

Colophon

Questo volume e gli esiti di ricerca in esso pubblicati sono stati finanziati dall'Unione europea - NextGenerationEU attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) Missione 4 "Istruzione e ricerca" Componente 2 "Dalla ricerca all'impresa" Investimento 1.5 - Ecosistema ECS_00000043 "iNEST - Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem" (CUP F43C22000200006) - Spoke 4.

Verso la neutralità climatica: progettare una transizione sostenibile ed equa

a cura di

Mattia Bertin
Susanna Piscicella
Rosaria Revellini
Daniela Ruggeri
Chiara Semenzin
Linda Zardo
Elisa Zatta

ISBN (cartaceo)

979-12-5953-126-1

ISBN (digitale)

979-12-5953-192-6

DOI

10.57623/979-12-5953-192-6



Il presente volume è pubblicato in modalità Open Access Gold. Il file è scaricabile dalla piattaforma Anteferma Open Books www.anteferma.it/aob/

editore

Anteferma Edizioni
via Asolo 12, Conegliano, TV
edizioni@anteferma.it

progetto grafico

Giulia Ciliberto
Luca Coppola
Pietro Costa
Giacomo Dal Prà

copyright



Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale

iNEST

Spoke 4

Città, Architettura
e Design Sostenibile

Coordinatore

Lorenzo Fabian

Coordinamento
scientifico

Massimiliano Condotta (Iuav)
Lorenzo Fabian (Iuav)
Luciano Gamberini (UniPD)
Elena Marchigiani (UniTS)
Alberto Sdegno (UniUD)
Lorenzo Bellicini (CRESME)
Pierpaolo Campostrini (CORILA)

Nota per le attribuzioni:

Questo volume è frutto della collaborazione tra docenti e ricercatori di iNEST Spoke 4. Sebbene i capitoli introduttivi debbano essere intesi come collettanei, per la loro redazione sono stati invitati a collaborare gli studiosi che in questi anni hanno fatto parte del raggruppamento iNEST Spoke 4 - Iuav, che hanno altresì discusso, rivisto e condiviso ogni parte del libro. Per chiarezza e completezza, i differenti contributi sono stati segnalati accanto al titolo con la sigla derivata dal nome e cognome degli autori che hanno partecipato alla stesura dei testi.

Hanno partecipato alla stesura dei capitoli introduttivi:

Lorenzo Bellicini (L.B.), Mattia Bertin (M.B.), Massimiliano Condotta (M.C.), Lorenzo Fabian (L.F.), Marco Marino (M.M.), Laura Miola (L.M.), Susanna Piscicella (S.P.), Rosaria Revellini (R.R.), Daniela Ruggeri (D.R.), Chiara Semenzin (C.S.), Antonella Stempertini (A.S.), Linda Zardo (L.Z.), Elisa Zatta (E.Z.).

GRUPPO DI LAVORO

Attività di ricerca:

Università Iuav di Venezia (Spoke leader)

Lorenzo Fabian (coordinatore), Maddalena Bassani, Matteo Basso, Mattia Bertin, Massimiliano Condotta, Davide Crippa, Sara Di Resta, Jacopo Galli, Andrea Iorio, Giovanna Marconi, Marco Marino, Micol Roversi Monaco, Stefano Munarin, Elena Ostanel, Susanna Piscicella, Rosaria Revellini, Daniela Ruggeri, Chiara Semenzin, Massimiliano Scarpa, Valeria Tatano, Linda Zardo, Elisa Zatta, Anna Saetta, Ilaria Visentin.

Università degli Studi di Padova

Luciano Gamberini (coordinatore), Alice Bettelli, Jacopo Bonetto, Guido Furlan, Andrea Giordano, Gianmario Guidarelli, Claudia Marino, Marialuisa Menegatto, Laura Miola, Greta Montanari, Francesca Pazzaglia, Elena Svalduz, Alessio Vieno, Adriano Zamperini.

Università degli Studi di Trieste

Elena Marchigiani (coordinatrice), Sara Basso, Thomas Bisiani, Ludovico Centis, Paola Cigalotto, Matteo D'Ambros, Ilaria Garofolo, Gianfranco Guaragna, Paola Limoncin, Giuseppina Scavuzzo, Carlo Antonio Stival.

