondiali sul clima (le "COP", di cui parliamo più avanti in questo articolo) si è iniziato a fare esplicitamente riferimento alla base conoscitiva fornita dall'IPCC, consolidando un *ponte tra politica e scienza* che è fondamentale per poter affrontare la crisi climatica.

I reports dell'IPCC contengono anche numerose immagini: grafici, schemi, illustrazioni che consentono di visualizzare in modo più immediato l'enorme quantità di dati e informazioni contenuti nei documenti. Alcune di queste immagini sono particolarmente incisive, come quella che illustra *quanto le generazioni attuali e future sperimenteranno un mondo più caldo* a seconda delle scelte che facciamo oggi o che faremo dell'immediato futuro.

Da questa rappresentazione dell'IPCC, la NASA ha ricavato *un'applicazione interattiva (CLIMATE LEGACIES)* disponibile sul web, in cui ciascuno può inserire l'anno di nascita di più persone e visualizzare i loro possibili futuri climatici.

LE DICHIARAZIONI PRINCIPALI DEL RAPPORTO DI SINTESI AR6

Su sito web del focal point dell'IPCC per l'Italia sono disponibili in italiano i brevi testi delle "dichiarazioni principali" (**HEADLINE STATEMENTS**) dell'IPCC per il Rapporto di Sintesi dell'AR6: <https://ipccitalia.cmcc.it/headline-statements-del-rapporto-di-sintesi-ar6/>

Le dichiarazioni contengono una super-sintesi delle **tre sezioni** che compongono il Riassunto per i decisori politici:

Stato attuale e tendenze

Cambiamenti climatici futuri, rischi e risposte a lungo termine

Risposte a breve termine

QUALE SARÀ LA NOSTRA EREDITÀ CLIMATICA? SCOPRIAMOLO CON L'APP DELLA NASA

Ogni generazione eredita il clima dalla precedente, le cui scelte si propagano nel tempo per modellare il mondo per noi e per i nostri discendenti. Ognuno di noi vivrà questa eredità in modo diverso nel corso della propria vita.

Eppure il futuro non è ancora scritto e avendo il potere di influenzarlo dobbiamo chiederci: quali tracce lasceremo?

Quale sarà la nostra **EREDITÀ CLIMATICA**?

A questa domanda ci aiuta a rispondere l'applicazione web interattiva *CLIMATE LEGACIES*

<https://svs.gsfc.nasa.gov/webapps/climate-legacy/index.html> che la NASA ha realizzato a partire dai dati dell'IPCC e da una figura del suo Rapporto di sintesi dell'AR6, che utilizza le "strisce climatiche" (*climate stripes*) per visualizzare i possibili futuri climatici nei diversi scenari emissivi.

Lo strumento consente a ciascuno di creare la propria cronologia delle strisce climatiche aggiungendo sé stessi e i propri amici e/o famigliari, con il rispettivo anno di nascita, per vedere come generazioni diverse sperimentano in modo diverso un clima che cambia (facendo riferimento alle variazioni della temperatura superficiale globale rispetto al periodo di riferimento 1850-1900).

Abbiamo fatto una prova e questo è il risultato:

