



**LUCA  
MERCALLI  
BREVE STORIA DEL  
CLIMA IN ITALIA**

DALL'ULTIMA GLACIAZIONE AL RISCALDAMENTO GLOBALE





**LUCA  
MERCALLI**

**BREVE STORIA DEL  
CLIMA IN ITALIA**

DALL'ULTIMA GLACIAZIONE AL RISCALDAMENTO GLOBALE



# Indice

## Copertina

L'immagine

Il libro

L'autore

## Frontespizio

## Copyright

*Prefazione.* di Christian Rohr

Breve storia del clima in Italia

Storia del clima e dell'umanità

Dall'ultima glaciazione al mondo pre-romano

Il clima dei Romani, dall'ascesa alla caduta

I secoli bui – e freddi – dell'alto Medioevo

Anno Mille: una breve parentesi mite

Una Piccola età glaciale dalle grandi conseguenze

Dall'età dei Lumi all'Ottocento

I due climi del XX secolo

Nuovo millennio, nuovo clima: il riscaldamento globale cambia l'Italia

Conclusioni. Verso un clima sconosciuto

## *Ringraziamenti*

## *Elenco delle fonti*

## *Bibliografia*

Dello stesso autore

## *Il libro*

LUCA MERCALLI HA SCRITTO UN LIBRO CHE IN ITALIA ANCORA MANCAVA E DI CUI SI sente l'urgenza: una storia del clima del Belpaese. Lo ha composto con la passione del divulgatore e la competenza del climatologo, servendosi dell'immenso patrimonio di informazioni sul clima del passato che l'Italia conserva, in gran parte ancora da esplorare. I progressi della paleoclimatologia ci fanno immaginare il desolato panorama dell'ultima glaciazione e il ritrovamento della mummia Ötzi illumina millenni di clima alpino. Dai fatti leggendari dell'antichità – come il passaggio di Annibale sulle Alpi innevate e le piene del Tevere nella Roma imperiale – alle cronache dei diluvi altomedievali; dai primi strumenti meteorologici inventati nel cuore della Piccola età glaciale agli eventi climatici che hanno segnato il Novecento. E cioè, per esempio: le valanghe sui soldati della Prima guerra mondiale, il gelo e i nevoni del 1929 di felliniana memoria, l'alluvione del Polesine del 1951 e quella di Firenze del 1966 fino agli ultimi freddi del 1985 prima dell'irrompere del riscaldamento globale alle soglie del XXI secolo, che sta cambiando profondamente la Penisola.

## *L'autore*

LUCA MERCALLI (Torino 1966) presiede la Società meteorologica italiana, ha fondato la rivista «Nimbus», ha pubblicato monografie su clima e ghiacciai delle Alpi e come giornalista scientifico in 35 anni ha firmato migliaia di articoli su «la Repubblica», «La Stampa», «il Fatto Quotidiano»; ha tenuto oltre 3000 conferenze e collaborato a programmi tv Rai (Che tempo che fa, TGR Montagne, Scala Mercalli) e Radiotelevisione svizzera italiana. È Ambasciatore del clima dell'Unione Europea ed è stato consigliere scientifico di ISPRA. Ha insegnato sostenibilità ambientale all'Università di Torino (SSST) e all'Università di Scienze gastronomiche di Pollenzo. Con Einaudi ha pubblicato *Viaggi nel tempo che fa* (2010), *Non c'è più tempo* (2018 e 2020) e *Salire in montagna* (2020).

Luca Mercalli

# Breve storia del clima in Italia

*Dall'ultima glaciazione al riscaldamento globale*

Prefazione di Christian Rohr



Giulio Einaudi editore

Questo ebook contiene materiale protetto da copyright e non può essere copiato, riprodotto, trasferito, distribuito, noleggiato, licenziato o trasmesso in pubblico, o utilizzato in alcun altro modo ad eccezione di quanto è stato specificamente autorizzato dall'editore, ai termini e alle condizioni alle quali è stato acquistato o da quanto esplicitamente previsto dalla legge applicabile. Qualsiasi utilizzazione non autorizzata di questo ebook, anche per le finalità di alimentazione di sistemi di Intelligenza Artificiale, così come l'alterazione delle informazioni elettroniche sul regime dei diritti costituisce una violazione dei diritti dell'editore e dell'autore e sarà sanzionata civilmente e penalmente secondo quanto previsto dalla Legge 633/1941 e successive modifiche.

Questo ebook non potrà in alcun modo essere oggetto di scambio, commercio, prestito, rivendita, acquisto rateale o altrimenti diffuso senza il preventivo consenso scritto dell'editore. In caso di consenso, tale ebook non potrà avere alcuna forma diversa da quella in cui l'opera è stata pubblicata e le condizioni incluse alla presente dovranno essere imposte anche al fruitore successivo.

[www.einaudi.it](http://www.einaudi.it)

*Breve storia del clima in italia*  
di Luca Mercalli  
© 2025 Giulio Einaudi editore s. p. a., Torino  
Ebook ISBN 9788858447512

COPERTINA || Foto © Images Professionals GmbH / Alamy / Ipa Images.  
Progetto grafico di collana: Marco Pennisi&C.

## Prefazione *di Christian Rohr*<sup>a</sup>

La ricerca sulla storia del clima italiano è ancora per molti aspetti un *desideratum* – al contrario, ad esempio, della sismologia storica, che in Italia ha una tradizione che risale al primo periodo moderno. Tuttavia, se si guarda indietro di 300-400 anni, appare chiaro che l'Italia ha avuto un ruolo centrale nello studio del tempo e del clima fin dalle prime fasi, dall'invenzione del termometro da parte di Galileo Galilei (1597) e del barometro da parte di Evangelista Torricelli (intorno al 1643) alla prima rete di misurazione strumentale del tempo dell'Accademia del Cimento alla corte del granduca Ferdinando de' Medici.

La precedente mancanza di una panoramica dello sviluppo climatico in Italia in una prospettiva a lungo termine è sorprendente anche perché, a differenza di molti altri Stati nazionali moderni, l'Italia rappresenta anche una zona climatica significativa a livello regionale (mesoclima). L'intero stivale della penisola appenninica è infatti circondato dal mare – e il Mediterraneo ha naturalmente un'influenza importante sul comportamento della temperatura e delle precipitazioni in Italia. Inoltre, l'arco alpino a nord costituisce un confine climatico naturale, e anche in questo caso sono evidenti gli effetti sulle pianure italiane settentrionali densamente popolate e sulle valli alpine meridionali che vi confluiscano. A causa della forte segmentazione paesaggistica del margine settentrionale delle Alpi e degli Appennini, sono interessanti anche numerosi fenomeni climatici locali (topoclimi), che tuttavia possono essere contestualizzati nelle loro peculiarità solo in un confronto con l'Italia nel suo complesso.

La ricerca sulla storia del clima in Italia è finora distribuita in numerosi piccoli gruppi di ricerca che, a seconda della loro ubicazione, sono legati a discipline anche molto diverse tra loro.

La mancanza di grandi centri di ricerca interdisciplinari in un unico luogo, come l'Oeschger Centre for Climate Change Research dell'Università di Berna o, più recentemente, dell'Università di Oslo, ha finora reso difficile la

sintesi dei vari approcci e risultati, cosicché i ricercatori di altre discipline o di altri Paesi interessati alla storia del clima in Italia devono spesso cercare prima un punto di contatto adeguato.

Luca Mercalli si è proposto per la prima volta di raccogliere lo stato delle ricerche sulla storia climatica dell'Italia dalla preistoria ai giorni nostri, combinando gli approcci delle scienze naturali e culturali. Lo fa sulla base della sua pluridecennale esperienza in questo campo. Da un lato, le sue ricerche sono dedicate a numerosi esempi individuali di servizi di misurazione meteorologica, agli sviluppi climatici regionali e, più recentemente, agli effetti del rapido cambiamento climatico antropogenico degli ultimi decenni. D'altra parte, come fondatore e direttore della rivista «Nimbus» e come presidente della Società meteorologica italiana, ha svolto un ruolo importante nel riunire la ricerca storico-climatologica e meteorologica in Italia per diversi decenni.

Ci si augura dunque che questo libro stimoli ulteriori ricerche sulla storia del tempo e del clima in Italia, che fornisca anche a ricercatori di discipline vicine una comprensione delle interazioni a lungo termine tra tempo, clima e storia, e che aumenti la visibilità della ricerca climatica italiana in un contesto internazionale.

a. Professore ordinario di Storia del clima e dell'ambiente, Università di Berna.

## Breve storia del clima in Italia

Ove non altrimenti indicato, le traduzioni sono dell'autore; tutti gli indirizzi dei siti Internet sono stati controllati a dicembre 2024.

## Storia del clima e dell'umanità

### *Clima profondo.*

Il 22 agosto 2014 tenni a Lavarone, in Trentino, una conferenza dal titolo *L'Avez del Prinsep: com'era il clima 230 anni fa?* L'Avez del Prinsep, l'abete bianco più maestoso d'Italia e forse d'Europa, allora era ancora in piedi e svettava fino a 52,15 metri d'altezza. La sua età era valutata pari a circa 230 anni e poiché ogni anello di accrescimento del tronco conserva le tracce delle anomalie meteorologiche annuali, quell'albero era uno dei pochi esseri viventi che avessero una memoria climatica così lunga e senza soluzione di continuità. Ma la carie determinata da funghi parassiti aveva già minato il suo ceppo, che cedette di schianto il 13 novembre 2017, durante una tempesta di vento, meno intensa di Vaia – che sarebbe arrivata l'anno successivo – ma sufficiente ad abbattere quel gigante vegetale. Oggi le rondelle tagliate dal suo tronco sono esposte in vari musei di Scienze naturali e l'età definitiva è stata stimata in circa 250 anni, in mancanza degli anelli integri alla base del tronco, deteriorati dal fungo e dalle formiche. Possiamo dunque ipotizzare che l'abete nacque attorno al 1767, durante la Piccola età glaciale, quando già esistevano in Italia alcuni osservatori meteorologici i quali hanno registrato in modo più rigoroso, tramite strumenti appositi, le variazioni climatiche. L'importanza dell'Avez sta però nella sua simbolica rappresentazione del clima come elemento costitutivo di un organismo vivente; potremmo dire che quel legno e quella chioma, erano fatti dal clima, anno dopo anno, giorno dopo giorno: se la pioggia non fosse stata sufficiente o se gli estremi di temperatura avessero oltrepassato certi limiti, l'albero non sarebbe mai nato o sarebbe morto molto prima. Questo vale anche per un essere umano, che vive in media poco meno di un secolo, e porta tra le sue rughe e i suoi ricordi i segni degli inverni e delle estati che ha vissuto, con la differenza – rispetto a un albero – che si può muovere in territori e climi differenti e può cercare di modificare a proprio favore l'ambiente domestico

dove risiede. Non c'è dubbio, anche noi siamo fatti dal clima. Eppure fatichiamo a essere precisi quando dobbiamo ricordare eventi meteorologici. Non abbiamo sensori affidabili, le nostre sensazioni di freddo e caldo sono soggettive, dimentichiamo in fretta o confondiamo date ed effetti dei fatti meteorologici. L'albero è più affidabile. Due secoli e mezzo sono già tanti rapportati alla vita umana, ma sono un nulla sui tempi terrestri di milioni di anni, il «tempo profondo» descritto da Henry Gee (2006). La nostra conoscenza del clima misurato sistematicamente non va oltre tre secoli, ma abbiamo una memoria scritta molto più lunga, dell'ordine di un paio di millenni e una ancora più estesa se ci basiamo sulle misure indirette di fenomeni geochimici e biologici che hanno mantenuto traccia di relazioni con fenomeni atmosferici. Ricostruire quanto più in dettaglio possibile la storia del clima di una regione è estremamente importante sia a fini applicativi e di progettazione delle imprese umane, sia per comprendere i nuovi orizzonti del cambiamento climatico causato dalle nostre stesse attività. Per tutta la sua esistenza, la nostra specie ha subito i cambiamenti climatici ma non li ha determinati, salvo poche influenze locali e temporanee dovute alla deforestazione. Da quando l'Avez del Prinzip era un giovane albero abbiamo invece iniziato – con lo sviluppo della rivoluzione industriale basata sui combustibili fossili – a modificare inconsapevolmente ma significativamente la composizione chimica dell'atmosfera e il bilancio energetico della Terra. Per questo abbiamo bisogno di cambiare prospettiva, uscire dal comodo alibi di «il clima è sempre cambiato, e non per colpa nostra» per capire che «il clima sta cambiando in modo inedito a causa nostra e questo ci permette ancora di intervenire per evitarlo». Ogni giorno sentiamo commenti superficiali sul clima, ricordi distorti, sensazioni personali infondate, immaginazione e approssimazione climatica, aspettative irrealistiche e sicurezze ingiustificate. Il tutto proferito da chi nemmeno si ricorda il tempo che ha fatto un mese prima e pretende, da totale profano, di pontificare su quello che ha fatto in secoli e millenni. La storia del clima è oggi un campo di ricerca complesso, multidisciplinare e in pieno sviluppo, rappresentativo di una comunità scientifica internazionale tanto variegata e autorevole quanto ignorata e spesso dileggiata. La applichiamo qui all'Italia, che fu culla della conoscenza climatologica e perse in seguito questo primato, dimenticando sotto la polvere degli archivi una conoscenza che ora potrebbe esserne molto utile per non finire travolta da un clima ignoto, proprio come l'Avez del Prinzip, schiantato da una raffica di vento in una notte d'autunno.

## *Risorgimento climatico.*

Quando nel 1986, avevo vent'anni, entrai nel gruppo di operatori glaciologici del Comitato glaciologico italiano, ebbi la possibilità di frequentarne la biblioteca. Era un modesto locale incastonato nel dedalo di sale e corridoi di palazzo Carignano a Torino, sede del primo parlamento del Regno d'Italia e del Museo nazionale del Risorgimento. Una stanza di una ventina di metri quadrati, tappezzata di libri e schedari, una scrivania ingombra di carte e vecchia posta presso una finestra che dava sul cortile interno e un minuscolo servizio igienico, anch'esso ingombro di ciarpame. Tutto sapeva di anticaglia polverosa, avvolta da un'aura ottocentesca, nel senso che pareva che da un secolo nessuno avesse fatto nulla per migliorarne le condizioni. Una segretaria, per nulla interessata ai ghiacci, passava in quella bottega oscura un pomeriggio alla settimana, apriva le buste contenenti riviste internazionali in scambio con il «Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano» e sbrigava il minimo sindacale della contabilità. In quelle poche ore in cui mi era permesso l'accesso io cercavo di scandagliare quello scrigno di conoscenza scientifica e assorbirne il più possibile. Centinaia di volumi, estratti di riviste scientifiche di mezzo mondo, annuari geofisici, che fin dal 1895 si erano stratificati in quella piega nascosta del vasto palazzo torinese. Non mi sembrava vero poter disporre di dati sul clima del passato e del presente provenienti da tutto il mondo: in un'epoca che ancora non conosceva la potenza delle ricerche informatizzate su Google, credo che quello fosse uno dei pochi luoghi in Italia dove consultare la collezione completa del «Journal of Glaciology», i preziosi manuali rossi della International Association of Hydrological Sciences (IAHS), o i dati meteorologici delle stazioni di ricerca dell'Artico canadese. Mi perdevo così tra le carte ingiallite di esploratori dei ghiacciai alpini, come il glaciologo di Gressoney Umberto Mònterin, o tra studi in inglese che iniziavano allora a parlare di riscaldamento globale, pubblicati su riviste d'avanguardia come la prestigiosa «Climatic Change», fondata da Stephen H. Schneider nel 1977.

Fu tra quegli scaffali che incontrai i primi saggi di storia del clima, che ho divorato in piedi, appoggiato allo scaffale, quasi in trance, come magnetizzato: libri e dati appresi per la prima volta che ti segnano per la vita perché ti aprono orizzonti inattesi e promettono esplorazioni feconde. Ovviamente fu lì che trovai il grande classico metodologico dello storico francese Emmanuel Le Roy Ladurie, *Tempo di festa tempo di carestia. Storia del*

*clima dall'anno mille*, uscito in Francia nel 1967 e tradotto in italiano da Einaudi nel 1982. Gli editori hanno ancora un ruolo: quel seme gettato allora produce come frutto queste pagine quarant'anni dopo. Oggi quella stanza a palazzo Carignano non c'è più: la ristrutturazione del Museo del Risorgimento l'ha espulsa come un corpo estraneo, e la biblioteca del Comitato glaciologico italiano ha fortunatamente trovato posto in corso Massimo d'Azeglio, nell'ex palazzo dell'Istituto Galileo Ferraris, di fronte al parco del Valentino, dove ora la documentazione storica è finalmente gestita con cura e disponibile alla collettività. Ma anche allora, quella biblioteca relegata nell'oblio, il suo compito di accendere la fiamma della ricerca paleoclimatologica in un nuovo discepolo l'aveva comunque svolto.

Mi resi subito conto che gli studi di climatologia storica in Italia erano pochi e frammentati. Mancava una scuola permanente e durevole, tutto era frutto di iniziative sparse e occasionali da parte di docenti in discipline geografiche, storiche, economiche, archeologiche. I fisici dell'atmosfera non dialogavano con gli umanisti, gli storici non ritenevano importanti le scienze ambientali. Le pubblicazioni dei dati erano disperse tra bollettini di accademie locali e disordinate miscellanee, alcune inconsultabili, altre a rischio deterioramento per via della carta di cattiva qualità. Mi fu guida in questo labirinto Giovanni Mortara, geologo esperto di ghiacciai e alluvioni in servizio presso la sede torinese del CNR - IRPI (Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica), grande conoscitore tanto degli archivi cartacei quanto dei segni sul terreno lasciati dalle catastrofi climatiche del passato: con lui ho scoperto oltre alla meticolosità della ricerca delle fonti dei dati anche il fascino del ritrovamento di una citazione, di un vecchio ritaglio di giornale, di una fotografia, di un'antica cronaca o di preziosi manoscritti. Sono passati quasi cinquant'anni da allora ma la situazione della ricerca sul clima d'Italia non è molto cambiata. Il tema soffre ancora di grande frammentazione istituzionale e disciplinare che va dai paleopalinologi agli economisti agrari. Certo, abbiamo un'enormità di dati in più, nuove ricerche locali, l'aiuto eccezionale di internet, grazie alla disponibilità dei testi antichi e moderni digitalizzati e gratuiti, tuttavia manca ancora un archivio nazionale informatizzato sugli eventi climatici e i dati meteorologici, e questo accade nel Paese al mondo che forse ha più informazioni cronachistiche ancora tutte da recuperare, da esplorare, da interpretare e pubblicare. È venuto il momento di fare un po' d'ordine e tracciare un primo quadro sinottico, un punto d'inizio per sviluppi futuri. Il problema più

significativo che mi sono trovato ad affrontare è la sintesi di un capitale conoscitivo enorme. Per evitare l'effetto «elenco telefonico» mi sono limitato a una narrazione in grado di mettere in luce le tappe fondamentali della storia climatica italiana, altrimenti il numero di pagine sarebbe andato fuori controllo e la lettura di un lungo catalogo di eventi climatici ne sarebbe uscita penalizzata. Ci sono oggi altre sedi per memorizzare le informazioni, e la banca dati digitale della Società meteorologica italiana (progetto Archlim) o quella Polaris del CNR sugli eventi alluvionali può esserne il primo nucleo. Il secondo problema è quello della gestione delle note e della bibliografia. Il rischio di questo genere di opere è quello di interrompere ogni riga con un rimando a una nota e a una fonte, anche in questo caso rendendo ostica la lettura. Ho scelto di evitare del tutto le note, inserendo quante più informazioni nel flusso narrativo, citando le fonti direttamente nel testo – portate pazienza per le frequenti parentesi con nomi e anni – o nella bibliografia finale, sapendo che oggi è facile reperirle con una ricerca su internet, così come i grafici presenti nelle pubblicazioni originali.