Attività trasversali:

Università Iuav di Venezia

Ileana Ippolito (coordinatrice).

CC0 Identità visiva consorzio iNEST: Alberto Bassi, Giulia Ciliberto, Pietro Costa (coordinatori), Luca Coppola, Giacomo Dal Prà.

CC1 Iuav start-ups e spin-offs: Lorenzo Fabian (coordinatore), Alberto Bassi, Massimo Rossetti, Serena Ruffato.

CC2 Iuav Lab Village: Davide Crippa (coordinatore), Daniela D'Avanzo, Giovanni Marras, Fabio Peron.

Università degli Studi di Udine

Alberto Sdegno (coordinatore), Alessandra Biasi, Alberto Cervesato, Giovanni Comi, Vincenzo D'Abramo, Anna Frangipane, Giada Frappa, Giulia Fini, Giovanni La Varra, Margherita Pauletta, Claudia Pirina, Isabella Zamboni.

CRESME – Centro Ricerche Economiche Sociologiche e di Mercato nell'Edilizia

Lorenzo Bellicini (coordinatore), Sandro Baldazzi, Enrico Campanelli, Paolo D'Alessandris, Alessandra Santangelo, Antonella Stemperini, Francesco Toso.

CORILA – Consorzio per il coordinamento delle ricerche inerenti al sistema lagunare di Venezia

Pierpaolo Campostrini (coordinatore), Francesca Coccon, Caterina Dabalà, Chiara Dall'Angelo, Barbara Giuponi, Alessandro Meggiato, Enrico Rinaldi, Andrea Rosina.

CC3 Iuav Citizen Engagement: Elena Ostanel (coordinatrice), Maddalena Bassani, Stefania Marini, Stefano Munarin.

CC4 Iuav Education: Massimiliano Condotta (coordinatore), Giuseppe D'Acunto, Angelo Maggi, Caterina Mazzetto, Fabio Peron.

Indice

| | | |
|------------|--|--------|
| | Introduzione Lorenzo Fabian | p. 10 |
| CAPITOLO 1 | Verso la neutralità. Lo stato delle reti del Nord-Est a cura di Mattia Bertin e Lorenzo Fabian | p. 21 |
| | Provvisorio e permanente. La pianificazione dell'edilizia temporanea emergenziale Eugenia Vincenti, Mattia Bertin | p. 62 |
| | Acque, clima e progetto di territorio Paola Cigalotto, Elena Marchigiani | p. 66 |
| | Progetto negativo. La selezione delle permanenze per una transizione a Nord-Est Mattia Bertin | p. 74 |
| | Reti ambientali nel progetto urbanistico del territorio che cambia Paola Cigalotto, Matteo D'Ambros | p. 78 |
| | Il Nord-Est, laboratorio di sperimentazione per la transizione energetica Ilaria Visentin | p. 84 |
| CAPITOLO 2 | Il ruolo del settore delle costruzioni nell'economia del territorio del Nord-Est nell'attuale fase di transizione a cura di Lorenzo Bellicini e Antonella Stemperini | p. 89 |
| | Il progetto come driver dell'innovazione. Caratteri dell'offerta nel mercato della progettazione in Friuli-Venezia Giulia e indirizzi strategici Thomas Bisiani | p. 104 |
| | Criticità della catena circolare delle costruzioni in Friuli-Venezia Giulia: un dialogo con ANCE-FVG Anna Frangipane | p. 108 |