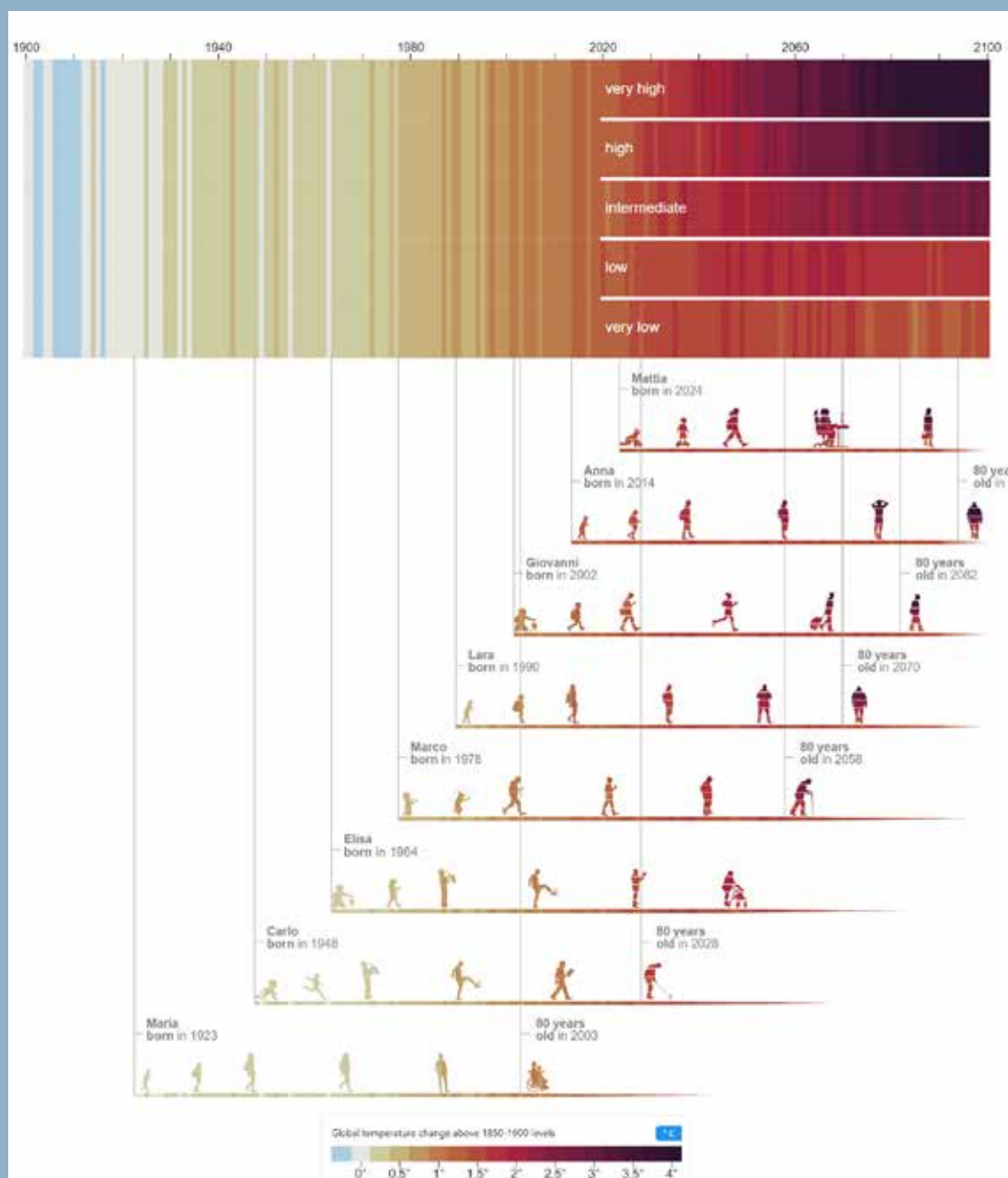


Immagine realizzata utilizzando l'applicazione web *CLIMATE LEGACIES* della NASA svs.gsfc.nasa.gov/webapps/climate-legacy/index.html (Licenza Creative Commons CC-BY4) basata su dati e grafiche dell'IPCC (Figure SPM.1 (c) - AR6 Synthesis Report). In particolare, la figura illustra i cambiamenti osservati (1900-2020) e previsti (2021-2100) nella temperatura superficiale globale (rispetto al 1850-1900), evidenziando come il clima è già cambiato e cambierà lungo l'arco della vita di diverse generazioni rappresentative. Le proiezioni future (2021-2100) dei cambiamenti della temperatura superficiale globale sono mostrate per diversi scenari di emissioni di gas serra: molto basse (SSP1-1.9), basse (SSP1-2.6), intermedie (SSP2-4.5), alte (SSP3-7.0) e molto alte (SSP5-8.5). I cambiamenti nelle temperature superficiali globali annuali sono presentati come "strisce climatiche", con proiezioni future che mostrano le tendenze a lungo termine causate dall'uomo e la continua modulazione da parte della variabilità naturale. I colori sulle icone generazionali corrispondono alle strisce della temperatura superficiale globale per ogni anno, con segmenti sulle icone future che differenziano le possibili esperienze future.