Troverete una storia climatica geograficamente sbilanciata sulle regioni settentrionali italiane, un po' meno completa su quelle centro-meridionali. Ciò deriva dalla mia competenza specifica: ho dedicato la vita alla ricerca climatica su Alpi e bacino padano e ho meno dimestichezza con altri territori dove mi sono limitato ad attingere alla letteratura esistente. Il carattere sintetico di questo primo lavoro non ha del resto la pretesa di essere esaustivo, ma piuttosto quella di attivare la curiosità per continuare il lungo percorso di recupero e organizzazione delle informazioni ancora disperse, che vi invito a segnalare alla Società meteorologica italiana.

### *La storia del clima come disciplina scientifica.*

Per gran parte del Novecento la storia climatica è stata ignorata negli ambienti della storia con la «S» maiuscola. Gli eventi meteorologici estremi o le lente derive climatiche erano considerati accidenti locali e temporanei non in grado di influenzare il corso degli eventi umani. Questa posizione è nata da una reazione moderna alla corrente precedente del *determinismo geografico* o ambientale – la *théorie des climats* nota fin da autori classici come Ippocrate e Aristotele, e sostenuta da Montesquieu, che attribuiva i caratteri morali, culturali e politici di un popolo alle condizioni geografiche e climatiche.

Ovviamente, secondo quel punto di vista, i popoli dei climi freddi erano barbari, quelli dei climi caldi erano fannulloni, solo i popoli dei climi temperati centro-europei erano intelligenti e virtuosi! I sentori di razzismo e di colonialismo di queste affermazioni, portate all'estremo dal geografo tedesco Friedrich Ratzel (1844-1904), le hanno rese politicamente scorrette e imbarazzanti al punto da espellerle completamente dalla narrazione storiografica. Come sempre, atteggiamenti di questo genere sono poco produttivi e rischiano di occultare quanto di vero era presente in alcune ipotesi. Gli storici dell'ambiente Marco Armiero e Stefania Barca, hanno giustamente osservato che «il determinismo è sempre in agguato quando si fa storia dell'ambiente. Ed è proprio per evitare il determinismo che l'ambiente è stato a lungo bandito dal terreno degli storici: nessuno voleva cadere in semplificazioni magari razziste che spiegassero con i dati della natura i caratteri delle società. Ma è determinismo ricordare che le opzioni date non erano infinite, che non tutto e dappertutto era ugualmente alla portata delle diverse società, che il clima, la chimica dei suoli, la zoologia hanno condizionato in modo pesante i destini delle civiltà? O forse non è ancor più determinista ricondurre tutte le differenze alle culture, intendendo queste come variabili indipendenti dai contesti ecologici?» (Armiero e Barca 2004).

Oggi si tende a riconoscere che i fattori fisici del territorio esercitano condizionamenti significativi sebbene non univoci e predefiniti, lasciando all'arbitrio umano la possibilità di affrontarli con modalità differenti: è la corrente del *possibilismo geografico*, teorizzato dal geografo francese Paul Vidal de la Blache (1845-1918) e perfezionato dallo storico Lucien Febvre (1878-1956), fondatore dell'École des Annales. Secondo questa concezione, l'uomo non è rigidamente vincolato dall'ambiente fisico, ma diviene esso stesso un fattore geografico in grado di plasmare il territorio; gli eventi ambientali possono condizionare il corso della storia ma lo fanno in modo accidentale, senza condannare a percorsi obbligati la società soltanto perché ancorata a una certa regione del mondo. Le vicende climatiche sono viste in sostanza come fenomeni ancillari, che talora amplificano instabilità interne alle popolazioni, come le migrazioni o le rivolte per fame dovute a cattivi raccolti causati da clima avverso o la diffusione di epidemie, ma non così importanti da determinare univocamente l'intero corso della storia. In Italia la parabola della «teoria dei climi» è stata studiata in dettaglio dal geografo dell'Università di Pisa Mario Pinna (1988), ma sarà lo storico francese Emmanuel Le Roy Ladurie, nato nel 1929 e scomparso il 22 novembre 2023, a

divenire il vero padre fondatore della climatologia storica, assegnando agli eventi climatici il ruolo di «pistolero meteorologico», in grado di dar fuoco alle polveri in certi momenti critici della società umana. I primi lavori di Le Roy Ladurie sul clima sono del 1959: erano anni – dichiara lui stesso – nei quali parlare di storia del clima negli ambienti accademici esponeva a derisione, scherno e addirittura ostilità. Dovrà passare una decina d'anni affinché il tema, complice anche il risveglio d'interesse per l'indagine scientifica del clima passato conseguente alle preoccupazioni crescenti per il riscaldamento globale, si consolidi internazionalmente in una disciplina, e ciò avverrà tramite un altro grande lavoro, questa volta britannico: la monumentale opera del climatologo Hubert Horace Lamb edita tra il 1972 e il 1977 *Climate. Present, past and future*. A rileggerla oggi appare datata e un po' superficiale, molti nuovi dati sono emersi nel frattempo e cambiano certe posizioni (come l'entità dell'Optimum termico medievale, oggi assai ridimensionato), ma rimane pur sempre una pietra miliare. Sarà poi in Svizzera che Christian Pfister istituirà una vera e propria scuola di climatologia storica all'Università di Berna, con la banca dati EuroClimHist e molti lavori sulla storia climatica elvetica ed europea (Pfister 2015a; Pfister, White e Mauelshagen 2018): queste pagine sono in parte l'esito della collaborazione italiana a quella banca dati internazionale.

### *La storia del clima in Italia.*

In Francia, oltre ai già citati studiosi, avevamo già avuto nel 1845 la pubblicazione delle oltre 500 pagine di *Des Changements dans le climat de la France. Histoire de ses révolutions météorologiques* da parte di Joseph-Jean-Nicolas Fuster (1801-1876), nonché il poderoso lavoro di François Arago *Sur l'État thermométrique du globe terrestre* nel 1858, entrambi ricchissimi di riferimenti su eventi climatici del passato estratti dalle più importanti cronache europee e poi aggiornati meticolosamente nel 1987 da Pierre Alexandre, che si spinse a considerare anche notizie dell'Italia centro-settentrionale. In Italia è invece sempre mancata una monografia sulla storia del clima, benché siano innumerevoli gli studi locali che ne parlano. Vittorio Cantù e Pierino Narducci del Servizio meteorologico dell'Aeronautica militare provarono a fare un po' d'ordine, compilando la *Bibliografia climatologica italiana*, giunta alla quinta edizione (2019), sebbene con

integrazioni recenti soltanto parziali, la quale a partire dal 1561 riporta oltre 3000 riferimenti (purtroppo non sono numerati). Ciò fornisce la misura della dispersione delle fonti, limitate a quelle del solo settore meteoclimatologico a cui vanno aggiunte tutte quelle ancora più disperse del settore storico-archeologico e i lavori più recenti della paleoclimatologia pubblicati sulle riviste internazionali. Credo si possa facilmente moltiplicare per dieci il numero delle pubblicazioni censite. Lo storico del clima Martin Bauch (2018a) rileva che «la storia del clima medievale d'Italia è piuttosto carente. Le fonti narrative per i secoli XIII e XIV sono incredibilmente dense, ma salvo poche eccezioni non sono state esplorate nei riguardi della storia climatica. Gli storici del clima delle altre regioni d'Europa non possono far altro che sognare di accedere a questa ricca documentazione». E ricorda giustamente gli sforzi di recupero di citazioni storiche condotte fin dal 1980 da Emanuela Guidoboni (2010), Dario Camuffo (1990), Dario Camuffo e Silvia Enzi (1992) e Silvia Enzi e colleghi (2013). Ma pensiamo ai mille giacimenti di informazione ancora da esplorare, archivi di Stato, biblioteche, Istituto storico italiano per il Medio Evo. Sogno un archivio informatizzato che contenga tutte le segnalazioni sul clima italiano consultabili da chiunque. Ci furono in passato tentativi di abbozzare una storia del clima alpino con il glaciologo Umberto Mönterin, il quale sulla scorta delle variazioni dei ghiacciai del monte Rosa pubblicò nel 1937 il pionieristico studio *Il clima sulle Alpi ha mutato in epoca storica?*, seguito negli anni 1970-80 dai lavori di Mario Pinna (1923-2001). Ma la climatologia storica italiana soffre ancora di una forte separazione disciplinare: gli storici e gli archeologi non parlano con i climatologi se non in modo episodico, e non si sono ancora integrati in un'unica disciplina gli enormi progressi delle scienze paleoclimatologiche (dendrocronologia, paleopalinologia, glaciologia, sedimentologia, geografia fisica, geochimica, speleoclimatologia) che forniscono verifiche incrociate e dati quantitativi rispetto alle informazioni cronachistiche. Vi sono ancora incomprensioni e campanilismi che fanno ritenere superiori le discipline umanistiche rispetto a quelle scientifiche o viceversa. La realtà è che abbiamo bisogno delle competenze di tutti: lo storico deve approfittare dei dati oggettivi ottenuti dalle scienze naturali, il climatologo deve avvalersi delle capacità degli storici e paleografi di scoprire, leggere e interpretare documenti che talora sono inaffidabili o addirittura falsi, proprio come afferma Pfister (2003): «per i geografi e i climatologi spesso è difficile seguire le riflessioni di critica alle fonti degli storici. In questo caso la collaborazione

interdisciplinare richiede una notevole fiducia reciproca nella competenza in materia dei collaboratori». Un tentativo di questo genere fu da noi effettuato con il progetto Archlim (2010-2012) tra Società meteorologica italiana e dipartimento di Storia dell’Università di Torino, insieme al medievista Giuseppe Sergi e alla paleografa Patrizia Cancian, e ha dato origine a una ricostruzione interdisciplinare del clima medievale dell’Italia settentrionale pubblicata su un numero speciale della rivista «Nimbus» (Cancian *et al.* 2012; Mercalli *et al.* 2012). Tuttavia c’è ancora molta strada da fare se si considera che un moderno manuale di storia come i due volumi di *L’età contemporanea* di Alberto Mario Banti (2009) fonda il metodo storico su politica, economia, società e cultura: manca l’ambiente, come se tutte le vicende umane avvenissero in una bolla astratta dal mondo reale, che è invece governato dalle leggi fisiche universali, delle quali il clima è una delle espressioni più vincolanti. La sfida per la storia del clima risiede pertanto nell’attribuire al tempo e al clima il loro ruolo opportuno nelle vicende umane, senza sottovalutazioni o esagerazioni (Pfister, White e Mauelshagen 2018). Il mosaico del sapere è ancora molto frammentato e non è qui possibile nominare tutti gli studiosi, soprattutto contemporanei, che hanno contribuito alla conoscenza del clima storico d’Italia, sia in campo umanistico sia nel settore delle scienze del sistema terrestre. Ne incontreremo una parte nella bibliografia ma a tutti vada la gratitudine per aver aggiunto il loro mattoncino di sapere, io mi limito qui a disporli in fila quali fondazioni di un più solido futuro edificio.

### *Tempo e clima, archivi storici, archivi biogeochimici.*

Ricordiamo la differenza tra tempo meteorologico e clima: il primo riguarda lo stato dell’atmosfera osservato in un preciso momento, il secondo ha una maggiore complessità in quanto comprende sia lo stato medio dell’atmosfera in una determinata regione osservato su almeno un trentennio, sia la distribuzione statistica dei fenomeni, inclusi quelli rari o estremi. Banalizzando possiamo dire che il clima è la somma su un lungo periodo del tempo meteorologico. La variazione o cambiamento del clima è invece una tendenza a lungo termine che modifica la media e la distribuzione degli estremi dei valori tipici di una regione o del pianeta. Le ricostruzioni del clima del passato riguardano sia informazioni sulle medie di lungo

periodo (decenni, secoli o millenni), come la temperatura media degli oceani ottenuta da analisi isotopica di resti fossili, sia tracce di eventi locali brevi e intensi, come i sedimenti di un'alluvione che hanno sepolto uno strato sottostante. Le cronache storiche, databili con precisione, sono però in genere riferite a eventi meteorologici brevi e intensi che hanno lasciato una traccia negli archivi, come un episodio di gelo eccezionale o una tempesta che ha distrutto un raccolto. Sono in sostanza manifestazioni più meteorologiche che climatiche. Tuttavia, quando si analizzano su una vasta regione e per lunghi periodi, da queste cronache è possibile estrarre, in termini di frequenza e intensità, anche un'informazione sul clima dominante di un certo periodo. Insomma, bisogna mettere tutte le informazioni insieme – tanto quelle biogeochimiche quanto quelle archivistiche – per ottenere un quadro più completo possibile sul clima di un territorio. Una piccola nota metodologica sulla datazione degli eventi: se per i dati provenienti da archivi naturali ci si affida al decadimento radioattivo di alcuni isotopi, dal carbonio-14 al berillio-10, in grado di fornire precisioni di alcuni decenni, talora anni, ma sempre con un'incertezza significativa, i documenti scritti sono più affidabili ma non sempre chiari e univoci. Intanto vi è il problema della conversione delle date dal calendario giuliano a quello gregoriano introdotto nel 1582, o dei diversi stili in uso a livello locale, come a Venezia (Camuffo *et al.* 2017a), poi vi è l'effetto degli errori di interpretazione, copiatura e stampa succedutesi nei millenni (White, Pfister, e Maelshagen 2018). In alcuni studi sono state pubblicate date corrette, in altri – e sono i più frequenti – date originali, contribuendo a creare una notevole confusione, almeno a livello dei giorni, ma spesso anche a scala annuale. Poiché ci vorrebbero verifiche incrociate e anni di lavoro per creare una datazione omogenea, in questo volume ho scelto di riportare le date originali come compaiono sui documenti consultati, salvo pochi casi nei quali ho evidenziato dubbi o correzioni.

*Il clima mediterraneo a due tempi e il Paese dove fioriscono i limoni.*

Se si eccettua la regione alpina, l'Italia è rappresentativa del clima mediterraneo delle medie latitudini (tra 36 e 46° N) che ha come carattere principale un inverno fresco e piovoso e un'estate lunga, calda e molto asciutta. Una certa narrazione classica e romantica ha creato il mito di un

clima mediterraneo e soprattutto italiano sempre tiepido e favorevole alle attività umane, un’eterna primavera dove le fronde stormiscono mosse dagli zefiri mentre il pastore dorme in una quieta ombra meridiana. Uno scenario eternato nella «Canzone dell’Italia» di Goethe: «Conosci tu il paese dove fioriscono i limoni, | Nel verde fogliame splendono arance d’oro | Un vento lieve spirà dal cielo azzurro | Tranquillo è il mirto, e sereno l’alloro | Lo conosci tu bene? | Laggiú, laggiú...», riportato nel romanzo di formazione *Gli anni di apprendistato di Wilhelm Meister* del 1795. Ci sta che un tedesco vissuto nella Piccola età glaciale in un clima freddo e cupo sogni la luce solare delle coste italiane in modo cosí pittoresco. D’altra parte non poteva conoscere il clima delle Maldive, quello sí dove si può vivere tutto l’anno in costume da bagno, con una temperatura media costante di 28 °C, limitate escursioni termiche giornaliere e stagionali, 2800 ore di sole all’anno, carezzevoli brezze marine, e brevi temporali, qualche tifone, ma raro. In realtà il clima mediterraneo è molto piú severo, variabile, capriccioso e incostante di quanto voglia la sua reputazione. Ne dà una splendida definizione lo storico Fernand Braudel (1902-1985), non a caso discepolo di Lucien Febvre, in *Memorie del Mediterraneo* (1969, pubblicato postumo nel 1998): lo definisce un «motore a due tempi», un rude inverno e una rovente estate, con stagioni intermedie sfumate e poco significative. Scrive Braudel: «questo motore può avere un funzionamento irregolare, la pioggia può arrivare troppo presto o troppo tardi, può essere troppo abbondante o insufficiente, l’inverno può avere un andamento primaverile, i venti capricciosi possono portare, inopportunamente, siccità o eccesso d’acqua o gelate primaverili che bruciano il fiore del grano e il germoglio della vite, oppure il colpo di scirocco che secca il grano quando non è ancora maturo. I contadini del Mediterraneo hanno sempre temuto queste sorprese, che possono distruggere tutto in un istante [...]. Ma l’inverno mediterraneo ha la sua dolcezza; nelle pianure piú basse nevica raramente; a volte si hanno giornate serene e soleggiate senza che per forza soffi il mistral o la bora; il mare stesso offre una calma inattesa [...]. Ecco, il motore a due tempi del clima mediterraneo a volte s’inceppa, batte in testa o scalda troppo, fuma e carbura male, ma gira sempre e ha accompagnato con le sue accelerate e le sue frenate lo sviluppo della civiltà. Iniziamo dunque questo viaggio dai nostri antenati di oltre venti millenni fa.