| | | |
|------------|---|--------|
| CAPITOLO 3 | Soluzioni innovative per l'ambiente costruito: affrontare le sfide globali alla scala edilizia a cura di Elisa Zatta, Rosaria Revellini e Massimiliano Condotta | p. 113 |
| | De-pavimentare i suoli impermeabilizzati Valeria Tatano | p. 136 |
| | Strategie per l'invarianza climatica. La valutazione di convenienza economica di Nature-based solutions per il contesto urbano Carlo Antonio Stival | p. 140 |
| | Rinforzo sismico di edifici esistenti mediante telai controventati esterni in acciaio Giada Frappa, Margherita Pauletta | p. 144 |
| | Valutare la resilienza del patrimonio storico-architettonico del Nord-Est: approcci basati sul rischio per la cura e la conservazione Isabella Zamboni | p. 148 |
| | Cambiamento climatico, sostenibilità, conservazione programmata del patrimonio costruito del Nord-Est. Nuove tecnologie e antiche fragilità Alessandra Biasi | p. 152 |
| | Trasformare l'esistente per abitare tutta la vita. Adattamento e flessibilità come caratteri dell'anima digitale dell'edificio Paola Limoncin, Thomas Bisiani, Gianfranco Guaragna, Carlo Antonio Stival | p. 156 |
| | Strategie per una nuova sostenibilità architettonica e urbana: assemblaggio, dis-assemblaggio e rinaturalizzazione Claudia Pirina, Anna Frangipane, Giovanni Comi, Vincenzo d'Abramo | p. 162 |
| | Il comparto del vetro nel Nord-Est tra tradizione e nuove sfide Rosaria Revellini | p. 168 |

| | |
|---|--------|
| Nature-based solutions e bio-based materials per il recupero edilizio Massimiliano Condotta, Martina Bortolotti | p. 172 |
| Strutture in legno ingegnerizzato: potenzialità e traiettorie di ricerca nel quadro della neutralità climatica Elisa Zatta | p. 178 |
| Le nuove tecnologie digitali per l'architettura: dal Building Information Modeling alla virtualizzazione Alberto Sdegno | p. 182 |
| Presidi d'alta quota come sentinelle climatiche Massimiliano Condotta, Elisa Bernard | p. 186 |

| | | |
|-------------------|--|--------|
| CAPITOLO 4 | Scenari per la sostenibilità del paesaggio costruito a cura di Susanna Piscicella, Chiara Semenzin e Lorenzo Fabian | p. 193 |
| | Chi cattura il carbonio? Analisi sull'assorbimento di carbonio e sul potenziale delle infrastrutture verdi Chiara Semenzin, Linda Zardo | p. 218 |
| | I territori di bonifica meccanica alla prova della neutralità climatica Camilla Cangioti | p. 224 |
| | Transizione energetica e paesaggio Micol Roversi Monaco | p. 228 |
| | Nuovi paesaggi dell'energia. Il ruolo in potenza dei luoghi della produzione del Nord-Est: tra aree produttive, terreni agricoli e spazi acquei Claudia Pirina, Giovanni Comi, Vincenzo d'Abramo | p. 232 |
| | A tutto fotovoltaico: prove di produzione elettrica rinnovabile diffusa Chiara Semenzin, Linda Zardo | p. 238 |
| | Hortus conclusus: modalità antiche di abitare la de-carbonizzazione e la neutralità climatica nella residenza Susanna Piscicella, Aljoscia Mozzato | p. 244 |

| | | |
|------------|---|--------|
| CAPITOLO 5 | Progetti pilota per il Nord-Est a cura di Daniela Ruggeri e Lorenzo Fabian | p. 249 |
| | Venezia, una storia millenaria per un progetto proattivo Marco Marino | p. 268 |
| | Venezia, nuova geografia e metafora planetaria Ludovico Centis | p. 272 |
| | Piave: tracce del passato a confronto. Verso una transizione energetica futura Daniela Ruggeri | p. 276 |
| | Il futuro del paesaggio idroelettrico tra ecologia e infrastruttura nel bacino idrografico del Piave Matteo Vianello | p. 280 |
| | La Bassa Pianura Friulana come macchina idraulica: paradossi e opportunità Matteo D'Ambros | p. 284 |
| | Sguardi sul progetto di cura e manutenzione del paesaggio nelle Valli del Natisone Alberto Cervesato | p. 288 |
| | Dolomiti friulane: innesti progettuali per riconnettere un patrimonio fragile Alberto Cervesato | p. 292 |
| | Progettare la neutralità in un approccio OOU. La ZIP di Padova Mattia Bertin, Eugenia Vincenti | p. 296 |
| | Rigenerare l'Arcella a Padova: elementi per un caso studio Flavia Albanese, Giovanna Marconi | p. 300 |
| | Uomo e ambiente ad Aquileia: reattività urbana e cambiamenti ambientali in età romana Guido Furlan, Jacopo Bonetto | p. 304 |
| | Analisi delle tracce storiche per comprendere l'interazione tra ambiente naturale e costruito a Piazzola sul Brenta Greta Montanari, Andrea Giordano, Gianmario Guidarelli, Elena Svalduz | p. 310 |