Fonte: library.wmo.int/idurl/4/68835

IL RAPPORTO DELLA WMO SUL CLIMA GLOBALE

Un'altra fonte autorevole di conoscenze sul clima globale è la *World Meteorological Organization* (WMO) - **Organizzazione Meteorologica Mondiale**. È un'organizzazione intergovernativa, istituita nel 1950, che comprende 193 Stati membri e Territori, nata con lo scopo principale di promuovere lo scambio di informazioni in campo meteorologico, la standardizzazione delle rilevazioni e la cooperazione a reti unificate delle varie informazioni meteo climatiche provenienti da ogni parte del globo.

La WMO pubblica ogni anno un rapporto sullo Stato Globale del Clima. Lo [State of the Global Climate report 2023](#), pubblicato a marzo 2024, conferma che l'anno scorso ha superato ogni singolo indicatore climatico risultando, di gran lunga, **l'anno più caldo mai registrato**. Il rapporto rileva che, nel 2023, le concentrazioni di gas serra hanno continuato ad aumentare; il contenuto di calore dell'oceano e il livello del mare hanno raggiunto livelli record osservati e il tasso di aumento sta accelerando.

MESSAGGI CHIAVE RAPPORTO WMO 2023

IL 2023 SI CONFERMA COME L'ANNO PIÙ CALDO MAI REGISTRATO CON UN NETTO MARGINE	RECORD BATTUTI PER IL CALORE DELL'OCEANO, L'INNALZAMENTO DEL LIVELLO DEL MARE, LA PERDITA DEL GHIACCIO MARINO ANTARTICO E IL RITIRO DEI GHIACCIAI
LA TRANSIZIONE ENERGETICA RINNOVABILE OFFRE SPERANZA	IL COSTO DELL'INAZIONE PER IL CLIMA È SUPERIORE AL COSTO DELL'AZIONE PER IL CLIMA
IL CLIMA ESTREMO MINA LO SVILUPPO SOCIO-ECONOMICO	

L'estensione del ghiaccio marino antartico ha toccato i minimi storici e i principali ghiacciai hanno subito perdite record.

Si può accedere al report e alle risorse collegate (video, sintesi ecc.) dalla pagina: <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2023>

I RAPPORTI SUL CLIMA IN ITALIA DEL SISTEMA SCIA

Sempre sul piano delle conoscenze climatiche, ma passando al livello nazionale, in Italia un riferimento importante è SCIA: il sistema nazionale per la raccolta, elaborazione e diffusione di dati climatici, realizzato dall'ISPRA e alimentato in collaborazione e con i dati di numerosi enti, incluse diverse Agenzie ambientali tra cui ARPA FVG. SCIA pubblica ogni anno, dal 2006, il rapporto *"Gli indicatori del clima in Italia"*, che illustra l'andamento climatico nazionale nel corso dell'ultimo anno e aggiorna la stima delle variazioni negli ultimi decenni.

Sul sito scia.isprambiente.it a giugno 2024 è disponibile la valutazione preliminare dello **stato del clima 2023**, in attesa del rapporto definitivo (previsto per luglio 2024). Sulla base dei dati preliminari, il 2023 risulta essere stato **per l'Italia il secondo anno più caldo** di tutta la serie dal 1961, dopo lo scorso 2022.

A livello regionale, un prodotto analogo è realizzato ogni anno da ARPA FVG con il 13° numero del report [meteo.fvg](https://www.meteo.fvg.it), dedicato al riepilogo e all'analisi dei fenomeni e degli andamenti meteo-climatici dell'anno appena concluso. La più recente edizione è il "METEO FVG REPORT - RIEPILOGO ANNO 2023": https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/meteo-fvg/2023/meteo.fvg_2023-riepilogo_it.pdf



Foto: Mahmoud Khaled. Licenza Creative Commons CC BY-NC-SA 2.0
<https://www.flickr.com/photos/unfccc/53366285368/in/photostream/>

Apertura dei lavori alla COP28 di Dubai.

POLITICHE CLIMATICHE GLOBALI: LA COP 28

Passando al piano delle politiche climatiche e partendo dalla scala globale, a dicembre 2023 si è svolta a Dubai la Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici ([COP28](#)): i 198 Paesi partecipanti hanno approvato all'unanimità il primo *“Global stocktake”* ossia il “bilancio globale” da svolgere ogni 5 anni, come previsto dall’Accordo di Parigi, per monitorare i progressi compiuti globalmente nell’agire contro la crisi climatica. Partendo da un rapporto tecnico che evidenzia come *siamo decisamente fuori strada* rispetto all’obiettivo di limitare l’aumento della temperatura globale entro i 1,5 °C, alla COP si è cercata un’intesa sulle azioni necessarie per *correggere la rotta* nei prossimi anni.