## Dall'ultima glaciazione al mondo pre-romano

### *Spettatori della glaciazione.*

La Dama del Caviglione e il giovane Principe delle Arene Candide osservano dalla riviera ligure di Ponente un gelido Mediterraneo di 24 000 anni fa. Non sanno di vivere al culmine dell'Ultimo massimo glaciale (Last Glacial Maximum, LGM – Seguinot *et al.* 2018), quella che un tempo era chiamata in Europa «glaciazione würmiana» dall'omonimo fiume della Baviera dove fu identificato il massimo avanzamento della fronte glaciale di quella fase fredda iniziata circa 110 000 anni fa e terminata 11 700 anni fa. Sono uomini di Cro-Magnon, individui di *Homo sapiens* dell'epoca gravettiana (Paleolitico superiore) che in piccoli nuclei – forse non più di centomila individui – abitano le zone meno fredde d'Italia, dove possono trovare prede animali e un po' di vegetazione. Alla loro morte la Dama verrà sepolta nella grotta dei Balzi Rossi presso Ventimiglia, il Principe nella grotta delle Arene Candide di Finale Ligure, entrambi ornati con una splendida cuffia di piccole conchiglie marine e denti di cervo posta sul capo. Il paesaggio che questi due nostri antenati avevano di fronte era molto diverso dall'attuale: il livello del mare era circa 125 metri più basso di quello odierno, in quanto una enorme quantità d'acqua era immobilizzata nelle calotte glaciali. La carta d'Italia dell'Ultimo massimo glaciale ricostruita dal progetto Climex-ENEA (2004) ci mostra una Corsica unita alla Sardegna, una Sicilia che aveva già il suo ponte sullo Stretto di solida roccia, un'isola d'Elba unita alla costa toscana e un Adriatico striminzito, più che dimezzato, sostituito da una vasta pianura emersa percorsa dal Po che trovava la sua foce all'altezza del confine tra Marche e Abruzzo e diventava un mare aperto solo di fronte al Gargano. La costa adriatica e quella dalmata erano dunque unite da una steppa fredda e arida che poteva essere agevolmente attraversata a piedi, 150 chilometri da Ancona a Zara. Alle spalle dei nostri due personaggi liguri paleolitici ci sono le Alpi Marittime coperte di neve anche in estate fino a circa 1850 metri

(Federici, Ribolini e Spagnolo 2017) e appena superato il crinale verso il bacino del Po, all'interno delle valli alpine occidentali, compaiono i ghiacciai che fanno capolino fin verso la pianura-steppa-tundra padana. È un paesaggio battuto dal vento, innevato d'inverno, ricoperto d'estate da una magra vegetazione erbacea con boschi di pini e larici presenti nelle zone più miti prealpine e preappenniniche, un po' come è oggi il paesaggio scozzese. Più a nord una gigantesca fronte glaciale esce dalla valle di Susa e si spinge fino a un crocevia di fiumi dove sarebbe poi sorta Torino: restano a testimoniare di quell'avanzata i laghi di Avigliana, le rocce mordonate dove sorge la sacra di San Michele e i massi erratici di Caselette, di Pianezza, di Villarbasse, oggi avvolti da un ignaro traffico automobilistico e da villette a schiera (Gianotti e Giardino 2018). Grandi dune di limo glaciale – il loess – sono accumulate dai tempestosi venti occidentali sulle colline torinesi (Forno 1979). Ancora più a nord un altro enorme fronte glaciale si apre a ventaglio allo sbocco della Valle d'Aosta: è il possente ghiacciaio Balteo, nasce dal monte Bianco e con i suoi detriti edifica come una ruspa la rettilinea morena laterale sinistra oggi nota come serra d'Ivrea (Gianotti 2012). Altri grandi ghiacciai sboccano dai solchi ora occupati dai laghi prealpini – Verbano, Lario, Benaco, dove la gigantesca fronte glaciale aveva a più riprese edificato le colline di Desenzano e Peschiera, fino al ventaglio glaciale all'uscita del Tagliamento in pianura. Vari depositi di loess costellano il paesaggio e ne rimane traccia oltre che sulla collina di Torino nei geositi di Romanengo (Crema), Ghiardo (ai piedi dell'Appennino, a sud di Reggio Emilia), Valenza Po (Monferrato), val Sorda e Gajum (morena sinistra del Garda), cava di Monte Netto a Capriano del Colle, a sud di Brescia (Bollati e Zerboni 2021). In queste lande fredde, secche e ventose si aggira una fauna di cervi, caprioli, camosci, stambecchi, cinghiali, cavalli, bisonti, orsi, prede di caccia che hanno nutrito e vestito per millenni quegli arcaici popoli italici che vagavano inseguendo branchi e mandrie di selvaggina. Le Alpi erano invece precluse a ogni penetrazione, sigillate in una calotta glaciale spessa oltre 1000 metri. Modesti ghiacciai occupavano anche i valloni appenninici e avvolgevano il Gran Sasso, il massiccio del Pollino (2248 m) e del monte Sirino (2005 m), in Basilicata, dove le fronti si sono spinte fino a 1200 metri con limite delle nevi perenni a 1600 (Giraudi 1998). Anche in una giornata estiva dell'ultima glaciazione le temperature massime non superavano i 18 °C in pianura Padana e riviera Ligure e a stento toccavano i 20 °C in Sicilia; la temperatura media globale era di circa 4-7 °C più bassa di oggi (Marcott e Shakun 2021)

ma sull'Italia era piú bassa di circa 8 °C (Annan e Hargreaves 2013). Per farsi un'idea di quello che probabilmente fu l'ambiente piú ostile che i nostri predecessori dovettero mai affrontare rimando all'ottima sintesi di Marco Peresani (2018) *Come eravamo. Viaggio nell'Italia paleolitica*, e per capire come questo paesaggio glaciale creò un imprinting durevole di abitudini sociali libere, senza confini, dominî né dominatori, e sistemi di controllo collettivo tenui e mutevoli a livello stagionale, vi indirizzo al poderoso *L'alba di tutto. Una nuova storia dell'umanità* di David Graeber e David Wengrow (2022).

### *La memoria del fango.*

Ricostruire il clima all'apice dell'ultima glaciazione – tra circa 25 000 e 22 000 anni fa – è relativamente facile: si è trattato di un evento cosí potente, pervasivo e grandioso che ha lasciato tracce geomorfologiche inequivocabili sul terreno: colossali morene, massi erratici, rocce montonate, laghi glaciali, abbassamento di 125 metri del livello marino. Meno evidenti le tracce dei millenni successivi, quelli della deglaciazione e della trasformazione del territorio come lo vediamo oggi. Bisogna cercare archivi naturali che abbiano mantenuto inalterate le informazioni di quei remoti periodi e ci restituiscano dati correlabili con la temperatura e la piovosità. All'alba dell'8 ottobre 2013 siamo infreddoliti su un parcheggio dell'alta valle di Champdepraz, nel Parco naturale del Mont Avic, in Valle d'Aosta. Davanti a noi ci sono ben ordinati vari involucri di materiali, tubi, cingoli, motori, casse di attrezzi. Ecco il rombo dell'elicottero: iniziano i voli di trasferimento verso la torbiera Pessey, a quota 1730 metri, in un pianoro nascosto di eccezionale bellezza, tra rupi, pascoli e boschi di pino uncinato. Ma non c'è tempo di godersi il panorama idilliaco, l'autunno avanza, tra poche settimane qui arriverà la prima neve e bisogna prelevare i campioni di torba. Gli operai specializzati montano la sonda geognostica su plance metalliche per non rovinare la delicata cotica erbosa, si avvia il motore, si aggiungono i tubi e si inizia a estrarre ciò che sta sotto i nostri piedi. Siamo tutti curiosi quando si svuota il carotiere e si dà una prima occhiata alla carota di fango. Esce prima lo strato organico di torba, circa un metro, poi limi e argille grigastre, lenti di sabbia e ghiaia fino ai detriti basali, a una decina di metri di profondità. Numeriamo e riponiamo le sezioni di carota in appositi contenitori ed è quasi buio quando rientriamo a valle. Ora la parola passa al laboratorio di paleopalinologia

dell’Orto botanico dell’Università di Torino e dell’Università del Molise. Dentro questa decina di metri di fango è racchiusa la storia del clima e del suolo degli ultimi 12 000 anni, ovvero da quando il grande ghiacciaio balteo si è ritirato da questi valloni e vento, pioggia, alluvioni e valanghe hanno iniziato a trasportare sedimenti in questa conca lacustre che si è pian piano intonacata insieme ai pollini delle erbe e degli alberi e ai frammenti di insetti, foglie e legnetti (macroresti). Le torbiere sono eccezionali archivi naturali in quanto il loro ambiente acido, saturo d’acqua e povero di ossigeno conserva i resti biologici impedendone la decomposizione. Datazioni al carbonio-14 e analisi al microscopio fatte a livelli successivi di profondità permettono di ricostruire la vegetazione del passato e quindi il tipo di clima. Dopo mesi di analisi finalmente arrivano i risultati: la base della torbiera è vecchia di circa 6000 anni, al di sotto ci sono i sedimenti glaciali, ghiaia, sabbia e limo. Nel materiale organico la sequenza pollinica conferma l’evoluzione naturale e poi umana del paesaggio, con la comparsa del castagno introdotto dai Romani duemila anni fa. Nessuna scoperta eclatante. La torbiera Pessey si è rivelata un archivio naturale modesto. Darà comunque luogo alla nostra pubblicazione scientifica (Aroba *et al.* 2016) e a due tesi di laurea, e il tutto si aggiungerà alle decine di migliaia di analisi effettuate in giro per il mondo per ricostruire il clima e il paesaggio vegetale del passato, insieme agli speleotemi (analisi delle concrezioni nelle grotte), ai sedimenti lacustri e marini, alle carote glaciali in ambiente polare, alla dendroclimatologia (analisi degli anelli di accrescimento degli alberi). Archivi silenziosi ma così diffusi da permettere una ricostruzione continua dell’ambiente e del clima fino a milioni di anni fa. Vediamo allora cosa succede in Italia al termine dell’ultima glaciazione.

### *I ghiacci si ritirano: il Tardoglaciale tra alti e bassi.*

L’Ultimo massimo glaciale è stato preceduto da almeno altri sette eventi simili negli ultimi 800 000 anni, causati da raffreddamenti indotti da variazioni nella geometria orbitale, i cicli di Milankovic, e dalle variazioni di concentrazione della CO<sub>2</sub> atmosferica, gas regolatore dell’effetto serra. Queste avanzate glaciali, intervallate circa ogni 100 000 anni da periodi miti interglaciali con regresso dei ghiacci, sono state numerate con numeri pari secondo la classificazione degli Stadi isotopici marini (Marine Isotope

Stages, MIS), da 20 a 2 (Monegato *et al.* 2023). L'Ultimo massimo glaciale di cui stiamo parlando è dunque MIS2 e terminò circa 15 000 anni fa, aprendo la strada all'interglaciale MIS1 (numeri dispari), che dà anche inizio all'Olocene, periodo nel quale stiamo vivendo e che nella sua estremità più recente viene ormai chiamato Antropocene (sia pure in modo non ancora ufficialmente riconosciuto). Questi metodi d'indagine basati sul rapporto isotopico Ossigeno-18 / Ossigeno-16 sono stati ideati presso l'Università di Chicago dal geologo italiano Cesare Emiliani (1922-1995), fondatore della paleoceanografia, verso la metà degli anni Cinquanta. L'analisi delle carote di ghiaccio estratte dalle calotte polari, in particolare il progetto Epica in Antartide, nel quale i ricercatori italiani hanno avuto un ruolo di eccellenza scientifica internazionale, hanno confermato questi cicli glaciali di circa 100 000 anni (Epica community members 2004). I paleobotanici utilizzano un'ulteriore classificazione climatica per l'ultimo periodo postglaciale, il Tardoglaciale, basata sullo studio dei pollini fossili, il sistema di Blytt-Sernander dal nome degli autori delle analisi condotte su torbiere danesi: Axel Blytt (1876) e Rutger Sernander (1908). Benché piuttosto impreciso, con limiti temporali che vengono spesso aggiornati in base a nuove datazioni, è ancora molto utilizzato e quindi lo riassumiamo qui:

*Termine del Pleistocene e fine dell'ultima glaciazione.*

15 000 anni BP (Before Present, anni dal presente, dove con «presente» si intende per convenzione il 1950 Anno Domini).

*Bølling.*

14 700-14 000 BP. Breve periodo caldo «interstadiale», cioè tra due stadi di relativa avanzata glaciale. Le calotte glaciali fondono rapidamente, il livello marino sale di alcune decine di metri.

*Older Dryas (Dryas arcaico).*

14 000-13 600 BP. Breve periodo freddo e asciutto «stadiale». Prende il nome dalla *Dryas octopetala*, pianta erbacea alpina indice di clima freddo i cui resti sono frequenti nei depositi organici di quel periodo.

*Allerød.*

13 600-12 900 BP. Fase interstadiale di risalita delle temperature, a livelli intermedi tra il clima glaciale e quello attuale, inferiori a quelle del Bølling. Il livello marino continua ad aumentare di alcune decine di metri, portandosi a circa 60 metri sotto il livello attuale, e la vegetazione arborea si espande nelle zone precedentemente a tundra.

*Younger Dryas.*

(Dryas recente), 12 870-11 700 BP. Stadiale della durata di poco più di un millennio caratterizzato da un severo ritorno del freddo e da un'avanzata glaciale, segnalato dalla diffusione della *Dryas octopetala*.

*Olocene.*

Da 11 700 anni BP a oggi, contiene lo sviluppo della civiltà umana a partire dalla diffusione dell'agricoltura.

Si divide in:

*Preboreale.*

11 700-10 100 BP. Freddo ma in fase di riscaldamento.

*Boreale.*

10 100-8800 BP. Fresco, asciutto, temperatura in aumento.

*Atlantico.*

8800-5700 BP. Caldo e umido. Massimo termico dell'Olocene (Holocene Thermal Maximum, HTM). È il periodo più caldo degli ultimi 10 000 anni, probabilmente superato soltanto dalle recenti temperature del XXI secolo. Contiene il breve e passeggero raffreddamento dell'8200 BP.

*Subboreale.*

5700-2700 BP. Clima più fresco, avanzano di nuovo i ghiacciai alpini (neoglaciazione), sempre in senso relativo, non è certo una glaciazione vera e propria!

*Subatlantico.*

2700-0 BP. Clima mite con ridotte variazioni, tra cui la Piccola età glaciale della Tarda antichità e la Piccola età glaciale più recente (1250-1850).

Dal 2018 la Commissione Internazionale di Stratigrafia ha introdotto una nuova nomenclatura per l'epoca Olocene, suddividendola in tre sole età:

*Groenlandiano.*

Da 11 700 a 8200 b2k (before 2000, prima del 2000 d. C.). Prende nome dalla carota di ghiaccio NorthGRIP1, estratta in Groenlandia, dove è presente lo stratotipo limite che evidenzia l'evento freddo di 8200 anni fa.

*Nordgrippiano.*

Da 8236 a 4250 b2k. Prende il nome dal North Greenland Ice Core Project e dalla carota di ghiaccio NorthGRIP2. Termina con l'evento arido di 4200 anni fa.

*Meghalayano.*

Da 4250 b2k. È l'epoca più recente, denominata così dallo speleotema della grotta Mawmluh, Meghalaya, India, dove è individuabile il «grande inaridimento» di 4200 anni fa.

Via via entreremo nel dettaglio di questi periodi climatici, ora lasciamo la Dama del Caviglione e il Principe delle Arene Candide che 24 000 anni fa osservano i ghiacciai enormi protendersi nella pianura Padana e il mare più basso di 125 metri rispetto a oggi. Lentamente la posizione della Terra nella sua orbita cambia e l'energia solare che in estate colpisce l'emisfero Nord aumenta. Sulle Alpi i ghiacciai iniziano a ritirarsi all'interno delle valli, attorno a 17 500 anni dal presente i grandi laghi prealpini erano ormai sgombri dai ghiacci, ma passa un tempo lunghissimo prima che attorno a 15 000 anni fa la deglaciazione possa dirsi ben avviata segnando l'inizio del Tardoglaciale würmiano, che si concluderà attorno a 10 000 anni BP. Le tappe e le dinamiche dell'evoluzione del territorio d'alta montagna successive all'Ultimo massimo glaciale, nonché i loro forzanti climatici locali (limite medio della neve a fine estate sui ghiacciai), sono stati ricostruiti per il versante meridionale delle Alpi da Scotti *et al.* (2017) tramite la datazione di depositi glaciali in val Viola, a pochi chilometri da Bormio. In questo

periodo, oltre alle forzanti orbitali primarie, si alterneranno fasi di clima freddo e arido ad altre temperato-umide, generate prevalentemente dal complicato riorganizzarsi delle correnti oceaniche, dall'evacuazione in mare di imponenti rilasci di iceberg dalla calotta glaciale in frammentazione, e dal riversarsi negli oceani di immensi quantità di acqua dolce accumulata dalla fusione dell'inlandsis continentale. Un vero e proprio caos climatico, la cui firma seghettata è contenuta nelle carote glaciali della Groenlandia sotto il nome di eventi di Dansgaard-Oeschger (D-O) ed eventi di Heinrich (HE).

L'analisi dettagliata di questi continui colpi di frusta climatici con alternanza di rapidi raffreddamenti e riscaldamenti, è complicata e richiederebbe molte pagine, quindi non la affronteremo. Ci basti sapere che in questo periodo di temperature comunque più miti rispetto al Pleniglaciale, di aumento sostenuto del livello del mare, e di espansione della vegetazione, i piccoli gruppi umani confinati da decine di migliaia di anni nelle zone rifugio più miti vanno in esplorazione delle aree lasciate libere dal ghiaccio e seguono gli animali e le piante pioniere che pian piano cambiano l'aspetto del paesaggio steppico trasformandolo in foresta.

Descrivere diecimila anni di evoluzione climatica solo sulla base di dati vicarianti, oltre che complicato, può essere anche piuttosto noioso per un non addetto ai lavori: si tratta di interpretare migliaia di diagrammi pollinici, serie dendrocronologiche, datazioni di resti di legno o insetti sepolti sotto sedimenti lacustri o morenici, sequenze di varve glaciali (sedimenti limosi stagionali), speleotemi, microfossili di foraminiferi planctonici. E correlare queste tracce indirette di remoti sbalzi climatici con i ritrovamenti archeologici non è semplice e richiede una grande sintesi interdisciplinare, basata peraltro su un'eccellente squadra di valenti ricercatori italiani di cui non posso elencare qui tutti i nomi. Ci accontentiamo di accennare al riparo Dalmeri (1240 m, altopiano di Asiago), insediamento sottoroccia scoperto nel 1990 che ha rivelato manufatti in selce, punte di osso e resti di stambecco, cervo, tasso, marmotta e pesci, e il riparo Tagliente (250 m, monti Lessini) dove sono stati trovati due ciottoli con immagini graffite di uno stambecco e un bisonte.

*Il Dryas recente e i pinguini in Salento: un colpo di frusta freddo e secco interruppe la deglaciazione.*

Il Dryas recente (Younger Dryas) fu un periodo di 1200 anni dove il freddo riconquistò la scena dell'emisfero settentrionale e dell'Europa, interrompendo il riscaldamento dell'interstadiale Bølling-Allerød. Abbiamo già detto che prende il nome dalla piccola pianta alpina *Dryas octopetala*, la specie guida dei depositi organici che hanno permesso di identificare questa battuta d'arresto nella deglaciazione. L'inizio del raffreddamento, in base alle carote glaciali della Groenlandia e agli speleotemi, è fissato nel Nord Atlantico attorno a 12 870 anni BP e durerà fino a 11 700 anni BP. Durante questi 12 secoli un clima freddo e severo ribaltò temporaneamente quel riscaldamento globale naturale, che, per motivi di mutati assetti astronomici, aveva messo fine all'ultima glaciazione. Che cosa era successo per invertire così brutalmente la tendenza climatica verso il caldo? Ci sono almeno tre ipotesi. La prima è un impatto con un corpo celeste, le cui tracce sono state rivenute nel sito di Abu Hureyra, in Siria, circa 12 820 anni fa (Moore *et al.* 2020). Questa piccola cometa o asteroide si frammentò nell'atmosfera producendo impatti multipli in altri 40 siti. Presenta anche una curiosa connessione con i megaliti istoriati di Göbekli Tepe, in Turchia, il primo tempio della storia dell'umanità a noi noto: Sweatman e Tsikritsis (2017) vedono nella «pietra dell'avvoltoio» una raffigurazione di quell'antico evento cosmico.

Un altro potenziale indiziato per l'inizio subitaneo del raffreddamento è l'antico vulcano tedesco Laacher See la cui caldera di 2 chilometri di diametro si trova a una trentina di chilometri a sud di Bonn. La sua potente eruzione pliniana con un Indice di esplosività vulcanica (Volcanic Explosivity Index, VEI) pari a 6 è infatti datata 12 880 anni fa e i gas ricchi di zolfo potrebbero aver innescato un raffreddamento sul Nord Atlantico favorendo una ripresa della formazione di ghiaccio marino e la conseguente fase fredda millenaria (Baldini *et al.* 2018). La terza ipotesi, quella più probabile, avanzata da Cheng e colleghi (2020), basata su datazioni più precise delle carote glaciali della Groenlandia, esclude il ruolo dell'impatto cosmico, avvenuto circa 50 anni più tardi. Attribuisce invece il fattore scatenante all'arresto della circolazione termoalina, cioè relativa alle differenze di temperatura e salinità, delle correnti atlantiche (Atlantic Meridional Overturning Circulation, AMOC) dovuto all'immissione in mare di ingenti volumi di acqua dolce provenienti dalla fusione della calotta glaciale tra Canada e Groenlandia, simile a un evento di Dansgaard-Oeschger. Il Dryas recente è un caso di studio molto importante – il più vicino a noi nel tempo – per

valutare le possibili analogie con il prossimo futuro, allorché si teme un nuovo blocco della circolazione termoalina dell'Atlantico settentrionale causata dalla rapida fusione dei ghiacci della Groenlandia. Il riscaldamento globale potrebbe indurre un «Dryas futuro» e l'Europa sarebbe colpita in pieno da un inverno che viene dal caldo (Van Westen *et al.* 2024).