L'architettura come strumento di apprendimento, la città come laboratorio. Progettare a Gorizia attraverso il recupero e la rigenerazione urbana
Gianfranco Guaragna p. 316

| | | |
|------------|--|--------|
| CAPITOLO 6 | Interazione uomo-ambiente a cura di Linda Zardo | p. 321 |
| | Costellazioni di luoghi inclusivi. Per un sistema diffuso di presidi contro l'abilismo Giuseppina Scavuzzo | p. 330 |
| | Dare forma a spazi che abbracciano la diversità: progettare per un mondo che invecchia Paola Limoncin | p. 334 |
| | Qualità urbana, rigeneratività ambientale e soddisfazione residenziale nel Nord-Est Italia Laura Miola | p. 338 |
| | Quartieri in stato di bisogno: quali contesti, quali strumenti, quali apprendimenti Matteo Basso, Elena Ostanel | p. 342 |
| | Le Comunità Energetiche: verso una nuova forma di interazione persona-ambiente? Marialuisa Menegatto, Adriano Zamperini | p. 348 |
| | Spazi pubblici age-friendly per la costruzione di un territorio inclusivo Rosaria Revellini | p. 354 |

| | | |
|------------|---|--------|
| CAPITOLO 7 | Attività trasversali e bandi a cascata | p. 359 |
| CC0 | Il progetto d'identità visiva per gli ecosistemi dell'innovazione: il caso di iNEST Giulia Ciliberto, Pietro Costa | p. 360 |
| CC1 | Dall'aula all'impresa. Il ruolo di Start.Hub luav nella formazione di Startup innovative Andrea Fantin, Ileana Ippolito, Serena Ruffato | p. 364 |
| CC2 | Lab Village. Il luogo dell'innovazione Daniela D'Avanzo, Davide Crippa | p. 368 |

| | | |
|-----|---|--------|
| CC3 | Iniziative di citizen engagement per un'infrastruttura stabile tra università e territori Maddalena Bassani, Stefania Marini, Stefano Munarin, Elena Ostanel | p. 372 |
| CC4 | Educazione e formazione continua: anticipare i bisogni del futuro Caterina Mazzetto, Massimiliano Condotta | p. 376 |

| | | |
|-----|--|--------|
| BC1 | Sostenibilità Ambientale per l'Innovazione Agricola – SAIA Thetis spa | p. 380 |
| BC2 | NONSIBUTTAVIANIENTE: less material, more intelligence Decormarmi Srl | p. 382 |
| BC3 | EKONYA – Design in calcestruzzi filtranti per la rigenerazione urbana Bellitalia Srl | p. 384 |
| BC4 | SLIM – Sea Level Impact Modeler Digital Strategy Innovation Srl | p. 386 |
| BC5 | Monitoraggio 4.0: implementazione di un modello operativo per la conservazione programmata del patrimonio storico-architettonico in ambiente complesso Co. New Tech. Srl | p. 388 |
| BC6 | Soluzioni digitali interoperabili per supportare la transizione ecologica e digitale finalizzata al monitoraggio delle performance ambientali dell'edilizia in fase di progettazione, realizzazione e gestione Cadline Software Srl | p. 390 |
| BC7 | Construction Agile 5.0 Caltran Giovanni Battista Srl | p. 392 |
| BC8 | GIMAU – Geoworks Impact MApping for Urban activities Jakala Civitas Spa | p. 394 |
| BC9 | Giardino di Brenta Società Cooperativa Sociale Luoghi Comuni | p. 396 |





| | |
|--------------|--|
| Autori | Massimiliano Condotta Elisa Bernard |
| Affiliazione | Università Iuav di Venezia |



Rifugio Pian dei Fiacconi dopo la sua distruzione
causata da una valanga il 5 dicembre 2020.
E. Bernard, 2022.