Le valutazioni sulle decisioni raggiunte sono molto diversificate, come sempre, poiché la natura stessa delle COP implica la necessità di compromessi. Tra i passi in avanti più significativi: si è affermata la necessità di uscire gradualmente – *“transitioning away”* - da tutte le fonti fossili (non solo il carbone) in modo giusto, ordinato ed equo. Il testo chiede di *accelerare l’azione climatica* in questo decennio, definito critico, per arrivare alla neutralità carbonica nel 2050, facendo riferimento alle indicazioni scientifiche dell’IPCC. È stato inoltre creato il *fondo “perdite e danni”* per sostenere i Paesi più vulnerabili di fronte ai disastri climatici.

La prossima Conferenza mondiale sul clima ([COP29](#)) si terrà a in Azerbaijan, nella capitale Baku, a novembre 2024.

COS'È L'IPCC E PERCHÉ I SUOI REPORT SONO LA PRINCIPALE FONTE DI CONOSCENZA GLOBALE SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI

IPCC è l'acronimo di Intergovernmental Panel on Climate Change (Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico): **è il principale organismo internazionale che valuta le conoscenze sui cambiamenti climatici** prodotte da scienziati e ricercatori in tutto il mondo.

È stato istituito nel 1988 dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) e dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) e avalato dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite.

Attualmente ne fanno parte 195 Paesi. Ogni governo ha un Focal Point IPCC nazionale e ai lavori dell'IPCC partecipano anche le principali organizzazioni internazionali, intergovernative e non-governative.

L'IPCC non fa direttamente ricerca né realizza il monitoraggio di dati e parametri correlati al clima, ma esamina e valuta le più recenti informazioni scientifiche, tecniche e socio-economiche prodotte in tutto il mondo sui cambiamenti climatici. Attraverso questo processo di revisione, strutturato in diverse fasi, l'IPCC assicura una **valutazione completa e obiettiva delle informazioni attualmente disponibili**. In questo modo produce la più esaustiva e aggiornata rassegna delle conoscenze esistenti, facendone sintesi e rendendola disponibile - principalmente attraverso i suoi Rapporti - ai decisori politici, alla comunità scientifica internazionale e all'opinione pubblica mondiale.

L'IPCC ha tre gruppi di lavoro (*Working Groups* - WGs) che elaborano tre distinte parti dei report di valutazione: Basi fisico-scientifiche; Impatti, adattamento e vulnerabilità; Mitigazione dei cambiamenti climatici.

Migliaia di ricercatori da tutto il mondo, partecipano su base volontaria ai lavori dell'IPCC, in cui si integrano così diversi punti di vista e competenze.

Per saperne di più:

ipccitalia.cmcc.it/cose-ipcc/

COSA SONO LE "COP" E COME CAPIRE I NEGOZIATI SUL CLIMA

COP è l'acronimo di Conference of the Parties: è la riunione annuale dei Paesi che hanno ratificato la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (*United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*).

La **Convenzione UNFCCC** è un trattato ambientale internazionale firmato durante la Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite, il «Summit della Terra», tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992. Il trattato punta alla riduzione delle emissioni dei gas serra che causano il riscaldamento globale. La prima COP si è svolta a Berlino nel 1995.

Molto importante è stata la COP21 svoltasi a Parigi nel 2015, che ha portato all'approvazione dell'**Accordo di Parigi** (entrato in vigore nel 2016):

195 Paesi si sono impegnati a contenere l'aumento di temperatura entro i 2° C e possibilmente entro 1.5 °C. Nelle COP successive si è proseguito il lavoro per l'attuazione dell'Accordo: sono stati fatti dei passi avanti, ma con esiti non sempre soddisfacenti rispetto alle aspettative della società e all'urgenza evidenziata dalla comunità scientifica.