In quei tempi remoti è possibile che l'eruzione piú o meno coeva del vulcano Laacher See abbia amplificato il raffreddamento attivato dal disturbo della circolazione oceanica e dal blocco della corrente del Golfo. Ma quale che sia la causa i nostri predecessori del tardo Paleolitico si saranno domandati se la primavera italiana durata qualche millennio fosse già terminata: è piú o meno in questo periodo che gli antichi occupanti della grotta Romanelli, affacciata sul mare del Salento, lasciavano traccia sulle pareti rocciose della silhouette di un pinguino boreale alca impenné (*Pinguinus impennis*), vera e propria icona dell'era glaciale e se vogliamo prima osservazione indiretta del clima lasciataci da un abitante d'Italia (Sigari 2021). Nel Dryas recente la temperatura estiva sulle Alpi scese repentinamente di 1,5 °C rispetto a quella del xx secolo, le precipitazioni si ridussero, i ghiacciai tornarono ad avanzare e costruirono nuove cerchie moreniche alla testata dei valloni (stadio di Egesen), senza ovviamente raggiungere le colossali dimensioni della precedente glaciazione ma conferendo al paesaggio vegetale un tratto nordico, il limite delle foreste che aveva prima raggiunto i 1800 metri si abbassò a circa 1500 (Ravazzi 2007; Moran *et al.* 2016), il livello marino, che si era già alzato di oltre 60 metri, smise di crescere per l'arresto della fusione delle calotte glaciali.

Uno dei siti piú fecondi per la ricostruzione del clima e della vegetazione del Tardoglaciale è il lago Piccolo di Avigliana, uno specchio d'acqua profondo dodici metri racchiuso nell'anfiteatro morenico di Rivoli, a ovest di Torino. Lo vedo dalla finestra mentre sto scrivendo. Le analisi polliniche e di resti di insetti (chironomidi) sono state condotte dal gruppo di ricerca di Walter Finsinger dell'Università di Utrecht e dai colleghi dell'Università di Berna (Finsinger *et al.* 2008; Larocque e Finsinger 2008). Durante il Dryas aumentano i pollini di betulla, diminuiscono quelli delle querce. Si è rilevato il Laacher See Tephra (LST), ovvero il deposito di ceneri vulcaniche dell'antica esplosione di 12 880 anni fa in Germania. E i chironomidi correlati con le temperature mostrano il caldo del Bølling, un Allerød un po' piú fresco e il netto calo termico del Dryas recente seguito da una ripresa di circa 2,5 °C nel Preboreale. Passando in auto sulle rive del lago Piccolo si

trovano una pizzeria, alcune villette e un parcheggio con spiaggetta d'estate affollata di gitanti. Le auto sfrecciano veloci, nessuno immagina quanto le carote di torba estratte dal fondo di questo piccolo lago morenico abbiano fornito alla conoscenza del paleoclima del versante meridionale delle Alpi. Insieme ai cartelli stradali che avvertono dell'autovelox ne metterei anche uno in onore del Dryas recente.

*Si chiude il Tardoglaciale, inizia l'Olocene.*

I circa 10 millenni che separano l'Ultimo massimo glaciale dall'inizio dell'Olocene sono stati forse quelli con i maggiori sconvolgimenti climatici che abbiano segnato la memoria dei nostri antenati e la loro evoluzione socioculturale. Veder scomparire i giganti di ghiaccio che per decine di millenni avevano occupato le Alpi, veder precipitare enormi frane dai versanti vallivi non più sostenuti dai ghiacciai, veder crescere il livello marino di oltre 100 metri, con incrementi che sono giunti a circa 1 metro al secolo, vedere fiumi selvaggi divagare per le pianure distribuendo strati di ghiaie, sabbie, argille, vedere erbe, arbusti e foreste appropriarsi di questo territorio in continuo mutamento e creare un nuovo habitat ricco di risorse, per quelle antiche donne e uomini deve essere stato qualcosa di stupefacente, che avrà contribuito a sviluppare le loro e di conseguenza le nostre capacità di adattamento e il senso del sacro e del mistero, allora l'unica via per giustificare prodigi che oggi cerchiamo faticosamente di spiegare con il metodo scientifico.

Conclusosi l'evento freddo del Dryas recente la temperatura nel Mediterraneo torna ad aumentare e 11 700 anni fa ha così inizio l'Olocene, termine (introdotto da Paul Gervais nel 1867) che significa «interamente recente». È in questo periodo che la storia dell'umanità si fa più tumultuosa, viene «scoperta» l'agricoltura – e sicuramente il clima mite e più stabile ha un ruolo nel permettere l'addomesticazione dei vegetali – nascono le città, la scrittura e gli Stati. È il periodo di clima più costante e favorevole che la nostra specie abbia mai conosciuto, ma piccole variazioni climatiche – piccole se confrontate con l'enormità delle transizioni tra periodi glaciali e interglaciali – ci saranno ancora e influiranno sul corso della civiltà. Cominciamo con una nuova battuta d'arresto nel riscaldamento olocenico, l'evento freddo di 8200 anni BP.

## *8200 anni fa: il freddo ritorna dall'America.*

Nella letteratura internazionale è noto come «8,2 ka event», l'evento climatico di 8200 anni oppure evento di Bond numero 5. È stato individuato nelle carote di ghiaccio della Groenlandia (NGRIP) tra 8250 e 8090 anni BP ed è connesso a due impulsi di raffreddamento superficiale dell'oceano Atlantico settentrionale e conseguente rallentamento dell'AMOC. Questa diminuzione termica delle acque oceaniche fu causata dal collasso dei grandi laghi proglaciali Agassiz e Ojibway entrambi situati in Nord America. Il primo – intitolato al glaciologo svizzero Louis Agassiz – pare aver raggiunto un'estensione di circa 440 000 chilometri quadrati, più vasta del mar Caspio, e si stendeva sulle pianure a sud della baia di Hudson. Più a est, nelle attuali province canadesi dell'Ontario e del Quebec, si trovava il lago Ojibway – di dimensioni simili all'Agassiz e probabilmente collegato con esso. Erano enormi accumuli d'acqua dolce e fredda generati dal disfacimento della calotta glaciale Laurentide, giganteschi laghi “effimeri” i cui margini erano delimitati da fragili dighe di ghiaccio che, sottoposte a continua fusione, dovettero cedere in modo catastrofico in più occasioni, riversando nel mare di Tyrrel (attuale baia di Hudson) e quindi nell'Atlantico settentrionale imponenti volumi d'acqua dolce (circa 162 000 km<sup>3</sup>) che oltre a disturbare la circolazione delle correnti atlantiche e raffreddare l'Europa causarono pure un repentino aumento del livello oceanico con massimi dell'ordine di quasi 5 cm/anno per un totale di circa due metri in duecento anni, in aggiunta al normale innalzamento postglaciale (Harrison *et al.* 2018). L'evento di 8,2 ka non fu così lungo e intenso come il Dryas recente ma fu comunque più severo della Piccola età glaciale: si tratta di qualche secolo nel quale la temperatura media scese di circa 2 °C. Nelle Alpi meridionali fu identificato per la prima volta dal botanico svizzero Heinrich Zoller nel 1960 analizzando il declino del polline di abete di una torbiera del cantone Grigioni italiano, in valle Mesolcina, il cui nome tedesco è Misox, e da qui fu denominato «oscillazione Misox». Le datazioni dei pollini non sono sincrone con quelle delle carote glaciali della Groenlandia e questo implica una forte variabilità e un possibile posticipo degli effetti del calo termico sulle Alpi e sul Mediterraneo. Tuttavia la conferma degli effetti del raffreddamento di 8200 anni fa sui ghiacciai alpini è arrivata nel 2012 con la datazione di alcuni resti di legno sepolto nel ghiacciaio del mont Miné, in Svizzera, travolti da un'avanzata glaciale circa 8175 anni fa (Nicolussi e Schlüchter 2012). Le

indagini nella grotta della Renella, nelle Alpi Apuane, mostrano che tra 8200 e 7100 anni fa si è avuto un periodo di abbondanti precipitazioni con tracce di frequenti alluvionamenti (Zhornyak *et al.* 2011).

### *Seimila cinquecento anni fa l'Optimum termico olocenico.*

L'assetto orbitale terrestre condusse alle condizioni di massima insolazione estiva sull'emisfero boreale tra 7000 e 6000 anni fa, facendo culminare le temperature dell'interglaciale come mai più si vedrà fino al recentissimo riscaldamento globale causato dalle attività umane. Chiamato anche Optimum climatico olocenico (Holocene Climate Optimum, HCO), Periodo ipsotermico (Hypsithermal period) o Periodo atlantico, ha visto i ghiacciai alpini ritirarsi nelle posizioni più arretrate rispetto agli anni recenti (Ivy-Ochs, Kerschner, Maisch *et al.* 2009), lasciando la catena montuosa quasi priva di ghiaccio, salvo presso le sommità più elevate (Gabrielli *et al.* 2016; Bohleber *et al.* 2020). Secondo Nicolussi *et al.* (2009), la fronte del ghiacciaio svizzero di Tschierva (Engadina) sarebbe stata più ritirata dell'attuale almeno tra 7450 e 6630 anni dal presente, con temperature estive probabilmente superiori di circa 2 °C rispetto alla media 1960-1985. Uno scenario di questo tipo, con ghiacciai piccoli e limite della vegetazione più elevato (fino a 2400 m) sembra testimoniato anche dal ritrovamento nella calda estate 2022 di una mummia di marmotta ai 4300 metri del Lyskamm (monte Rosa), datata 6600 anni BP e oggi esposta al Museo regionale di Scienze naturali Efisio Noussan di Saint-Pierre, Aosta (Eurac 2022). La mummia è venuta alla luce per la forte fusione glaciale, l'animale potrebbe anche essere morto sul ghiacciaio, ma certamente arrivava da zone di pascolo molto più vicine di oggi a quelle quote così elevate. E la prova forse più entusiasmante di quel periodo caldo ci viene offerta dai resti sepolti di un'antica torbiera deposta tra circa 8800 e 4000 anni dal presente, poco a valle dell'attuale fronte del ghiacciaio del Rutor, a quota 2510 metri in Valle d'Aosta. Tale torbiera, a più riprese sepolta dai ghiacci – un ritrovamento più unico che raro nelle intere Alpi –, fu studiata già negli anni 1960-70 dai geofisici torinesi Luigi Peretti e Ernesto Armando con il paleobotanico Giovanni Charrier, e più recentemente dal palinologo Conradin Burga dell'Università di Zurigo (Burga 1995), dal geomorfologo Giuseppe Orombelli dell'Università di Milano-Bicocca (Orombelli 1998) e dai paleobiologi Cesare

Ravazzi, Roberta Pini e Federica Badino del CNR di Milano (Badino 2016; Badino *et al.* 2018). Questo lungo e incompleto elenco di nomi, lo so, è noioso, ma voglio esplicitarlo per tributare un riconoscimento a ricercatori poco noti che hanno dedicato la vita a queste pazienti ricostruzioni di climi arcaici. Torniamo dunque alla torbiera del Rutor. Per garantire le condizioni adatte a una deposizione indisturbata della torba in quel sito, tra 8800 e 4000 anni fa il vasto ghiacciaio valdostano doveva essere più piccolo e arretrato rispetto a oggi, con temperature medie di luglio che dovevano essere più elevate di 1,5-3 °C rispetto alla fine del Novecento, per effetto della maggior insolazione dovuta al forzante orbitale. In seguito, le più frequenti e vigorose avanzate glaciali dei millenni successivi – attribuibili ai cosiddetti episodi «neoglaciali» – travolgeranno a più riprese la torbiera (senza asportarla completamente), tornata in parte alla luce con il ritiro glaciale della seconda metà del XX secolo. Attualmente il ghiacciaio del Rutor si è contratto così tanto da tornare vicino alle sue posizioni di minima estensione olocenica con il limite frontale a quota 2600 m, e dato il continuo riscaldamento in corso scoprirà a breve rocce che da almeno centomila anni non vedevano la luce del sole. Detto in altro modo: le dimensioni minime del ghiacciaio del Rutor di circa 6000 anni fa erano un punto d'arrivo, esito di oltre due millenni molto miti, mentre le dimensioni di oggi, in continua contrazione e non ancora in equilibrio con le temperature in rapido aumento, sono un punto di partenza verso l'estinzione totale qualora il riscaldamento globale continui a procedere con i tassi attuali. Ritroveremo il ghiacciaio del Rutor durante la Piccola età glaciale, ma intanto anche grazie alla sua torbiera siamo ormai certi della collocazione temporale e dell'entità del riscaldamento del periodo ipsotermico, il più importante dell'intero Olocene. Il dettagliato studio di Darrell Kaufman della Northern Arizona University e collaboratori, uscito su «Nature» nel 2020, ha analizzato 1319 serie di dati vicarianti globali, tra sedimenti marini, oceanici, lacustri, analisi polliniche, dendrocronologiche, glaciali e isotopiche, da cui è emersa la curva evolutiva delle temperature oloceniche più completa e precisa oggi disponibile. Il periodo di 200 anni più caldo dell'Olocene si colloca attorno a 6500 anni fa ed ebbe una temperatura media globale di 0,7 °C maggiore del periodo preindustriale 1800-1900, ormai superata dal riscaldamento superiore a 1 °C del periodo 2011-19. Sulla penisola italiana l'Optimum olocenico oltre che mite fu anche umido, con precipitazioni molto abbondanti, in particolare tra 7900 e 7400 anni BP, come mostrato

dall'analisi isotopica della stalagmite dell'antro del Corchia, nelle Alpi Apuane (Zanchetta *et al.* 2007) e permise un rapido sviluppo della vegetazione forestale e probabilmente i primi esperimenti umani di domesticazione dei vegetali.

Nel frattempo, il livello del mare aveva quasi cessato di crescere, passando da tassi di 10 mm/anno a circa 1 mm/anno, e la carta geografica del mondo era sostanzialmente divenuta quella che conosciamo ora con l'Adriatico tornato a lambire l'attuale costa veneta. Il deserto del Sahara era una savana verdeggiante e abitata, grazie all'umido monsone africano più spostato verso nord. Le valli alpine libere dai ghiacci erano state già diffusamente colonizzate dalle bande di cacciatori-raccoglitori in cerca di prede e minerali o di vie di transito e commercio, come dimostrano le incisioni rupestri della val Camonica e della valle delle Meraviglie nelle Alpi Marittime e l'insediamento neolitico della Maddalena a Chiomonte, in valle di Susa: qui, circa 6000 anni fa, su un versante favorevolmente soleggiato a 800 metri di quota, nacque un villaggio costituito in prevalenza da costruzioni sottoroccia in corrispondenza di grandi massi staccatisi in seguito a frane, sito archeologico straordinario oggi violentato dal cantiere per i tunnel dell'alta velocità ferroviaria.

Per oltre due millenni l'Optimum termico olocenico favorí lo sviluppo delle popolazioni neolitiche dalle Alpi alla Sicilia. Il villaggio di Travo, in val Trebbia, l'insediamento di La Starza a Ariano Irpino, Stentinello vicino a Siracusa, prosperano e si sviluppano basati su caccia, raccolta di frutti spontanei come ghiande, nocciole, fagioli, corbezzoli, corniole, prugne, fichi, more e lamponi e viti selvatiche. La domesticazione dei cereali, sicuramente facilitata da un clima mite e stabile, fa la sua prima comparsa nel Tavoliere pugliese, sulla costa barese e brindisina, circa 7000 anni fa e si diffonde via via anche in Italia settentrionale, affiancandosi poi ai legumi: piselli, lenticchie, fave, vecce e cicerchie.

### *Ötzi, testimone dell'inizio del periodo Neoglaciale.*

Raramente un omicidio è stato più utile al futuro: l'uccisione con una freccia conficcata nella spalla di un pastore dell'età del Rame di 5300 anni fa, costituisce un'eccezionale testimonianza non solo archeologica ma pure climatologica. L'uomo del Similaun, familiarmente Ötzi, così chiamato dal

giornalista viennese Karl Wendl dall'Ötztal austriaca alla testata della quale è stato rinvenuto, è almeno topograficamente italiano, in quanto per 92 metri ricade nel bacino dell'Adige. Era il 19 settembre 1991, al termine di un'estate molto calda che aveva causato ingenti perdite glaciali: la temperatura media estiva a Bolzano era stata di 22,9 °C, +1,7 rispetto al periodo 1961-90 (ora, con il riscaldamento dei decenni successivi, sarebbe perfettamente nella norma!), allora la quarta più calda dopo quelle del 1982, 1928 e 1952. Al ghiacciaio del Careser il bilancio di massa dell'annata 1990-91 aveva totalizzato una perdita di 1,73 metri, che era allora il valore più negativo della serie dal 1967. A quota 3210 m, sul ghiacciaio del Similaun, in una piccola sella sulla cresta del confine italo-austriaco, il giogo di Tisa o Tisenjoch, i coniugi tedeschi Erica e Helmut Simon di Norimberga videro dei resti umani emergere tra ghiaccio, rocce, acqua di fusione e depositi morenici. All'inizio pensarono a un alpinista o a un soldato della Grande Guerra: avvertita la gendarmeria austriaca venne eseguito un recupero sommario soltanto il 23 settembre che provocò danni al reperto e trascurò di rilevare le esatte collocazioni degli oggetti. A Innsbruck l'esame più approfondito mise in luce un'età molto più antica e in seguito all'accertamento della pertinenza italiana Ötzi venne trasferito nel 1998 al Museo archeologico dell'Alto Adige a Bolzano dove, conservato a -6 °C e al 99,6 per cento di umidità, è ora una delle più rilevanti attrazioni turistiche sudtirolese. Si tratta di una mummia di *Homo sapiens* corredata di preziosi accessori: indumenti di pelliccia e pelle di capra e pecora, una mantellina di giunchi, un berretto di pelliccia d'orso, scarpe in pelle di cervo, corteccia di tiglio e imbottitura di erba secca, un arco in legno di tasso, una faretra con due frecce pronte e altre 12 in lavorazione in legno di viburno, un pugnale di selce, un ritoccatore per lavorare la selce, un'ascia in rame proveniente dalle colline metallifere della Toscana meridionale, una perla in marmo, esche e acciarino, un recipiente di corteccia di betulla con alcune foglie di acero, e un sacco per contenere questi oggetti. Proprio l'eccellente stato di conservazione di questi reperti in materiale organico costituisce una prova significativa della permanenza plurimillenaria sotto i ghiacci, un gelido scrigno che li ha protetti dal rapido deterioramento qualora fossero stati a lungo esposti all'acqua, al sole e al vento. Inizialmente si pensava che il corpo fosse stato immediatamente sepolto dalla neve, inglobato nel ghiaccio e poi per 5300 anni non fosse più riemerso. Le numerose analisi sul corpo della mummia, a oltre 30 anni di distanza dal ritrovamento, permettono di ricostruirne con maggior precisione le vicende

e il passaggio graduale dall'Optimum termico olocenico al successivo periodo più freddo detto Neoglaciale (Pilø *et al.* 2022). Ötzi morì in primavera o inizio estate e cadde verosimilmente su uno strato di neve stagionale. In tempi successivi, o mesi o qualche anno, durante la breve fusione estiva del manto nevoso, il suo corpo e i suoi oggetti scivolarono nel fondo del piccolo avallamento roccioso dove furono poi rinvenuti, e lì per un certo periodo furono anche sommersi dall'acqua di fusione nivale che li dislocò rispetto alla deposizione originaria. Per circa 1500 anni il corpo doveva dunque essere affossato nella neve invernale ma rimaneva parzialmente esposto all'aria e alla luce almeno per alcuni giorni durante l'estate, anche se non tutti gli anni: lo provano alcuni deterioramenti della pelle della schiena e dei capelli. La lunga permanenza del manto nevoso invernale con associata disidratazione dei tessuti, le basse temperature estive e la ridotta durata di questi temporanei scoprimenti hanno però evitato che durante questo primo millennio dalla morte i resti si deteriorassero. La zona di colle a 3200 metri era battuta dai venti che creavano accumuli nivali variabili, ma ancora non era interessata da uno strato di ghiaccio compatto permanente, una condizione che doveva essere molto simile a quella degli anni Novanta del secolo scorso nei quali Ötzi fu rinvenuto. Le datazioni al carbonio-14 dei vari resti organici rintracciati nella conca rocciosa a 3210 metri, indicano infatti che almeno fino a 4000 anni fa ci sono state nuove deposizioni di materiale forse portato dal vento, ovvero il corpo di Ötzi non era ancora del tutto sigillato nel ghiaccio. I ghiacciai avevano però iniziato a riformarsi alle quote più elevate un po' prima dell'omicidio di Ötzi, in risposta all'inizio del raffreddamento imposto dalla diminuzione dell'insolazione estiva per ragioni orbitali. Nelle Alpi questo raffreddamento incipiente corrisponde all'oscillazione di Piora 1, datata attorno a 6100-5700 anni fa, seguita da Piora 2 tra 5400 e 4900 anni fa. La val Piora è un bucolico altopiano nel canton Ticino, costellato di laghi e torbiere. Il lago Cadagno, a quota 1921 metri, fin dal 1960 è stato oggetto di indagini palinologiche – dal 1994 inquadrate nel locale Centro biologia alpina (CBA) – che misero in luce un drastico calo dei pollini di piante arboree, soprattutto abeti, a favore di piante erbacee e arbustive nel periodo tra circa 6000 e 5000 anni fa, traccia di un evento che prese il nome proprio dalla val Piora. Oggi si ritiene che la diminuzione dei pollini di piante forestali delle oscillazioni di Piora sia avvenuta in parte per via di un raffreddamento del clima, e ciò sancisce la transizione dal periodo mite Atlantico a quello Subboreale, in parte per i disboscamenti operati dalle prime comunità di

pastori alpini dell'età del rame di cui pure Ötzi faceva parte (Martinetto *et al.* 2018). Tra modesti alti e bassi di temperatura, con le fasi fredde Piora inizia un lungo periodo più freddo dell'Optimum termico olocenico, detto Neoglaciale, destinato a protrarsi fino alla Piccola età glaciale, terminata verso il 1870. Per questa ragione una placca di ghiaccio freddo – cioè a temperatura nettamente negativa e quindi incollata al substrato roccioso e priva di movimento – si formò via via sul giogo di Tisa e incapsulò definitivamente la mummia ibernandola fino al 1991. Ötzi non è soltanto un eccezionale ritrovamento archeologico ma una conferma climatologica che i nostri ghiacciai alpini attuali non sono mai stati così ridotti negli ultimi quattro millenni e ora – con l'incalzante riscaldamento globale in atto – si avviano a oltrepassare i loro limiti minimi toccati circa 6500 anni fa.