Presidi d'alta quota come sentinelle climatiche

L'attuale aggravamento del contesto climatico ha ricadute sempre più intense ed evidenti su ambiente e società, sottolineando come l'adattamento ai cambiamenti climatici rappresenti un'urgenza. L'innalzamento delle temperature, l'aumento degli eventi meteorologici estremi e la modifica dei regimi di precipitazione sono solo alcuni esempi di mutamenti climatici evidenziati nell'ultimo rapporto dell'Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Tuttavia, sebbene gli effetti provocati dai cambiamenti climatici interessino tutto il globo, la loro entità non si manifesta in maniera omogenea ovunque, ma ci sono aree maggiormente colpite di altre, in particolare in relazione all'innalzamento della temperatura. Esistono infatti delle zone che si riscaldano maggiormente rispetto ad altre, definite come "hot spot", tra cui quelle montane d'alta quota, all'interno delle quali si è osservato un tasso di riscaldamento maggiore, quasi doppio, rispetto alla media globale, con impatti molto più visibili e spesso amplificati. Le Alpi ne sono un esempio con un tasso medio di riscaldamento di $0,3^{\circ}\text{C}/10$ anni, superando così quello globale di $0,2^{\circ}\text{C}/10$ anni (Hock, Rasul, Adler, *et al.*, 2019). Visibilmente si osserva la fusione dei ghiacciai, principali indicatori della crisi climatica con la loro progressiva e rapida riduzione, l'aumento in numero e dimensione dei laghi glaciali, il cambiamento dei modelli meteorologici stagionali, la riduzione in estensione e durata della copertura nevosa a bassa quota e la fusione dello strato di permafrost, essenziale per la stabilità dei pendii, confermabile dall'osservazione degli impatti che ne derivano, come la destabilizzazione degli ammassi rocciosi e l'incremento dei crolli rocciosi (Nigrelli *et al.*, 2024). Ulteriori conseguenze si hanno sullo spostamento degli ecosistemi verso quote più alte coerentemente all'aumento della temperatura, sull'agricoltura e sulla pastorizia, sulla disponibilità di risorse idriche e sulla produzione idroelettrica, dovuta alla variabilità del tempo di scioglimento dei ghiacciai e alla variazione dei regimi di deflusso fluviale. A questi si sommano gli impatti sulle persone e sulle infrastrutture, per lo più legati al rischio geo-idrologico, tra cui inondazioni, colate detritiche, piene improvvise e frane che sempre più interessano sia l'alta quota che gli insediamenti a valle.

I rischi naturali legati al clima, tra cui valanghe, crolli di roccia o ghiaccio, inondazioni e colate detritiche sono processi di instabilità tipici dei territori alpini; tuttavia, eventi meteorologici estremi tendono ad avvenire con maggior frequenza e i rischi diventano sempre meno prevedibili evidenziando la fragilità di questi territori. Allo stesso tempo, gli impatti dei cambiamenti climatici, che si ripercuotono a cascata sui servizi ecosistemici e sul benessere umano, evidenziano il legame biunivoco tra

ambiente naturale e costruito. «Con l'accelerazione del riscaldamento e l'aggravarsi dei rischi al di sopra di 1,5°C, la necessità di uno sviluppo resiliente al clima in montagna è evidente» (Adler *et al.*, 2022, p. 2297) e richiede una più attenta e approfondita conoscenza della relazione tra cause e conseguenze dei cambiamenti climatici nei territori d'alta quota, non solo per la sicurezza dei suoi frequentatori, la cui pericolosità è stata tragicamente evidenziata dal distacco di parte del ghiacciaio della Marmolada il 3 luglio 2022, ma anche per la loro importanza socio-economica e ambientale. Quest'ultima viene ribadita dalla recente modifica degli articoli 9 e 41 della Costituzione Italiana dando rilievo alla tutela dell'ambiente sia nella parte dei principi fondamentali, che in quella relativa ai rapporti economici, ribadendo il valore delle montagne per le popolazioni che direttamente o indirettamente ne dipendono per il sostentamento, la generazione di reddito, l'alimentazione, la salute o il benessere (Adler *et al.*, 2022).