Seguire i negoziati globali sul clima e capire cosa accade durante le COP non è semplice. Un supporto utile è fornito da **Italian Climate Network**, associazione ONLUS che coinvolge autorevoli esperti del mondo scientifico, istituzionale e della comunicazione: l'associazione è riconosciuta come "osservatore" e partecipa con una sua delegazione accreditata alle COP (nonché ai lavori preparatori). Durante lo svolgimento delle Conferenze emette un Bollettino COP quotidiano in italiano con notizie e report dalle sale negoziali: italiaclima.org/clima-advocacy/negoziati-clima/

IL PIANO NAZIONALE DI ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

In Italia, il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC) è stato approvato in via definitiva nel dicembre 2023 con un decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) che è entrato in vigore a febbraio 2024.

Il PNACC dà attuazione alla Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (SNAC) del 2015. L'obiettivo principale del PNACC è fornire un **quadro di indirizzo nazionale** per implementare azioni finalizzate a ridurre al minimo possibili i rischi derivanti dai cambiamenti climatici, a migliorare la capacità di adattamento dei sistemi socioeconomici e naturali, nonché a trarre vantaggio dalle eventuali opportunità che si potranno presentare con le nuove condizioni climatiche.

Il Piano e i suoi allegati sono disponibili sul sito del MASE: www.mase.gov.it/notizie/clima-approvato-il-piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici

Tra gli allegati, due sono **di grande interesse per le amministrazioni locali e regionali**:

- Metodologie per la definizione di strategie e piani regionali di adattamento ai cambiamenti climatici www.mase.gov.it/sites/default/files/PNACC_I_Allegato_Metodologie_Strategie_Piani_Regionali.pdf
- Metodologie per la definizione di strategie e piani locali di adattamento ai cambiamenti climatici www.mase.gov.it/sites/default/files/PNACC_II_Allegato_Metodologie_Strategie_Piani_Locali.pdf

LA LEGGE REGIONALE FVGREEN

Anche in FVG nel 2023 si è compiuto un passo importante sul fronte delle politiche climatiche e per la sostenibilità, con l'approvazione della [Legge regionale n. 4/2023 "FVGreen - Disposizioni per lo sviluppo sostenibile e la transizione ecologica del Friuli Venezia Giulia"](#) che mette a sistema le azioni e gli strumenti per lo sviluppo sostenibile, la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici – che vengono affrontati in maniera integrata - la Legge regionale FVGreen prevede e supporta tre strumenti:

- Strategia regionale di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici (art. 4)
- Piano regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici (art. 5)
- Piani locali di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici (PAESC, art. 6)

La Legge regionale FVGreen prevede anche la costruzione di patrimoni informativi a supporto delle attività di pianificazione e di programmazione di competenza della Regione e delle amministrazioni locali, come l'inventario regionale delle emissioni di gas serra (di cui tratta l'articolo **L'INVENTARIO DEI GAS CLIMALTERANTI IN FVG PER SUPPORTARE LE DECISIONI**, pag. 235).

Federica Flapp
ARPA FVG

“Le opzioni per ridurre le emissioni di gas serra e adattarsi ai cambiamenti climatici causati dall’uomo sono molteplici, fattibili ed efficaci, e sono disponibili ora. [...]”

Lo sviluppo resiliente al clima diventa progressivamente più impegnativo ad ogni aumento del riscaldamento. Ecco perché le scelte che verranno fatte nei prossimi anni avranno un ruolo cruciale nel decidere il nostro futuro e quello delle generazioni a venire. [...]

Esistono misure politiche sperimentate e collaudate che possono funzionare per ottenere riduzioni profonde delle emissioni e resilienza climatica, se vengono ampliate e applicate più diffusamente. L’impegno politico, le politiche coordinate, la cooperazione internazionale, la gestione degli ecosistemi e la governance inclusiva sono tutti elementi importanti per un’azione climatica efficace ed equa. [...]”

Dalla versione italiana del comunicato stampa ufficiale dell’IPCC (marzo 2023, traduzione a cura dell’IPCC Focal Point per l’Italia) in occasione della pubblicazione del Rapporto di Sintesi, il volume conclusivo del Sesto Rapporto di Valutazione dell’IPCC, la più aggiornata e completa rassegna scientifica sui cambiamenti climatici.

https://files.cmcc.it/ar6/syr/IPCC_ar6_SYR_COMUNICATO_STAMPA.pdf

*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.*