### *L'evento fresco-asciutto di 4200 anni fa.*

L'evento climatico «4,2 ka BP» è un periodo di alcuni secoli centrati su 4200 anni fa che mostrò una elevata variabilità nelle precipitazioni, con alternanza di lunghe siccità e di disastrose alluvioni, associate a una generale diminuzione della temperatura. I dati che permettono questa ricostruzione sono molto eterogenei e provengono da analisi polliniche, isotopi radioattivi, speleotemi, ghiacciai, sedimenti lacustri. Nel gennaio 2018 Monica Bini e Giovanni Zanchetta del dipartimento di Scienze della terra dell'Università di Pisa hanno avuto il merito di organizzare il workshop internazionale *The 4,2 ka BP Event* da cui è nata la più completa sintesi sulle conoscenze che si hanno nel bacino del Mediterraneo di questa crisi climatica dell'età del Bronzo che separa il medio dal tardo Olocene (Bini *et al.* 2019; Zanchetta *et al.* 2016). I caratteri regionali dell'evento e le cause – forse legate all'Oscillazione barica nord-atlantica (North Atlantic Oscillation, NAO) e a migrazioni della Zona di convergenza intertropicale (InterTropical Convergence Zone, ITCZ) – non sono omogenei e necessitano di maggiori indagini, come recentemente puntualizzato dal finlandese Samuli Helama (2024). Le temperature del canale di Sicilia ricavate dai foraminiferi (Margaritelli *et al.* 2020) mostrano attorno a 4200 anni fa un riscaldamento, lasciando intuire differenze importanti tra Mediterraneo meridionale e settentrionale. Infatti dai dati provenienti da siti italiani come le grotte delle Alpi Apuane del Corchia e della Renella, e da vari sedimenti lacustri

appenninici dal lago dell'Accesa a quello di Massacciuccoli, dal lago del Greppo al lago Padule (Di Rita e Magri 2019), si individuano tra 4300 e 3800 anni fa condizioni estive molto secche in Italia centro-meridionale, che riducono la copertura forestale, mentre al Nord e sulle Alpi prevalgono condizioni fresche e umide. In sostanza un'Italia divisa in due, Nord e Alpi sotto l'influenza di correnti umide atlantiche, Centro e Sud dominati dal clima caldo-asciutto del Nord Africa. È probabilmente un riflesso di grandi spostamenti della ITCZ che comanda la posizione del monsone africano, da cui ha luogo, proprio in questo periodo, il passaggio da un Sahara relativamente verde e abitato dell'African Humid Period all'assetto desertico e disabitato che conosciamo oggi. Si ritiene che questi cambiamenti abbiano contribuito a eventi di collasso di antiche civiltà in Mediterraneo, Mesopotamia, Egitto, India, Cina, con drammatiche siccità alternate a imponenti alluvioni. L'incostanza idrologica potrebbe essere tra le ragioni che hanno dato origine ai villaggi palafitticoli del Nord Italia (Viverone, Varese, Ledro, Polada...), comunità in grado di adattarsi alle rapide oscillazioni dei livelli lacustri (Magny *et al.* 2013 e 2022).

### *La crisi di aridità dell'età del Bronzo, 3200 anni fa.*

I villaggi palafitticoli vengono via via affiancati da insediamenti fortificati – sempre prossimi a corsi d'acqua o zone umide – ma più stabili, le terramare, dalla contrazione di «terre-marne», denominazione ottocentesca di cumuli di materiali organici frequenti in pianura Padana, usati come siti di estrazione di fertilizzante per l'agricoltura. Tra i siti archeologici più rilevanti c'è la terramara di Montale (Modena), quella di Santa Rosa di Poviglio (Reggio Emilia), e quella di Fondo Paviani nella bassa pianura veronese. Era una civiltà tra le più avanzate dell'età del Bronzo, si sviluppò tra 3600 e 3200 anni fa come snodo commerciale tra Alpi e Mediterraneo in pianura Padana tra Lombardia, Veneto ed Emilia. La gestione dell'acqua era cruciale per il loro benessere: sono probabilmente i primi agricoltori che utilizzano in Italia sistemi di irrigazione evoluti, canali, fossati, drenaggi a servizio della coltivazione di cereali quali frumento, farro, orzo, delle leguminose e dell'allevamento bovino, caprino e suino. Ma anche l'attività metallurgica e il commercio con la Grecia e il Nord Europa erano molto avanzati soprattutto per gli scambi d'ambra.

Tra 3800 e 3400 anni fa vi era stata – almeno nelle Alpi – una fase fredda con avanzata dei ghiacciai, l’oscillazione di Löbben, dal nome di una torbiera austriaca, ma non sembra aver influito sulla vita dei villaggi di pianura, che continuano a prosperare. Tuttavia verso 3200 anni fa, all’apice del loro sviluppo, qualcosa andò storto e la civiltà terramaricola collassò in pochi decenni sia a causa di un cambiamento climatico, sia per la fragilità del suo territorio che era ormai troppo sfruttato: troppa gente, troppa deforestazione, impoverimento dei suoli, erosioni e forte attività torrentizia con aumento del trasporto detritico. Su questo substrato ormai instabile alcuni periodi più aridi del solito – forse causati da variazioni dell’attività solare – andarono a prosciugare sorgenti, abbassare l’acquifero, cambiare il corso dei torrenti, ridurre la copertura forestale, creando gravi conseguenze sulla produzione agricola e il crollo dell’organizzazione sociale. Molte terramare vennero abbandonate, soprattutto a sud del Po, ci furono migrazioni e reinsediamenti concentrati lungo il corso dei fiumi più grandi, come capitò con le genti di Fondo Paviani che emigrarono e fondarono il villaggio della Frattesina a Fratta Polesine. Fu un primo esempio di superamento della capacità di carico locale che creò un indebolimento della società, su cui una sequenza di annate siccitose agì probabilmente come detonatore, determinandone la fine. Il collasso dell’età del Bronzo fu una crisi demografica e commerciale che può aver avuto inizio con una vasta variazione climatica verso la siccità, responsabile di diminuzione dei raccolti, dalle conseguenze drammatiche sull’intero Mediterraneo, che vide le migrazioni bellicose dei «popoli del mare» e la caduta di Troia (Cremaschi 2009; Cremaschi *et al.* 2015). La serie delle temperature marine del canale di Sicilia (Margaritelli *et al.* 2020) mostra un netto riscaldamento in corrispondenza di quel periodo.

### *Dagli Etruschi ai Galli.*

La crisi ecologico-climatica della tarda età del Bronzo 3200 anni fa apre la strada all’età del Ferro che in Italia compare qualche secolo dopo, con la cultura villanoviana, dal sito bolognese di Villanova di Castenaso dove venne individuata nel 1853. Il clima nel frattempo non mostra per quanto ne sappiamo eventi significativi, salvo una fase fredda che provoca una modesta avanzata glaciale circa tra 2800 e 2400 anni fa, l’oscillazione di Göschenen I,

dal nome di una torbiera nell'omonimo comune svizzero nel cantone Uri. L'avanzata glaciale, effetto di una diminuzione di temperatura media annua dell'ordine di mezzo grado Celsius associata probabilmente a un minimo solare (minimo omerico), rimase comunque entro i limiti delle morene della Piccola età glaciale, senza superarli (Boxleitner *et al.* 2019). Resti di torba sepolti all'estremità inferiore delle morene del ghiacciaio del Lys, presso l'alpe Courtlys (Gressoney), confermano questa avanzata circa 2700 anni fa (Ravazzi *et al.* 2001). È possibile che questo periodo più fresco e umido abbia sollecitato migrazioni dalle zone nord-alpine verso la pianura Padana favorendo gli insediamenti prealpini prossimi ai valichi del San Gottardo, San Bernardino e Spluga: la cultura di Golasecca, tra il lago Maggiore e il lago di Varese, vide un grande sviluppo legato al commercio di sale, ambra, ceramiche e metalli come ponte tra mondo etrusco e mondo celtico transalpino. Si hanno qui le prime testimonianze di scrittura su ceramica e pietra, nonché dell'uso della ruota (tomba con carro di Sesto Calende). Si struttura così l'Etruria padana che durerà fino a circa 2400 anni fa allorché fu sostituita, con le invasioni galliche, dalla cultura transalpina di La Tène.

## Il clima dei Romani, dall'ascesa alla caduta

### *Le tre tempeste mitologiche di Enea e la fondazione di Roma.*

La fondazione di Roma è tradizionalmente fissata al 21 aprile dell'anno 753 a. C. L'*Eneide* è la sua narrazione mitologica, con l'eroe troiano Enea fuggito alla guerra forse provocata da migrazioni conflittuali indotte dalla siccità nelle terre del Medio Oriente. Enea viaggia verso il Lazio seguendo la profezia di Apollo. Approdata in Sicilia dopo sette anni di peregrinazioni, la flotta riparte verso le coste italiche in una giornata favorevole (libro I):

E appena fuori di vista dalla Sicilia, le vele  
davano lieti al largo, e col bronzo levavano schiume,

quando Giunone, accortasi di loro, adirata con la stirpe troiana, scatena una tempesta che disperde le navi verso Cartagine. La dea convince Eolo a liberare i venti dalle caverne dell'isola di Eolia, identificata con l'odierna Lipari. Sí, è proprio in Italia, da millenni, la sorgente dei venti globali:

Tali cose volgendo fra sé nel cuore infiammato  
venne la dea alla patria dei nembi, e di Àustri furenti  
gravida: a Eòlia. Il re Èolo nel vasto suo antro qui forza  
ai suoi comandi tempeste tonanti e i venti ribelli  
e li raffrena in catene e in carcere. Quelli, sdegnati,  
fremono con furibondo fragore del monte, premendo  
tutt'attorno alle chiuse; in un'alta rocca sta Èolo,  
scettro in pugno, e gli animi calma e tempra le ire.  
Non lo facesse, di certo con sé rapirebbero i mari  
e le terre e il cielo profondo, spazzandoli in aria,  
ma il padre onnipotente li chiuse in fosche spelonche  
questo temendo, e sopra vi impose la mole di alti

monti, e un re stabilí, che sapesse, obbedendo ai suoi ordini,  
sciogliere o trattenere le briglie con legge sicura.

Eolo esegue quanto richiesto dalla divinità e aizza i venti i quali provocano una tempesta marina descritta da Virgilio con forza dirompente, piena di dettagli che solo chi aveva udito i racconti marinareschi del tempo poteva cogliere:

Dopo quei detti, voltata la cuspide, il cavo del monte  
scosse nel fianco: e i venti, quasi schierati a battaglia,  
dove è una porta si slanciano e batton le terre in un turbine.

Si avventarono al mare, e dal piú profondo lo agitano,  
tutti insieme Euro e Noto e l'Africo fitto di raffiche,  
e rovesciano enormi flutti verso le spiagge.

Subito seguono grida di uomini, strida di corde.

E d'un tratto le nubi strappano agli occhi dei Tèucri  
cielo e giorno, una fosca notte incombe sul mare.

Tuonano i cieli e balena di fitte folgori l'ètere  
e ogni cosa minaccia agli uomini morte imminente.

[...]

e una stridula raffica di Aquilone  
urta di fronte la vela e leva i flutti alle stelle.

Vanno in frantumi i remi, la prua si rigira, e alle onde  
presta il fianco, e ecco in massa un monte d'acqua scosceso.

Pendono gli uni sul flutto, un'onda si apre e spalanca  
terra agli altri fra i flutti, il maroso infuria di sabbia.

Tre navi Noto afferra e le scaglia su scogli nascosti  
(scogli che lí, in mezzo ai flutti, gli Ítali chiamano «Are»,  
dorso immane a fior d'acqua); tre navi Euro dal largo  
spinge in secco e fino alle Sirti e, pietoso spettacolo,  
le scaraventa sui banchi e le avvolge in un muro di sabbia.

Una, che trasportava i Lici e Orónte fedele,  
sotto i suoi occhi un'ondata imponente colpisce dall'alto  
sulla poppa: sbalzato, ne piomba giú il timoniere  
a capofitto, e intanto tre volte il flutto la torce  
tutt'intorno, e la inghiotte vorace un vortice al fondo.

Sparsi naufraghi appaiono a nuoto nel vasto gorgo,

armi di eroi, tavolati e tesori troiani fra le onde.  
Vinta è, allo scroscio, già di Ilionèo la solida nave,  
e quella del forte Acàte, e quelle in cui erano Abànte  
e Alète anziano: e tutte, sconnesso sui fianchi il fasciame,  
s'aprano all'acqua nemica e cosí per le falle si fendono.

La subitanea tempesta allarma però il dio marino Nettuno, che furioso per l'affronto compiuto senza il suo consenso, placa le acque:

Nel frattempo mischiarsi il mare di forte fragore  
sente Nettuno, e infuriare tempesta, e fin nel profondo  
rimescolarsi le acque, sdegnato: e su, il mare scrutando,  
sporge il suo placido capo dal sommo delle onde. Dispersa  
per l'intera distesa vede la flotta di Enea,  
i Troiani oppressi da flutti e disastri del cielo.  
Né di Giunone, al fratello, sfuggirono le ire e gli inganni.  
Euro e Zèfiro chiama a sé, e poi in tal modo prorompe:  
«Dunque vi ha preso una tale fiducia nel genere vostro?  
Ora voi osate, venti, senza il mio assenso mischiare  
cielo e terra, e una tale mole levare? E io vi...  
Ma innanzitutto è opportuno calmare le acque sconvolte.  
Non pagherete in futuro le colpe cosí a poco prezzo.  
Affrettate la fuga, e al vostro re dite questo:  
non a lui è stato dato in sorte il dominio del mare  
e il tridente spietato, ma a me! Lui ha rupi selvagge,  
vostre dimore, o Euro; in quel palazzo si sfoghi  
Èolo, ed eserciti il regno sul carcere chiuso dei venti».  
Dice cosí e, piú veloce del dire, le acque rigonfie  
placa, e raduna e fuga le nubi, e libera il sole.

La flotta, con sette navi superstiti, riesce cosí ad approdare sulla costa africana di Libia, nei pressi di Cartagine, dove Enea conoscerà Didone e sarà da lei trattenuto fino al tragico epilogo. Ripartito infine verso l'Italia prende il mare ma una nuova tempesta – prevista dal timoniere Palinuro – minaccia di sorprenderli (libro V):

Di traverso, mutati, fremono i venti e si levano

dal tenebroso occidente, e in nuvole l'aria si addensa.  
Né noi riusciamo ad opporci, o anche solo a tenere la rotta  
contro di loro. Poiché la Fortuna ci vince, seguiamola,  
e dove chiama volgiamo il cammino. Né credo lontani  
d'Èrice i lidi fidati e fraterni, e i porti sicàni [...]

E sbarcano a Erice, dove Giunone nuovamente cerca di sviare la prosecuzione del viaggio convincendo le mogli dei Troiani a stabilirsi definitivamente in Sicilia, dando fuoco alle navi. Enea, disperato, invoca Giove che genera un improvviso nubifragio per estinguere l'incendio e salvare così quindici imbarcazioni su diciannove:

Questo appena esprimeva, che fosca tempesta, effondendo  
scrosci, inaudita si sfrena e tremano ai tuoni le terre  
dalle vette alle piane: dall'ètere intero precipita  
torbido d'acqua, e nerissimo d'Austri addensati, un rovescio;  
ne traboccano, colme, le poppe e son fradici i roveri  
semicombusti, finché tutta estinta è la vampa, e si salvano  
da quella peste tutte le navi, perdutene quattro.

Enea riparte alla volta di Cuma, fa visita alla Sibilla e dopo varie avventure negli inferi, sbarca presso la foce del Tevere (libro VII) nella attuale area dell'aeroporto militare di Pratica di Mare, frazione di Pomezia, che allora era una laguna interna, separata dal mare da dune costiere:

E rosseggia già ai raggi il mare e, dall'alto dell'ètere,  
di zafferano splendeva Aurora su bighe rosate,  
quando i venti posarono e cadde di colpo ogni alito  
e cominciano i remi a lottare in quel marmo tenace.  
E qui Enea, dalle acque, si vede imponente davanti  
un sacro bosco: là in mezzo il Tevere, dolce corrente,  
con i suoi rapidi vortici e biondo di rena copiosa  
sbocca nel mare [...]

Con il primo insediamento di Lavinium – sempre nel territorio di Pratica di Mare dove si è rinvenuto anche il tumulo sepolcrale che si pensa dedicato a Enea (l'Heroon), prenderà inizio la stirpe che portò alla fondazione di

Roma, vicenda leggendaria decisa da tre tempeste, due di ostacolo, l'altra salvifica! È un simbolo importante di quanto gli eventi climatici possano decidere della sorte degli uomini e Virgilio, che con le sue *Georgiche* aveva anche una cultura agronomica, lo sapeva bene.