Le zone montane sono precursori di impatti futuri e, grazie alla loro posizione dominante sul territorio circostante, sono rappresentative di territori molto ampi, distanti da importanti fonti di inquinamento. Questi aspetti le rendono il luogo ideale per monitorare lo stato del clima e le sue variazioni attraverso sistemi di monitoraggio e raccolta dati utili a individuare cause ed effetti del cambiamento climatico e a fornire, grazie alla qualità delle osservazioni prodotte, dati utili alla messa a punto di modelli climatici. Per tale motivo, nell'ambito del programma *Global Atmosphere Watch* (GAW) dell'Organizzazione Mondiale per la Meteorologia (World Meteorological Organization, WMO), vi sono 9 stazioni poste in alta quota, che fungono da "sentinelle climatiche", tra le 31 globali. Il programma, che coinvolge circa cento paesi, mira a creare una comprensione unificata della composizione atmosferica, compresi i gas effetto serra, i gas reattivi e gli aerosol, che influenzano il clima, il meteo e l'inquinamento atmosferico. I dati forniti dalla rete rappresentano informazioni scientifiche accurate su cui si basano anche i rapporti dell'IPCC. Tra le stazioni globali, l'Osservatorio Climatico "Ottavio Vittori" sul Monte Cimone (2.165 m s.l.m.), punto più alto dell'Appennino settentrionale, rappresenta l'unica stazione GAW-WMO italiana del programma per gli studi sulla variabilità della composizione atmosferica nell'Europa Meridionale e nella regione del Mediterraneo. Le osservazioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) presso il Monte Cimone sono iniziate nel 1991 usufruendo a scopi scientifici dei locali del preesistente rifugio Romualdi. Dal 1996, in seguito alla ristrutturazione del rifugio, le attività di ricerca si svolgono in modo continuativo per tutto l'anno raccogliendo misure inerenti ai composti clima-alteranti e inquinanti (gas e aerosol), radiazione solare e parametri meteorologici. Alle stazioni globali si aggiungono poi oltre 400 stazioni regionali GAW-WMO di cui due in territorio alpino italiano, l'osservatorio Col Margherita (2.543 m s.l.m.) e l'osservatorio Testa Grigia a Plateau Rosa (3.480 m s.l.m.) e una sull'appennino meridionale, l'osservatorio sul Monte Curcio (1.780 m s.l.m.). D'altro canto, nonostante l'importanza delle osservazioni in quota e la presenza di queste stazioni, «a causa delle difficoltà di accesso e delle estreme condizioni ambientali presenti in alcuni periodi dell'anno, le regioni montuose sono meno monitorate di altre aree. [...] Ne consegue quindi una bassa densità della rete osservativa idro-meteorologica» (Bonasoni *et al.* 2022, p. 10). Inoltre, «le reti di osservazione in montagna non sempre seguono procedure di misurazione standard e spesso non sono sufficientemente dense per cogliere i cambiamenti su scala fine» (Hock *et al.*, 2019, p.137). Il recente studio, condotto dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI)

del CNR, volto all'analisi della variazione della temperatura nel periodo climatologico normale 1991–2020 nelle Alpi Europee, riscontra infatti queste problematiche. Tra le oltre 50 stazioni meteorologiche automatiche (Automatic Weather Station, AWS) prese in considerazione nell'intero arco alpino installate oltre 1.500 m s.l.m., solo 23 stazioni sono state utilizzate per lo studio, in quanto rappresentavano il miglior compromesso tra disponibilità dei dati, qualità dei *dataset* e distribuzione geografica (Nigrelli *et al.*, 2024), evidenziando come esista una «limitata densità spaziale e/o dell'estensione temporale delle osservazioni in alta quota» (Hock *et al.*, 2019, p. 174). Nonostante la ricchezza di dati provenienti dai satelliti per l'osservazione della Terra, che superano in gran parte le problematiche derivate dalle difficoltà di accesso, la mancanza di dati permane a causa delle problematiche legate alla gestione della copertura nuvolosa e la complessa orografia che le caratterizza (Hock *et al.*, 2019).

È in questo contesto ambientale e climatico che i rifugi alpini possono assumere un ruolo attivo nel monitoraggio meteo-ambientale e nella ricerca scientifica, fornendo un supporto permanente alla rilevazione di parametri meteo-climatici, raccogliendo dati e misure utili a studiare il clima e le sue variazioni (Bonasoni *et al.*, 2022). Da questa idea nasce il progetto “Rifugi montani sentinelle del clima e dell'ambiente” che crea, grazie all'accordo tra il CNR e il Club Alpino Italiano (CAI), una rete di monitoraggio meteo-climatico e ambientale mettendo a sistema il monitoraggio dell'ecosistema delle aree montuose alpine d'alta quota. Il progetto si sviluppa lungo tutta la dorsale Alpina e Appenninica avvalendosi, per l'installazione delle stazioni, di presidi d'alta quota già esistenti in grado di soddisfare i requisiti di rappresentatività ambientale e climatica, di logistica e di connettività, caratteristica quest'ultima essenziale per la condivisione dati in tempo reale. La rete di presidi che all'oggi si compone di 21 rifugi CAI e 4 Osservatori CNR, ma che potrà ampliarsi nel tempo, è dotata di una stazione AWS installata nelle direttive WMO, sia in termini di parametri da acquisire, che di sensoristica da installare. Questo permette di usufruire di procedure di monitoraggio standard, confrontabili tra loro, per effettuare analisi sulle tendenze future e passate del clima. I dati raccolti sono di tipo meteorologico relativi a temperatura dell'aria (°C), con indicazione degli estremi di temperatura, umidità relativa (%), velocità (km/h) e direzione (gradi) del vento, pioggia (mm), evapotraspirazione (mm) e irraggiamento (W/m²). Inoltre, l'acquisizione di immagini tramite webcam è utile per la sorveglianza, la sicurezza, il monitoraggio di eventi meteorologici estremi, la promozione turistica e il supporto a interventi di soccorso. L'obiettivo del progetto, oltre alla raccolta dati, è anche quello di incrementare la conoscenza degli ambienti ed ecosistemi d'alta quota attraverso la diffusione della cultura scientifica non solo attraverso la condivisione dei dati raccolti e la possibilità di consultarli da remoto attraverso il portale web dedicato, ma anche direttamente all'interno dei rifugi, riproponendone il ruolo a luoghi di divulgazione scientifica.

Oltre ai sistemi di monitoraggio, iniziative come la *citizen science* possono integrare le osservazioni basate su strumenti e modelli convenzionali. Ne è un esempio il progetto *Community Snow Observations* (CSO), finanziato dalla National Aeronautics and Space Administration (NASA). I dati CSO raccolti dalle osservazioni relative allo spessore del manto nevoso, effettuate e condivise dai cittadini durante la pratica dello scialpinismo, contribuiscono a migliorare l'accuratezza dei modelli di profondità della neve e di acqua equivalente (*Snow Water Equivalent*, SWE), che generalmente si basano su prodotti di telerilevamento e modelli di distribuzione, fortemente influenzati dalla complessità del terreno.

«La capacità di quantificare la ritenzione e l'immagazzinamento stagionale dell'acqua nel manto nevoso in montagna ha implicazioni per una serie di importanti argomenti, tra cui la previsione e la mitigazione dei rischi di valanghe e inondazioni, la funzione degli ecosistemi, le risorse idriche, la modellistica climatica e l'economia» (Wikstrom Jones *et al.*, 2018, p. 420). In riferimento al contesto alpino italiano, il progetto Acqua Sorgente è stato recentemente promosso dal CAI. L'iniziativa, basata sul coinvolgimento attivo dei frequentatori delle zone montane, ha lo scopo di identificare, classificare e monitorare le sorgenti d'acqua che si trovano lungo la sentieristica, incrementando la conoscenza della rete idrologica. Oltre alla raccolta dati, la *citizen science* rappresenta un mezzo di coinvolgimento, conoscenza e divulgazione che sensibilizza i cittadini riguardo temi differenti, tra cui la gestione sostenibile delle risorse idriche, la biodiversità e i processi ecologici, soprattutto nel contesto di crisi climatica attuale.