### *Inizio delle fonti classiche: il monumentale lavoro del Corradi.*

Con la fondazione di Roma e la relativa storiografia e annalistica ha inizio la descrizione e datazione esplicita degli eventi meteorologici. Uno dei lavori più completi di analisi dei testi classici che riassume anche fatti climatici sono gli *Annali delle epidemie occorse in Italia dalle prime memorie fino al 1850* curati da Alfonso Corradi (Bologna, 1833 - Pavia, 1892), medico, patologo, docente alle università di Modena, Palermo e Pavia: quest'ultima conserva la sua ricca biblioteca composta da 10 000 volumi e 13 000 opuscoli. Gli *Annali* non sono fino a ora mai stati completamente esplorati dal punto di vista climatico forse in quanto il titolo limitava l'interesse all'epidemiologia. Tuttavia il Corradi in quegli anni riteneva che vi fosse una forte connessione tra stato dell'atmosfera e insorgenza di infezioni, quindi sapientemente ha unito alle cronache sanitarie anche quelle meteorologiche. Questa messe di informazioni non è stata ancora inserita in una banca dati digitale ed è importante in quanto alcune fonti citate sono poi andate distrutte durante l'ultimo conflitto mondiale (Dell'Oro 2022).

### *Il clima felix dei Romani.*

La sintesi più completa attualmente disponibile sul clima di epoca romana e sulle sue influenze sulla ascesa e caduta dell'impero è quella condotta da Kyle Harper nel suo magistrale *Il destino di Roma. Clima, epidemie e la fine di un impero* (2019). Docente di lettere classiche all'Università dell'Oklahoma, sulla base di una vasta mole di documenti, conclude che:

– lo sviluppo di Roma e delle sue conquiste culturali ed economiche in tutto il bacino del Mediterraneo si deve a un lungo periodo di stabilità climatica, con temperature miti e precipitazioni abbondanti e regolari in grado di sostenere una crescente produzione agricola. L'Optimum climatico

vero e proprio, o Roman Warm Period, è attribuito all'intervallo 200 a. C. - 150 d. C. (ma Shi *et al.* 2022, lo definiscono da 1 a 250 d. C.);

– la caduta dell'Impero romano oltre alle cause sociali e militari già descritte da una moltitudine di autori, va ricercata anche nella crisi climatica successiva al III secolo, con siccità e diminuzione termica, e nelle disastrose epidemie di vaiolo e di peste, elementi sottovalutati dalle precedenti analisi storiche.

Ecco dunque che il simbolismo meteorologico dell'*Eneide* appare più che giustificato: con le tempeste marine sopportate da Enea termina la prima parte dell'Olocene contraddistinto da una variabilità climatica ancora molto attiva per gli assestamenti post-glaciali, e con il rasserenarsi del cielo e il placarsi dei venti all'approdo laziale di Enea comincia lentamente l'Optimum climatico romano (OCR).

### *Antichi inverni italici freddi e nevosi.*

I primi secoli della Repubblica romana sembrano tuttavia caratterizzati da un clima con estati umide e inverni lunghi e severi anche in Italia centrale, come mostrato dalle temperature del canale di Sicilia più fredde rispetto al periodo imperiale successivo (Margaritelli *et al.* 2020). Attorno al 426 a. C. avviene una delle maggiori eruzioni vulcaniche della storia nota (Sigl *et al.* 2015), la cui localizzazione è tuttora sconosciuta. Le emissioni di solfati furono dello stesso ordine di grandezza di quelle del Samalas del 1257 e dovettero generare un netto abbassamento termico e siccità. Ne abbiamo traccia in Livio allorché per il 428 a. C. (con anticipo di un paio d'anni che rientra nell'errore di datazione delle carote glaciali della Groenlandia nelle quali è stata rintracciata la deposizione acida) scrive: «In quell'anno si soffrì moltissimo per la siccità, e non solo mancarono le piogge dal cielo, ma anche la terra privata dei suoi umori naturali a stento bastava ad alimentare i fiumi perenni. La mancanza di acqua altrove faceva accorrere intorno alle fonti ed ai rivi inariditi il bestiame, che morendo di sete qui giaceva a mucchi; altri animali perivano di scabbia. Le malattie si diffusero anche agli uomini...» (libro IV). Nello stesso periodo Atene veniva colpita dalla nota pestilenzia descritta da Tucidide. La siccità è in genere un effetto della riduzione della radiazione solare indotta dall'aerosol solforoso emesso dai vulcani e si

traduceva in minori raccolti, denutrizione e maggiore esposizione alle malattie.

Gli inverni freddi sembrano esser stati frequenti, Livio riferisce che durante l'ultimo anno dell'assedio di Veio nell'inverno del 397-396 a. C., «i soldati romani vivevano duramente fra i lavori di fortificazione e i disagi, coperti di neve e di gelo, sotto tende di pelle, senza posare le armi neppure durante l'inverno, che pone tregua a tutte le guerre di terra e di mare» (libro V). Nell'inverno del 400-399 a. C. (ma il Corradi scrive 397-396) Livio riporta che «[q]uell'anno fu memorabile per un inverno rigido e nevoso, tanto che le strade furono ostruite, e il Tevere non era navigabile» (libro V). Dionigi di Alicarnasso precisa in *Antichità romane* (XII, VIII, 1-3) che «Roma fu investita da una violenta tempesta di neve, e dove quella cadde meno abbondante ce n'era tuttavia per un'altezza di sette piedi [circa 2 metri]. E avvenne che diverse persone trovarono la morte per la nevicata e che mandrie e bestie da soma in gran numero morirono, parte per il gelo, parte per la mancanza di foraggio. Gli alberi da frutta, inadatti per loro natura a sopportare grosse nevicate, in parte furono completamente distrutti, in parte ebbero i germogli inariditi dal gelo e rimasero improduttivi per parecchio tempo. Molte case, specie quelle di legno, furono dissestate e travolte dalla neve in fase di liquefazione. Non rinveniamo nelle esposizioni storiche notizie di simili calamità, né in epoche precedenti né successive a questa, sino al nostro tempo, almeno [...] un po' più a nord della zona mediana. Questa fu la prima e ultima volta che il clima di questa terra si scostò dalla sua abituale temperatura [...]»

Due metri di neve sono un valore enorme per Roma, sia che lo si consideri come singolo evento, sia come somma di tutte le nevicate dell'inverno: purtroppo non vi è la possibilità di verificarlo da altre fonti, ma resta il fatto che probabilmente si tratta della prima misura quantitativa di una grandezza meteorologica che ci sia stata tramandata sul clima italiano.

Nell'estate del 390 Livio annota «carestia e pestilenzia sorte nella campagna romana, originate dalla siccità e dal calore eccessivo» (libro V).

Oltre un secolo più tardi, durante la terza guerra sannitica, sempre Livio riferisce che nel 293 a. C., conquistata la piazza di Aquilonia, antica città probabilmente posta nell'odierno Molise centrale, «già la neve aveva coperto tutto il paese, e non si poteva resistere al freddo fuori delle case; pertanto il console ritirò l'esercito dal Sannio» (libro X).

Sant'Agostino a proposito del 275 a. C. annota: «E poi, quell'inverno fu

memorabile per una crudezza così incredibile e spietata, che le nevi durarono persino nel Foro per quaranta giorni ad un'altezza spaventosa, e anche il Tevere ghiacciò» (*La Città di Dio*, libro III, cap. XVIII).

Sono chiari riferimenti a inverni lunghi e nevosi che usualmente interrompevano le attività militari. Due secoli più tardi Virgilio, nelle *Georgiche* cita «quando un inverno triste quasi spezzava i sassi per il gelo e con il ghiaccio rallentava tuttavia il correre delle acque» (libro IV, vv. 135-36) o «[i]ntanto alta rimane la neve e i fiumi sospingono il ghiaccio» (libro I, v. 310). E ancora Orazio nelle *Odi* (I,9) canta: «Vedi come si erge candido di neve l'alta il Soratte, e i boschi faticano a reggere l'peso, per l'acuto gelo l'si rapprendono i fiumi? || Disperdi il freddo accumulando legna l'nel focolare [...]. Il monte Soratte (40 chilometri a nord di Roma) è alto soltanto 691 metri e oggi può rimanere innevato poche ore all'anno con spessori modesti, mentre il riferimento a boschi piegati dal peso della neve, al gelo che arresta i fiumi o trascina lastroni di ghiaccio implica nevicate a bassa quota e temperature ben al di sotto dello zero Celsius per lunghe durate. Lamb (1972) riporta che il Tevere gelò completamente nel 398, 396, 271 e 177 a. C., eventi oggi impensabili.

*Annibale, fanti ed elefanti sulle Alpi innevate: altro che caldo!*

Il 26 novembre 2014, il senatore e premio Nobel per la fisica Carlo Rubbia durante una seduta congiunta del Senato della Repubblica e della Camera dei Deputati, ha fatto un confuso intervento nel quale ha sostenuto che «negli ultimi 2000 anni la temperatura della Terra è cambiata profondamente. Ai tempi dei Romani, ad esempio, Annibale ha attraversato le Alpi con gli elefanti per venire in Italia. Oggi non ci potrebbe venire, perché la temperatura della terra è inferiore a quella che era ai tempi dei Romani [“di un grado e mezzo di temperatura”, affermazione presente nella registrazione video ma non nella trascrizione stenografica, *N. d. A.*]. Quindi, oggi gli elefanti non potrebbero attraversare la zona dove sono passati inizialmente» (Rubbia 2014). Il video di quell'audizione circola ancora dopo dieci anni, ha avuto centinaia di migliaia di visualizzazioni, ed è preso come riferimento dai negazionisti climatici per sostenere che il clima di 2000 anni fa era più caldo di quello attuale. Il nostro Nobel per la fisica scivola su uno dei più reiterati luoghi comuni della storia climatica (tant’è che è ripetuto

anche in Guidoboni 2010), ma bastava in realtà attenersi alle fonti classiche per evitarlo: sia Polibio, sia Tito Livio dedicano infatti ampio spazio alle tribolazioni che la neve abbondante aveva inflitto all'esercito cartaginese durante la traversata delle Alpi. Si era nel tardo autunno del 218 a. C., «al tramonto delle Pleiadi», tra fine settembre e ottobre e «la neve cominciava ad ammazzarsi sulle cime» (Polibio, *Storie*, III). Continua lo storico: «sopraggiunta la neve a rendere la marcia del tutto impossibile, [Annibale] desistette dal suo tentativo. Accadeva infatti un fenomeno strano e singolare: sulla neve vecchia, residua dall'inverno precedente, era da poco caduta quella fresca nella quale si affondava facilmente perché era molle e non aveva ancora un grande spessore. Ma quando, calpestato questo primo strato, mettevano il piede sulla neve sottostante che era gelata, i soldati non riuscivano più a fenderla, ma sdruciolavano con entrambi i piedi [...] a stento in tre giorni, fra gravi difficoltà, riuscì a far passare gli elefanti. Questi erano ridotti male per la fame: la cima delle Alpi, infatti, e i luoghi vicini ai valichi, sono del tutto spogli e privi di alberi, perché d'estate e d'inverno vi rimane ininterrottamente la neve; [...]. Anche Livio nel libro XXI dedica un'ampia pagina ai soldati e agli animali che scivolano e cadono sulla neve vecchia e il ghiaccio coperti da un modesto strato di neve fresca. Basterebbero queste antiche descrizioni a eliminare ogni dubbio sul clima alpino di allora, per niente più caldo e favorevole di oggi, ma è ovvio che si tratta di una singola stagione e che dunque non può essere presa come standard climatologico a lungo termine. Inoltre non sappiamo nemmeno quale sia il valico superato dal condottiero cartaginese, un enigma topografico che appassiona storici e dilettanti da oltre duemila anni, con una mole di studi e congetture da riempire una intera biblioteca. Le ipotesi sul passaggio riguardano un lungo tratto di cresta di frontiera tra Francia e Italia. Scarterei quella più settentrionale del Piccolo San Bernardo – la via del Pennino già ritenuta improbabile da Livio –, la più verosimile sembra quella del col Clapier (2477 m), poco a ovest del Moncenisio (Leveau e Mercalli 2011; Mercalli e Cat Berro 2018), al punto che gli amici francesi del comune di Bramans non si sono lasciati sfuggire l'opportunità turistica e hanno installato nel 2014 il bivacco Hannibal e una targa di bronzo che dà per certo il mitico passaggio anche se non sono mai state rinvenute prove archeologiche. Rimane molto probabile anche il classico valico del Monginevro (1850 m), il più semplice tra tutti gli itinerari considerati, infine vi è poi la recente ipotesi del colle delle Traversette (2947 m), poco a nord

del Monviso. Ha fatto notizia lo studio del geomorfologo William Mahaney e colleghi (2016) della York University di Toronto, che sulla base di accumuli di sostanza organica datata circa 2000 anni BP rinvenuta in una piccola torbiera alpina del versante francese del Monviso a 2580 metri, azzarda si tratti di resti di letame dovuti a un grande concentramento di animali, cavalli e forse anche elefanti, attribuiti all'esercito di Annibale. La supposizione è molto speculativa, non esiste alcuna altra prova, l'accumulo di deiezioni animali può essere frutto di antica attività pastorale e inoltre il valico delle Traversette è molto impervio, con passaggi esposti e stretti che avrebbero richiesto settimane per il transito dell'esercito composto da 38 000 fanti e 8000 cavalieri (che arriveranno in Italia ridotti a 20 000 e 6000), oltre al difficile accesso della combe du Queyras dalle gole di Guillestre. Il vicino colle dell'Agnello (2744 m), molto più agevole, sarebbe stato peraltro preferibile rispetto alle impervie Traversette! Per rafforzare la sua teoria, Mahaney utilizza la presenza di neve vecchia sul percorso tramandata dalle cronache come una prova della rispondenza geografica, ovvero la quota elevata del valico, in quanto si rifà al clima attuale, nel quale non è possibile a fine estate trovare nevai estesi alle quote più basse di tutti gli altri valichi. Ma, se si esclude il valico delle Traversette per evidenti limiti topografici e logistici, allora il dato della neve vecchia a quote del Clapier (2477 m) o addirittura del Monginevro (1850 m) diviene un indicatore climatico rilevante di un'estate del 218 a. C. fresca e breve, in grado di conservare fino all'autunno l'innevamento dell'inverno precedente come oggi non si vede più. L'analisi paleoclimatica di Mahaney è peraltro molto debole, nella sua bibliografia cita soltanto il vecchio lavoro di Neumann (1992), decisamente datato e molto impreciso, ignorando tutte le recenti ricostruzioni della temperatura europea. Per rispondere infine a Rubbia, Annibale che al guado del Rodano aveva con sé 37 elefanti, alla discesa del versante italiano delle Alpi ne contava soltanto 21 (Le Bohec 2017), altro che facile transito che oggi non sarebbe più possibile! Del resto anche le figurine Liebig degli anni Trenta ritraggono Annibale e i suoi elefanti in un paesaggio alpino completamente innevato, così come il celebre dipinto di Turner (1812) dedicato al fatto storico si intitola *Bufera di neve: Annibale e il suo esercito attraversano le Alpi*, e pure nella tela di Goya *Annibale vincitore ammira l'Italia dalle Alpi per la prima volta* (1771) i piedi del condottiero sono appoggiati su uno strato di neve, a riprova di quanto i testi originali degli storici classici fossero allora ben noti nell'immaginario popolare. Insomma, se c'è stato un

grande ostacolo al passaggio di Annibale attraverso le Alpi, questo è stato proprio rappresentato dalla neve, dal freddo e dalla mancanza di foraggio per gli animali, al punto che Livio, a proposito di quelle montagne «ben tristemente note per il gelo» e coperte di «nevi che quasi si confondevano con il cielo» riporta che il console Cornelio Scipione durante l'arringa ai legionari poco prima della battaglia del Ticino a metà novembre del 218, forse presso l'odierna Pavia, descrivendo l'esercito cartaginese come «ombre, fantasmi di uomini, che dalla fame, dal freddo, dalla sporcizia, dal sudiciume sono mezzo morti, ammaccati e fiaccati tra rocce e rupi; inoltre hanno le estremità congelate, i muscoli irrigiditi dalla neve, le membra rattrappite dal gelo, le armi ammaccate e rotte, i cavalli zoppi e storpiati», si preoccupava che al futuro non venisse tramandata la sua gloria: «il mio più grande timore è che, dopo che sarete stati voi a combattere, qualcuno pensi che siano state le Alpi a vincere Annibale» (libro XXI). In realtà la battaglia del Ticino e le successive, sia pur fiaccato dal gelo alpino, le vinse Annibale.

*Annibale combatte più col freddo appenninico che con i Romani.*

Dopo lo scontro sul Ticino, Annibale raggiunge la zona di Piacenza e il 18 dicembre del 218 a. C. affronta i Romani nella battaglia della Trebbia, nell'attuale sito di Canneto di Gazzola, ai piedi dell'Appennino emiliano. Il fiume Trebbia allora sfociava in Po a est di Piacenza mentre oggi ha cambiato percorso, sfociando a ovest della città. Livio (libro XXI) afferma che «Era per caso il solstizio d'inverno ed era un giorno di neve nei luoghi posti tra le Alpi e l'Appennino, freddissimi anche per la vicinanza di fiumi e paludi. Inoltre gli uomini e i cavalli [dell'esercito romano], fatti uscire in fretta e furia senza che avessero mangiato, senza che si fosse ricorsi a qualche precauzione per difendersi dal freddo, non avevano alcuna riserva di calore e quanto più si avvicinavano all'aria che spirava dal fiume, tanto più aspra giungeva addosso la morsa del gelo. Quando poi, inseguendo i Numidi che si ritiravano, furono entrati in acqua – la quale per di più arrivava fino al petto, ingrossata dalla pioggia caduta durante la notte – e soprattutto quando ne furono usciti, tutti avevano i corpi rigidi, così da poter a malapena reggere le armi [...]. L'esito della battaglia volgerà a favore di Annibale, che però farà anch'egli i conti con il freddo: «la pioggia mista a neve e l'insopportabile morsa del freddo uccisero molti uomini e bestie da carico e quasi tutti gli

elefanti. Alla Trebbia i Cartaginesi cessarono di inseguire i nemici e tornarono al campo talmente intorpiditi dal gelo che appena provavano gioia per la vittoria [...] l'esercito [romano] fu condotto dal console Scipione a Piacenza; di lì, attraversato il Po, a Cremona, perché una sola colonia non dovesse sopportare il peso dell'accuartieramento invernale di due eserciti». Continua Livio:

Fu poi concesso ai soldati un breve periodo di riposo, finché il freddo era intollerabile; e ai primi e incerti segni di primavera [del 217 a. C.] partito dai quartieri invernali Annibale guidò l'esercito verso l'Etruria [...] Mentre attraversava l'Appennino, gli si avventò contro una tempesta violenta a tal punto da superare quasi le atrocità delle Alpi. Poiché la pioggia mista a raffiche di vento si abbatteva proprio sulle loro facce, dapprima si fermarono, dato che o dovevano lasciare le armi o nello sforzo di avanzare stramazzavano a terra travolti dal turbine; poi, siccome già il vento mozzava il fiato e impediva di respirare, per un po' si sedettero con le spalle volte al vento.

E allora per di piú il cielo risonò di un enorme boato e lampi guizzarono tra scoppi di tuoni; assordati e abbagliati, tutti furono paralizzati dalla paura; essendo infine scrosciata la pioggia, poiché tanto piú era aumentata la violenza del vento, parve necessario porre l'accampamento in quello stesso luogo in cui erano stati sorpresi dalla tempesta. Questo fu tuttavia l'inizio di una fatica che quasi cominciava daccapo; non potevano infatti distendere né fissare le tende e quelle che si fosse riusciti a fissare non rimanevano ferme, poiché il vento le stracciava e le portava via; e ben presto l'acqua sollevata dal vento, essendosi condensata sulle cime gelide dei monti, cadde sotto forma di tanta grandine mista a neve, che gli uomini, lasciato ogni lavoro, si sdraiaronon a terra sepolti piú che protetti dai loro ripari; e seguí un freddo cosí aspro che, pur volendo ciascuno tirarsi su e alzarsi da quel miserevole ammasso di uomini e di bestie da soma, a lungo non gli era possibile, poiché a stento si potevano piegare gli arti essendo i muscoli paralizzati dal freddo. Poi, quando finalmente a forza di scuotersi ripresero i movimenti e si riebbero, e si cominciò ad accendere fuochi qua e là, ciascuno, anche se debole, cercava di aiutare gli altri. Rimasero là due giorni come se fossero assediati. Morirono molti uomini, molte bestie da carico e anche sette degli elefanti che erano sopravvissuti alla battaglia della Trebbia.

Un solo elefante da guerra sopravvisse, Surus, quello cavalcato da Annibale.

*Annibale supera l'Arno in piena.*

Dopo aver desistito dalla traversata dell'Appennino per il freddo e la neve, Annibale si ritira presso Piacenza, dove avrà nuovi scontri con l'esercito romano, e al consolidarsi della primavera ritenta il passaggio dalla pianura Padana verso Arezzo. Come già per le Alpi, il valico percorso ci è ignoto. Si propende per il passo della Porretta o della Collina a quota 932 metri, ma pure per un passaggio più orientale, dal Casentino. Ai fini climatici ciò che è rilevante è la piena dell'Arno che metterà in difficoltà Annibale e i suoi 25 000 uomini prima di giungere ad Arezzo, nel giugno del 217 a. C. Siamo probabilmente nella zona di Ponte Buriano-Cincelli, nei pressi dell'attuale invaso della Penna: Livio nel libro XXII narra che «prese la via più breve – benché gli se ne presentasse un'altra più lunga ma più comoda – attraverso paludi per dove l'Arno in quei giorni più del solito era straripato [...] attraverso le voragini a precipizio e senza fondo del fiume, anche se inghiottiti quasi dal fango in cui sprofondavano [...] se scivolavano non erano in grado né di reggersi in piedi né di tirarsi su dalle buche [...]. Poiché, essendoci acqua ovunque, non si poteva trovare nessun tratto asciutto su cui mettere a giacere i corpi spossati, ammonticchiati i bagagli nell'acqua vi si sdraiavano sopra [...]. Lo stesso Annibale, che già prima soffriva di male agli occhi per il clima incostante della primavera con i suoi sbalzi di caldo e di freddo, benché trasportato dall'unico elefante superstite per innalzarsi di più fuori dall'acqua, divenne tuttavia cieco d'un occhio a causa delle veglie e poiché l'umidità notturna e l'aria di palude gli appesantivano la testa». Una piena dell'Arno in giugno è oggi inusuale ma è possibile che due millenni fa il regime delle precipitazioni fosse diverso.

*Nebbia al Trasimeno, vento a Canne, grandine a Roma.*

La seconda guerra punica è ancora ricca di colpi di scena meteorologici. Al lago Trasimeno Annibale vince il console Flaminio grazie all'effetto sorpresa favorito dalla nebbia, come descrive Livio (libro XXII):

tanto più per i Romani inaspettato e repentino fu l'attacco, perché una nebbia levatasi dal lago si era addensata più sulla pianura che sui monti e le schiere dei nemici da molte alture erano piombate giù tanto più simultaneamente in quanto per parte loro potevano

scorgersi l'una l'altra sufficientemente. [...] udendo soltanto le grida e il suono delle armi, non potevano né sapere né vedere a causa della nebbia quale fosse l'andamento della battaglia.

Soltanto dopo che questa ebbe preso la piega decisiva e il dissiparsi della nebbia sotto la sferza del sole ebbe lasciato apparire il giorno, allora nella luce ormai limpida i monti e il piano mostraron il disastro e l'esercito romano orribilmente steso al suolo.

A Canne, in Puglia, su un'altura a 54 metri a destra del fiume Ofanto a 9 chilometri dal mare, il 2 agosto del 216 a. C. i Romani guidati dai consoli Lucio Emilio Paolo e Gaio Terenzio Varrone furono brutalmente sconfitti dall'esercito dei Cartaginesi comandato da Annibale: «Il vento (gli abitanti del luogo lo chiamano Volturino), soffiando in faccia ai Romani, toglieva ad essi la vista spingendo loro gran polvere in pieno viso. [...] Presso questo borgo aveva Annibale posto il campo, con le spalle al vento Volturino che in quelle campagne arse dalla siccità porta nubi di polvere. E tale disposizione, buona per gli alloggiamenti, doveva essere sommamente propizia quando si sarebbero schierati a battaglia, giacché così, soffiando il vento Volturino soltanto da tergo, avrebbero combattuto rivolti alla parte opposta contro il nemico accecato dalla polvere» (Livio, libro XXII). Certamente la celebre manovra di accerchiamento a tenaglia del generale cartaginese avrà deciso l'esito vittorioso della battaglia, ma il vento e la polvere gli avranno dato una mano!

Cinque anni dopo, nel 211 a. C., allorché Annibale marciò su Roma provenendo da Capua, fu un evento meteorologico che contribuì a evitare la presa della capitale. Le legioni romane erano schierate a protezione delle mura, e ciò scoraggiò il condottiero, ma una fortissima pioggia, mista a grandine, costrinse i soldati a ritirarsi. Il giorno seguente, una nuova grandinata disperse nuovamente i fanti cartaginesi. Livio (XXVI) narra che «[In]on appena i soldati fecero ritorno nei loro accampamenti, il cielo tornava mirabilmente sereno e tranquillo. Questo fatto venne interpretato dai Cartaginesi come un prodigo divino e venne udito Annibale affermare che una volta gli dèi gli avevano negato di impadronirsi di Roma, un'altra volta non gli avevano concesso la fortuna [di assaltarla]». La storia poteva forse avere un corso differente se quelle grandinate non fossero avvenute?

*Antichi eventi estremi.*

Sembra incredibile poter leggere cronache di oltre due millenni fa come se fossero articoli di un giornale di oggi, ma i classici che sono arrivati fino a noi ci offrono questo privilegio: Livio nel libro XL racconta che «[q]uell'anno [182 a. C.] ci fu una primavera di burrasche. La vigilia delle Palilie [21 aprile], circa a mezzogiorno, scatenata una paurosa tempesta di vento, devastò molti luoghi sacri e profani, abbatté statue di bronzo sul Campidoglio, scardinò e travolse una porta dal tempio della Luna sull'Aventino mandandola a sbattere contro le pareti posteriori del tempio di Cerere, rovesciò altre statue nel Circo Massimo insieme con le colonne cui erano sovrapposte, mandò in frantumi alcuni pinnacoli di templi staccandoli di netto dai frontoni». E poco dopo, nel 179 riferisce che «[l]l'invernata di quell'anno fu rigida per le nevicate e ogni genere d'intemperie: le piante che soffrono il freddo, le aveva bruciate tutte, e per giunta fu alquanto più prolungata che altre volte. Ed ecco che le tenebre che si erano addensate a un tratto e una furiosa tempesta sul monte Albano turbò le ferie latine, e queste per decreto dei pontefici si dovettero ricominciare. Lo stesso temporale abbatté anche sul Campidoglio alcune statue, e con i fulmini diroccò più d'un edificio, il tempio di Giove a Terracina, il tempio Albo a Capua e la Porta Romana; in alcuni luoghi erano stati abbattuti i merli delle mura» (libro XL).

### *Antichi naufragi.*

In assenza di propulsori navali che non fossero i rematori o i venti e di previsioni meteorologiche che non fossero auspici degli dèi, la navigazione dell'antichità ha dovuto fare i conti con la difficoltà di pianificare le rotte, la stima dei tempi di percorrenza e le improvvise tempeste ragione di temibili naufragi. Ci è rimasta memoria di enormi perdite alla flotta romana durante la prima guerra punica: in soli sei anni vi furono tre gravi affondamenti causati da eventi meteorologici uniti a una certa inesperienza navale. Nel luglio 255 a. C., quando la flotta romana di 364 navi di ritorno dalla sconfitta di Attilio Regolo a Tunisi approcciò le coste siciliane nei pressi dell'antico porto di Kamarina (oggi presso Scoglitti, in provincia di Ragusa), ci dice Polibio (*Storie*, I, 37) che incappò in una violenta tempesta causa dell'affondamento di oltre 280 imbarcazioni «fracassate dai flutti contro gli scogli e i promontori [riempiendo] la costa di corpi e di relitti del naufragio». Considerando un centinaio di uomini di equipaggio per nave, le perdite

umane dovettero essere di circa 28 000 unità, ma Diodoro Siculo parla addirittura di 640 navi affondate! Nell'estate del 253 a. C., la flotta romana di nuovo in rientro dall'Africa fece rotta su Palermo e di nuovo Polibio (*Storie*, I, 39) riferisce che «di là, navigando in modo arrischiato e in alto mare verso Roma, di nuovo incapparono in una tempesta di una violenza tale che persero più di centocinquanta navi», forse vicino a capo Palinuro, come segnala Orosio (IV, 9). Per qualche anno Roma limitò le sue azioni belliche marittime mentre i Cartaginesi rinforzavano la loro presenza in Sicilia, finché nel 249 a. C., una nuova tempesta di libeccio causò enormi perdite alla flotta romana comandata da Lucio Giunio Pullo, si parla di 900 navi, tra vascelli da guerra e da carico, distrutte nuovamente nel tratto di costa tra Phintias (odierna Licata) e Kamarina. Fu uno dei più grandi naufragi della storia che decretò per molti anni l'arresto della politica marinara romana finché il 10 marzo 241 a. C., ricostituita la flotta, Roma uscì vittoriosa dalla battaglia delle Egadi ponendo termine alla prima guerra punica. I numeri delle navi naufragate ci fanno anche intravvedere quanto legname servisse per la loro costruzione: le grandi foreste della Calabria furono depredate e questo aumentò certamente il dissesto idrogeologico dei versanti, trasformando in una macchia mediterranea vulnerabile all'erosione quelle che dovevano essere allora vaste selve primarie. Non mancarono anche allora scelte politiche palesemente errate dove ad aver la meglio fu la tempesta: Tacito (XLVI) racconta che Nerone obbligò la flotta romana a salpare da Formia verso la Campania «con qualunque tempo», cosicché durante un fortunale vi fu un terribile naufragio nei pressi di capo Miseno. Ovviamente anche i commerci marittimi andavano incontro a frequenti naufragi come quello che attorno al 100 a. C. vicino all'isola Gallinara travolse la possente nave oneraria di Albenga, la più grande nave da carico romana rinvenuta nel Mediterraneo, lunga 40 metri, larga 12 che trasportava oltre 11 000 anfore vinarie. Giace a 42 metri di profondità, ed è stata oggetto fin dal 1950 di pionieristici recuperi subacquei, oggi esposti al Museo navale romano. E poi le cinque navi di Ventotene rinvenute nel 2009 a 100 metri di profondità, che probabilmente hanno cercato invano un approdo di emergenza durante antiche tempeste tirreniche in quella che non a caso è detta anche «isola del vento»; e chissà che anche i celebri bronzi di Riace non siano il regalo di una tempesta marina? Ma perfino i porti non scampavano le devastazioni generate da tempeste di vento e alluvioni, come nel caso dell'eccezionale ritrovamento del cimitero delle navi di Pisa, oggi al Museo delle navi antiche,

dal quale traiamo le seguenti note. Nel 1998 durante lavori ferroviari presso la stazione di Pisa San Rossore emersero a sei metri di profondità straordinari relitti di navi, e gli scavi archeologici, al loro termine nel 2016, restituirono circa trenta imbarcazioni di epoca romana e migliaia di reperti ceramici, vetri, metalli, cordami, cesti e attrezzi da pesca. Anticamente quella zona corrispondeva all'intersezione di un canale con il fiume Serchio (allora detto Auser), che oggi scorre più a nord. Lí si apriva un'area portuale oggi completamente interrata e posta a più di 8 chilometri dal mare, soggetta a continue alluvioni, almeno nove dal II secolo a. C. al VII secolo d. C., identificate grazie ai sedimenti che coprivano le navi affondate.

Attorno all'1-15 d. C. ha luogo una delle più rovinose alluvioni che causò la perdita della nave C o Alkedo (gabbiano) e della nave da carico B che trasportava derrate alimentari e sabbia dalla Campania: proprio questo reperto prova la rapidità dell'onda di piena che travolse il porto in quanto sotto il carico rovesciatosi giaceva il corpo di un marinaio abbracciato al suo cane: non ebbero nemmeno il tempo di salvarsi. L'ultima alluvione datata risale al VI secolo d. C., anche in questo caso l'onda di piena fu rapida in quanto vicino alla nave D si è rinvenuto pure lo scheletro di un cavallo da alzaia. Fu allora che il Serchio si separò dall'Arno nel quale confluiva più a sud e assunse il suo corso attuale circa 6 chilometri più a nord, decretando la fine della destinazione portuale del sito. Situazioni simili ricorrono anche a Ostia, dove il ritrovamento di una nave della prima età imperiale evidenzia che la linea di costa era allora arretrata di circa 4 chilometri, e a Napoli, dove tra il 2003 e il 2015 sono emerse varie navi romane durante gli scavi per la metropolitana in piazza Municipio. Era l'antico porto di Neapolis, oggi a circa 400 metri dalla linea di costa, sommerso da un'alluvione tra il III e IV sec. d. C. Anche l'Adriatico causava naufragi, come a Comacchio dove nel 1981 fu rinvenuta una nave carica di 3 tonnellate di lingotti di piombo e derrate alimentari, oggi esposti al Museo Delta antico, che spinta dal vento e dalle correnti durante una mareggiata avvenuta tra il 19 e il 12 a. C. si arenò sulla spiaggia in prossimità di uno dei rami deltizi del Po (che oggi sfocia più a nord), a circa 6 chilometri dalla linea di costa attuale. Un territorio idrologicamente vulnerabile, come ricorda l'Ariosto nel canto III dell'*Orlando furioso*:

[...] e la città [Comacchio] che siede in le piscose  
paludi, e del Po teme ambo le foci,

dove abitan le genti disiöse  
del mar turbato e de li venti atroci.

### *Le alluvioni del Tevere in età antica.*

Una delle piú importanti serie storiche di eventi idrologici al mondo è quella delle alluvioni del Tevere, riportate in numerosi documenti classici. Lo studio piú completo di questo corpus di dati l'ha compiuto Gregory Aldrete (2006), docente americano di Storia e studi umanistici dell'Università del Wisconsin Green Bay. La storia di Roma inizia con un'alluvione del Tevere, le cui acque limacciose deporranno sul greto la cesta contenente Romolo e Remo presso la palude del Velabro tra Palatino e Campidoglio, dove furono poi accuditi dalla leggendaria lupa. La scelta del sito per la fondazione della città eterna appare fin da subito sfortunata, trattandosi di una delle zone piú esposte alle inondazioni dell'intero corso del fiume che in questo punto prossimo alla foce ha una portata media annua di circa  $232 \text{ m}^3/\text{s}$ , ma ha raggiunto un massimo di circa  $4000 \text{ m}^3/\text{s}$  nell'evento del 24 dicembre 1598 (Bersani e Bencivenga 2001).

Aldrete estrae da 18 autori di fonti classiche 42 riferimenti a eventi alluvionali in 33 diversi anni che coprono un periodo di poco piú di otto secoli, dal 414 a. C. al 398 d. C. Ovviamente si tratta di un elenco parziale in quanto, come sempre accade con ciò che ci è rimasto dei documenti storici, non tiene conto di tutto quanto è andato perduto senza lasciar traccia. Bisognerà attendere i tempi moderni per avere dati continui e affidabili, e ripareremo in seguito delle alluvioni tiberine piú recenti. Aldrete calcola una frequenza di una grossa piena ogni 28 anni o circa quattro per secolo, sebbene il numero di eventi nei singoli secoli vari enormemente, da un massimo di 8 nel I secolo a. C. fino a nessun evento per alcuni secoli del Medio Evo, ma questa asimmetria può dipendere dalla disomogeneità e dalla perdita delle fonti storiche.

La peggiore alluvione antica sembra esser stata quella del 5 d. C., che – narra Cassiodoro (*Chron. 604*) – assediò la città per otto giorni rendendola percorribile solo in barca.

L'alluvione del 44 a. C. è stata resa immortale dai versi di Orazio (*Odi*, I-2):

Già troppa neve e grandine furiosa  
invio il Padre sulla terra, con la mano fiammeggiante  
fulminò le sacre rocche  
e atterri la città [...]

Vedemmo il biondo Tevere ritrarre  
violentemente l'onde dalla sponda etrusca  
e rovesciarsi sull'antica reggia  
e sul tempio di Vesta [...]

E sentiamo dalle parole dei protagonisti come doveva essere la situazione di Roma con le acque alte, leggendo la lettera XVII a Macrino di Plinio il Giovane, scritta durante il regno di Traiano tra il 97 e il 108 d. C.:

Il paese che tu abiti è forse sì sconvolto come questo? Non si veggono a Roma che burrasche continue, che innondazioni spaventose. Il Tevere è uscito fuor del suo letto, e sormontando le rive, si è disteso assai lontano. Benché il canale, che la prudenza somma dell'Imperadore ha fatto fare, ne abbia ricevuta una parte; egli nondimeno empie le valli, si spande per le campagne; per tutto ove trova pianure, egli non lascia niente di scoperto. Donde succede, che andando incontro ai fiumi, che è solito di ricevere e di condurli seco confusi, li costringe a rigurgitare e ricuoprire in tal guisa con acque straniere le campagne, che non ricuopre colle sue proprie. L'Aniene il piú piacevole de' fiumi, e che pare come invitato e ritenuto dai belli edificj fabbricati sopra le sue sponde, sradica e porta seco gli alberi che a lui facevano ombra. Egli ha rovinate le montagne, e trovandosi impedito in molti luoghi dalla lor caduta, cerca il passo che si è chiuso, abbatte le ville, e sopra delle rovine loro s'innalza. Quelli che abitano nei luoghi dove non è giunta innondazione, raccontano aver veduto nuotar sopra l'acque, là mobili preziosi, qua utensili di campagna; da una parte aratri, buoi ed anche i bifolchi medesimi; dall'altra parte greggie intere abbandonate al capriccio dell'innondazione, ed in mezzo di tutto ciò tronchi d'alberi, grosse travi, tetti interi. I luoghi, ove il fiume non ha potuto salire, non rimasero punto esenti da questa desolazione. Una pioggia continua e un torrente che non pareva cader dal cielo, non han fatto quasi minore sconvolgimento che il fiume istesso. Le fabbriche che rinserravano i retaggi piú preziosi e piú cari, son rimaste interamente distrutte. I sepolcri abbattuti; molti nell'acqua affogati, molti storpiati, molti fracassati, ed il lutto di cui ogni luogo è pieno, accresce e moltiplica le perdite. Piú che questo danno è grande, piú io temo che tu non ne sperimenti qualcuno simile, ove ti trovi.

Osservando la distribuzione stagionale, a partire dal Quattrocento d. C.

gran parte delle piene romane sono concentrate nei mesi invernali e nessuna cade in estate mentre nell'antichità si trovano alcuni riferimenti a piene estive, il che lascerebbe intendere un diverso regime delle piogge, con una siccità estiva meno marcata di oggi.