Di fronte agli effetti del riscaldamento emerge quindi l'importanza dei rifugi alpini come presidi fissi d'alta quota che, all'interno della transizione ambientale, possono diventare «avamposti e presidi territoriali privilegiati che ci raccontano le mutazioni di ambiente e clima» (Dini *et al.*, 2020, p. 9). A partire da questi presupposti concettuali, i rifugi potrebbero tornare ad essere luoghi di osservazione e conoscenza del territorio circostante come lo erano le prime costruzioni nelle Alpi realizzate alla fine del Settecento, con finalità conoscitive dei rilievi fino ad allora inesplorati. Con la nascita e la diffusione del turismo alpinistico, conseguentemente alla conoscenza più approfondita del territorio alpino e alla creazione di una rete di presidi, il ruolo dei rifugi ha assunto invece oggi per lo più una valenza turistica ed esperienziale. Tuttavia, i cambiamenti climatici interessano fortemente anche i manufatti in alta quota, con impatti negativi sulla stabilità delle strutture e sulla loro gestione. Lo scioglimento dello strato di permafrost crea cedimenti del terreno di fondazione evidenziando la necessità di interventi di consolidamento o di ricostruzione in luoghi più sicuri come nel caso del rifugio Casati (Cevedale, 2.608 m s.l.m.). Inoltre, eventi naturali come crolli di roccia o valanghe possono interessare le strutture in modo diretto, causando danni e nei casi peggiori la loro distruzione, come il caso del bivacco Alberico-Borgna (3.674 m s.l.m), oppure, indirettamente, rendere i sentieri di accesso inagibili alterando pertanto il periodo di apertura stagionale con problematiche nella gestione del rifugio, già fortemente influenzata dalla carenza di disponibilità idrica e dalla forte pressione turistica.

Di fronte a queste problematiche emerge una diffusa difficoltà nell'individuare quali siano i criteri di sostenibilità secondo i quali i rifugi debbano essere mantenuti in funzione, anche in merito alle importanti problematiche di gestione, quale la disponibilità idrica e di sicurezza, oppure quando debbano essere ricostruiti in seguito alla loro distruzione causata da eventi naturali. Nel farlo «occorre mettere tra le ipotesi anche l'opzione zero, ovvero quella di rimozione»¹. È pertanto necessario interrogarsi su quali siano i criteri adeguati all'intervento architettonico dei rifugi alpini, compresa la scelta di materiali e sistemi costruttivi, come ruolo di sentinelle all'interno di una rete di monitoraggio partecipativo, tenendo conto del loro valore culturale e del valore ambientale dei luoghi all'interno dei quali si collocano, creando un equilibrio tra le esigenze turistiche, economiche, territoriali e climatiche.

Riferimenti bibliografici

- Adler, C., Wester, P., Bhatt, I., et al. (2022) 'Cross-Chapter Paper 5: Mountains' in H. Pörtner, D. Roberts, M. Tignor, et al. (a cura di) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bonasoni, P., Frezzini, L., Davolio, S., et al. (2022) 'Rifugi montani sentinelle del clima e dell'ambiente. Un progetto CAI - CNR che si estende dalle Alpi al Mediterraneo', in *Il Bollettino - Comitato Scientifico Centrale*, pp. 9-17.
- De Rossi, A. (2014) *La costruzione delle Alpi. Immaginari e scenari del pittoresco alpino (1773-1914)*. Roma: Donzelli.
- Dini, R., Gibello, L., Girodo, S. (2020) *Andare per rifugi*. Bologna: il Mulino.
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., et al. (2019) 'High Mountain Areas' in H. Pörtner, D. Roberts, V. Masson-Delmotte, et al. (a cura di) *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 131-151.
- Nigrelli, G., Paranunzio, R., Turconi, L., et al. (2024) 'First national inventory of high-elevation mass movements in the Italian Alps', in *Computers and Geosciences*, 1, vol. 184.
- Wikstrom Jones, K., Walken, G., Hill, D., et al. (2018) 'Community Snow Observations (CSO): A citizen science campaign to validate snow remote sensing products and hydrological models' in K. Kleemayr, G. Walter, R. Mair (a cura di) *International Snow Science Workshop Proceedings*. Innsbruck: ISSW, pp. 420-424.

Note

- 1** Come detto dal presidente del CAI Antonio Montani, a conclusione del 101° Congresso Nazionale svoltosi a Roma il 25-26 novembre 2023 e intitolato "La montagna nell'era del cambiamento climatico".