*Dopo le Idi di Marzo l'Alaska offusca i cieli di Roma.*

Giulio Cesare viene assassinato il 15 marzo del 44 a. C., evento che porterà alla fine della Repubblica romana e al sorgere dell'Impero. Questa lotta di potere ebbe luogo durante un breve periodo di insolito tempo inclemente, causa di carestie ed epidemie nel Mediterraneo. La ragione viene oggi attribuita a una delle più importanti eruzioni vulcaniche esplosive degli ultimi 2500 anni, datata – in base agli aerosol contenenti zolfo presenti nelle carote di ghiaccio della Groenlandia – all'inizio del 43 a. C., quella del vulcano Okmok II in Alaska (McConnell *et al.* 2020). Il 43 e il 42 a. C. furono probabilmente tra gli anni più freddi degli ultimi millenni con temperature che secondo le simulazioni climatiche risulterebbero di circa 3 °C inferiori alla norma attuale sulla regione italica, e precipitazioni molto abbondanti, una combinazione deleteria per i raccolti. Vi sono fonti storiche che parlano di cieli offuscati e fenomeni ottici in seguito all'uccisione di Cesare: Virgilio nelle *Georgiche* (libro I, v. 467) dice che il sole «si coperse di grigia caligine il capo splendente» e pure Plutarco in *Vita di Cesare*, segnala che il sole oltre che pallido dava anche poco calore così che i frutti non maturavano.

Sono fenomeni coerenti con gli effetti atmosferici degli aerosol vulcanici ma la loro data è antecedente di un anno rispetto all'eruzione dell'Okmok II, fatto che porta ad attribuire questi «prodigi» alla ben documentata eruzione dell'Etna nel 44 a. C., un evento che ebbe però carattere locale e non modificò il clima in modo significativo. McConnell precisa infatti che il VEI fu pari a 6 per l'Okmok II mentre fu solo di 3 per l'Etna. Vi sono invece altri riferimenti storici che segnalano freddo e carestie per gli anni 43-42 a. C., compatibili con un vasto e durevole deterioramento climatico su tutto l'emisfero settentrionale, dall'Egitto alla Cina. Il Corradi riferisce che nel 43 apparvero dei pareli, indice di aerosol vulcanico, e vi fu una piena del Po, mentre nel 41-40 la fame affliggeva Roma fomentando tumulti e drastici cambiamenti politico-sociali che segneranno la storia.

### *I primi secoli dell'era volgare: clima ottimale per l'Impero.*

Un approfondito studio del clima in epoca romana è quello di McCormick e colleghi (2012), cui segue la sintesi di Harper (2019) che dal periodo di massima prosperità alla dissoluzione dell'Impero romano, distingue queste fasi climatiche:

Optimum climatico romano: 200 a. C. - 150 d. C. circa

Periodo romano di transizione: 150 d. C. - 450 circa

Piccola glaciazione della Tarda Antichità: 450-700

Lo studioso americano nota che «i Romani, in una prospettiva planetaria, ebbero una fortuna sfacciata. L'impero raggiunse infatti la sua massima estensione e prosperità nelle pieghe di un periodo tardo-olocenico chiamato Optimum climatico romano. L'OCR si manifesta come una fase di clima caldo, umido e stabile in gran parte dell'area continentale mediterranea dell'impero. Si trattò di un momento particolarmente adatto alla nascita di un impero agrario fondato su una convergenza piramidale di accomodamenti politici ed economici. Insieme con il commercio e la tecnologia, il regime climatico rappresentò una silenziosa forza cooperativa nel circolo apparentemente virtuoso dell'impero e della prosperità». Questa inusuale stabilità climatica durata circa tre secoli si deve a una elevata insolazione e, soprattutto dal 40 a. C. al 150 d. C., a una bassa frequenza di eventi vulcanici esplosivi. «Tra un grande minimo solare registrato nel 360 a. C. e un altro nel 690 d. C., la radiazione solare fluttuò entro un campo di variabilità tutto sommato modesto, raggiungendo un picco massimo intorno al 305 d. C.». I ghiacciai alpini si ritirarono su posizioni probabilmente simili a quelle dell'inizio degli anni Venti, ma furono le piogge estive, regolari e ben distribuite a permettere raccolti cerealicoli stabili e abbondanti sia in Italia sia in Egitto e Medio Oriente: «l'Optimum climatico romano dovette probabilmente mitigare i peggiori rischi che correva l'agricoltura garantendo più pioggia, e più ampiamente distribuita, che nei periodi successivi. In agricoltura, la minaccia più pericolosa è che durante l'anno la pioggia rimanga sotto la soglia critica di redditività, circa 200-250 mm per l'orzo e 300 mm per il grano. Per i Romani, il rischio di un fallimento totale in un dato anno era reale e palpabile. [...] una marcata variabilità climatica nel Mediterraneo era inevitabile, e l'Optimum climatico romano riuscì al

massimo a moderare di anno in anno gli eccessi e l'imprevedibilità della meteorologia». Il periodo caldo romano non fu però più caldo dei primi decenni degli anni Due mila, come si evince dalla ricostruzione del Consorzio PAGES 2k (2013): fu mite, stabile, umido, ma ora il riscaldamento globale lo supera nettamente.

### *Comincia il declino: freddi e aridità tra secondo e terzo secolo.*

Rifacciamoci sempre a Harper: «Dalla metà del II secolo d. C., la fortuna dei Romani iniziò a calare [...] iniziò un periodo di scompiglio climatico durato tre secoli (150-450 d. C.), che proporrei di chiamare Periodo romano di transizione. [...] l'inclinazione finale verso estati molto aride iniziò a manifestarsi nelle ultime fasi dell'Optimum climatico romano, [ma] viene a rafforzarsi la possibilità che gli stessi Romani avessero avuto un ruolo seppure modesto nel determinare un'accelerazione del cambiamento. Le forzanti orbitali, solari e vulcaniche rimangono impassibili alle vicende umane, né si può dire che i Romani avessero inquinato sufficientemente l'atmosfera tanto da innescare i mutamenti climatici. È vero però che i Romani avevano abbattuto vaste aree di foreste. I boschi venivano tagliati per creare terreni agricoli, e la macchina economica romana consumava enormi quantità di legname per fuochi e altro combustibile». Secondo i dati dendroclimatologici (Büntgen *et al.* 2020) e di sedimenti marini (Zonneveld *et al.*, 2024), tra il 160 e il 180 si hanno alcune estati fredde anticipatrici del grande flagello della peste antonina, che fu probabilmente una pandemia di vaiolo e causò alcuni milioni di morti, assestando un duro colpo alla società romana.

Durante la prima metà del III secolo la siccità e il freddo sembrano espandersi sul Mediterraneo. Harper dice che «fu in quel momento di difficoltà che i cristiani coniarono l'immagine di vivere nella “vecchiaia del mondo” – metafora della *senectus mundi* che elaborarono all'interno di una guerra ideologica. [...] il cartaginese Tascio Cecilio Cipriano, era giunto a [queste] conclusioni: “In primo luogo, devi sapere che il mondo è invecchiato e non si sorregge più grazie a quelle forze con le quali si era retto in precedenza e che non ha più quel vigore e quella forza sui quali prima poggiava. [...] Non ci sono più così tante piogge in inverno per nutrire le sementi, non c'è più il solito calore in estate per fare maturare i frutti, né la

primavera gode piú del suo bel clima, né l'autunno è cosí fecondo dei prodotti degli alberi [...]. Cosí il sole al tramonto irradia i suoi raggi con minore splendore e minore calore. [...] La sorgente, che prima scorreva abbondantemente con gorgogliante corrente, se viene meno per vetustà, a mala pena fa sgorgare poche gocce". Per Cipriano, la terra stessa era diventata fredda e arida. [...] L'Optimum climatico romano scomparve silenziosamente per essere sostituito dalla cosiddetta Transizione tardoromana, un periodo di incertezza, disorganizzazione e acuta variabilità climatica durato circa tre secoli. I cambiamenti furono di portata globale. Il principale meccanismo esterno di forzatura fu la variabilità solare. Su Roma e il suo impero, il sole andò via via indebolendosi. Le prove fornite dall'isotopo del berillio rivelano un precipitoso calo dell'insolazione negli anni Quaranta del III secolo, a cui fece seguito un progressivo raffreddamento. Sulle Alpi, dopo secoli di disgelo, il ghiacciaio del Grande Aletsch cominciò nuovamente ad avanzare [...] gli anni Quaranta del III secolo si distinsero come un momento di intensa siccità lungo la fascia meridionale del Mediterraneo. Fu quella siccità a inaridire il Nord Africa di Cipriano. [...] la sedimentazione nell'Ecuador suggerisce che durante l'Optimum climatico romano gli eventi legati all'ENSO (El Nino Southern Oscillation) furono molto rari (una volta ogni 20 anni circa). In seguito, nei secoli del Periodo romano di transizione, gli eventi legati all'ENSO divennero estremamente comuni – all'incirca ogni tre anni. La straordinaria buona sorte dei Romani si era esaurita, molto tempo dopo che avevano iniziato a dipendere da livelli di produttività egiziana che presupponevano condizioni climatiche anomale ma favorevoli. Le piene del Nilo vacillarono, i granai si svuotarono, la crisi alimentare che seguí aprí le porte a un'altra grande e duratura epidemia, la «peste di Cipriano» del 249-60 (forse fu una forma di influenza), che fiaccò l'impero, decimò gli abitanti, estinse città e determinò il rafforzamento del cristianesimo (Zonneveld *et al.*, 2024).

### *La rinascita mite del IV secolo.*

Già dalla fine del III secolo, passati il flagello influenzale, la grande siccità e la relativa frescura estiva, il clima italiano tornò piú favorevole: le estati del 282, 285 e 287 sono tra le piú calde della serie dendrocronologica dell'emisfero Nord (Büntgen *et al.* 2020) e il IV secolo trascorse mite, per quanto non

riuscí più a eguagliare le condizioni dell'Optimum precedente. Secondo la serie delle temperature marine del canale di Sicilia (Margaritelli *et al.* 2020) il periodo più caldo degli ultimi 5000 anni si colloca tra il 250 e il 420, quindi più tardi rispetto alle ricostruzioni dell'Optimum da parte di Harper (2019). In ogni caso in quei secoli non vi furono importanti eruzioni vulcaniche e l'irraggiamento solare andò aumentando raggiungendo un massimo intorno al Trecento d. C., la temperatura crebbe, i ghiacciai si ritirarono nuovamente su posizioni analoghe a quelle della fine del xx secolo. È probabile che siano state prevalenti le annate con indice NAO positivo. L'Oscillazione nord atlantica è un'alternanza di periodi con elevati o deboli gradienti di pressione tra le Azzorre e l'Islanda. Quando il ciclone d'Islanda è molto profondo (cioè la pressione è molto bassa), mentre l'anticiclone delle Azzorre è robusto, l'indice NAO è positivo: le perturbazioni atlantiche spinte da forti venti occidentali tendono a scorrere a latitudini settentrionali, portando estati fresche e piose sull'Europa centro-settentrionale e stagioni calde e asciutte sul Mediterraneo. Quando le differenze di pressione tra Azzorre e Islanda sono deboli si ha un indice NAO negativo, i venti occidentali si affievoliscono, e le perturbazioni scorrono più a sud, entrando sul Mediterraneo e portando maggiori precipitazioni ma pure un clima più freddo e tempestoso. L'analisi delle deposizioni calcaree nelle grotte (speleotemi) permette di ricostruire l'intensità delle precipitazioni e dunque gli indici NAO, da cui risulta un IV secolo con piogge abbondanti e buoni raccolti sull'Italia settentrionale contrapposto a una maggior aridità e minor produttività agraria sulle regioni centro-meridionali. In questo contesto climatico mite, la nevicata miracolosa della notte tra il 4 e il 5 agosto 358 su Roma che nella tradizione religiosa indica il luogo dove costruire la basilica intitolata a Santa Maria Maggiore sul colle Esquilino, la ben nota Madonna della Neve, potrebbe essere stata in realtà una grandinata.

«Il clima del IV secolo, pertanto, si rivelò per certi versi favorevole all'attività umana ma con un carattere ondeggiante» (Harper 2019). Le siccità e le carestie locali erano sempre in agguato. Nel 330 viene fondata Costantinopoli, la Nuova Roma che sposterà il centro dell'Impero romano a oriente, mentre Roma perderà rilevanza.

*La siccità euroasiatica spinge i barbari a ovest.*

Nel corso del IV secolo la siccità si installa nelle vaste steppe euroasiatiche. Sono territori pianeggianti che vanno dall'Ungheria alla Mongolia, ecologicamente fragili, dove poche decine di millimetri di pioggia in più o in meno all'anno fanno la differenza tra una crescita di foraggio sufficiente ad alimentare le mandrie e la desertificazione che provoca carestie. La prevalenza di condizioni con indice NAO positivo deviò verso nord i flussi umidi atlantici inaridendo la steppa. Le popolazioni nomadi di pastori, cavalieri e guerrieri dell'Asia interna iniziarono così a migrare premendo sulle popolazioni confinanti a occidente: gli Unni nel 370 attraversarono il Volga e minacciarono i Goti, che a loro volta irruppero nell'Impero romano. Il 9 agosto 378, a Adrianopoli (oggi Edirne, in Turchia), i Visigoti inflissero all'esercito romano dell'imperatore Valente – che morì nello scontro – una delle più gravi sconfitte della storia di Roma. Con i primi anni del V secolo il flusso migratorio degli Unni da oriente divenne inarrestabile, enormi masse di guerrieri accompagnati dalle loro famiglie travolsero i fragili confini imperiali. Fu così che si giunse al sacco di Roma del 24 agosto 410 da parte dei Goti di Alarico. Nel giro di mezzo secolo il clima di remote regioni oltre il Danubio, pressoché sconosciute ai popoli italici, influenzò drammaticamente le sorti dell'Occidente spegnendo temporaneamente la luce millenaria della Città Eterna. Poco dopo, nel 452, toccò a Milano essere saccheggiata dagli Unni di Attila e l'Impero romano d'Occidente si frantumò.

*Il viaggio tirrenico di Rutilio Namaziano e lo scampato naufragio di Galla Placidia.*

Nel 1493 fu ritrovato nel monastero di San Colombano a Bobbio (Piacenza) un poemetto latino che narra di un viaggio per mare da Roma alla Gallia avvenuto poco dopo il sacco di Roma, probabilmente tra il 415 e il 417. Ne fu autore Claudio Rutilio Namaziano, uomo politico romano originario della Gallia Narbonense costretto a far ritorno verso i possedimenti di famiglia, per questo l'opera, priva di titolo originale, venne denominata «Il suo ritorno» (*De Reditu suo*). Rutilio effettua il suo trasloco forse in novembre, quando la navigazione in mare aperto era preclusa. Per questo opta per un piccolo cabotaggio lungo la costa tirrenica, partendo da Ostia e sbarcando inizialmente a Luni, presso la foce del fiume Magra, porto oggi

interrato non lontano dall'attuale Sarzana. Era una rotta lenta e tortuosa ma piú sicura per via dell'approdo rapido in caso di tempeste. L'elemento climatologico del viaggio di Rutilio sta nei cenni alle condizioni disagiевые delle strade che da un lato risentivano della scarsa manutenzione a seguito delle incursioni barbariche, dall'altro dovevano essere state soggette a dissesti alluvionali piú frequenti. Maria Grazia Celuzza (2011) riporta che «all'inizio del V secolo erano generalizzati, anche se non ancora drammatici, fenomeni di insabbiamento delle foci dei fiumi e dei fondali dei porti, mentre il clima stava probabilmente già subendo quel peggioramento in senso freddo-umido che sarebbe poi durato per buona parte dell'Alto Medioevo». Se Rutilio avesse viaggiato via terra avrebbe percorso la via Aurelia, ma preferí il mare anche perché «le vie di terra, l'fradice in piano per i fiumi, sui monti sono aspre di rocce» (I, vv. 37-38). «Abbiamo qui un'informazione di tipo ambientale, che potrebbe essere collegata a eventi climatici particolari ed esserne un'ulteriore e precoce testimonianza» (Celuzza 2011). Il paesaggio cupo di cui Rutilio è spettatore risente certamente del suo stato d'animo mentre abbandona per sempre Roma e il suo splendore violato, ma è pure fatto di città in rovina, ville abbandonate e di porti impaludati dalle alluvioni, che ci riportano alla memoria il cimitero delle navi antiche di Pisa. Di là dall'Appennino, sull'Adriatico, è a Ravenna che rimane una testimonianza simbolica delle antiche tempeste di mare che affliggevano i naviganti di quel periodo: la basilica di San Giovanni evangelista. La sua origine è frutto di un voto dell'imperatrice Galla Placidia che, nel 424, in viaggio per nave da Costantinopoli, sorpresa da un fortunale sulle acque dell'Adriatico, pregò san Giovanni evangelista, protettore dei naviganti, perché la salvasse dal naufragio.

## I secoli bui – e freddi – dell’alto Medioevo

*La Piccola età glaciale della Tarda antichità e il 536, l’anno peggiore nel quale aver vissuto.*

Harper identifica «il periodo tra il 450 e il 530 d. C. circa come il preludio alla Piccola glaciazione della Tarda antichità» nota come LALIA (Late Antique Little Ice Age). Sul Mediterraneo aumentano le precipitazioni per effetto di un indice NAO frequentemente negativo. Ma è nel gelido 536 che addirittura non ci sarà l'estate e si apre così un'epoca tormentata, di freddo e di alluvioni, di carestie ed epidemie, che metterà definitivamente in ginocchio ciò che ancora rimaneva dei fasti di Roma e del suo impero. La causa di queste drammatiche vicende climatiche risiede in una straordinaria sequenza di eruzioni vulcaniche e solo in minima parte in una diminuzione dell'attività solare (Büntgen *et al.* 2016; Shi *et al.* 2022). Secondo l'analisi delle deposizioni di solfati nelle carote di ghiaccio della Groenlandia e al colle Gnifetti, sul monte Rosa (Loveluck *et al.* 2018), la prima potente eruzione avvenne nel 535/536, forse in Islanda, la seconda, ancora più possente nel 539/540 forse in America centrale (vulcano Ilopango) e la terza, più debole nel 547. L'imponente emissione di aerosol ad alto contenuto di zolfo di questa inusuale sequenza ravvicinata di esplosioni vulcaniche velò i cieli dell'emisfero boreale, attenuando la radiazione solare e causando una diminuzione termica sull'Europa dell'ordine di 1-2 °C, con picchi di 2,7 °C sulla media estiva: le due estati del 536 e 537 sono state senza alcun dubbio le più fredde degli ultimi due millenni sull'emisfero settentrionale (Büntgen *et al.* 2020). Procopio e Cassiodoro riferiscono impressionati, senza conoscerne la ragione, di cieli torbidi, bluastri e offuscati per più di un anno, sole debole che non scalda e non proietta ombre, inverno senza tempeste, estate senza calore, frutti che non maturano e conseguente penuria alimentare (Harper 2019). Questa anomalia termica negativa si protrasse per alcuni anni, amplificandosi per mezzo dell'estensione dei ghiacci di banchisa negli oceani

boreali e coincidendo con un declino dell'attività solare che culminerà con un grande minimo millenario verso il 660. Ma le circostanze multiple riunitesi dopo l'eruzione del 536 faranno sì che quello degli anni 540 divenne il raffreddamento più grave e prolungato negli ultimi due millenni (Newfield 2018). I ghiacciai alpini tornarono ad avanzare e raggiunsero posizioni simili a quelle della successiva Piccola età glaciale, culminata attorno al 1820-50 (Braumann *et al.* 2021), anche se complessivamente la Piccola età glaciale della Tarda antichità durata fino alla fine del VII secolo mostrò estremi più severi rispetto alla Piccola età glaciale (1257-1850) e l'anno 536 fu definito dallo storico di Harvard Michael McCormick (Gibbons 2018) «l'anno peggiore della storia nel quale aver vissuto». Chi vuole fare una lettura divulgativa, anche se un po' datata, su questo inverno vulcanico così drastico quanto poco noto, può andare a cercare *Catastrofe* di David Keys (2000). In quel periodo le carestie indotte dal clima furono straordinarie, Bonardi (2004) segnala che attorno all'anno 560 «in Italia, per la fame, le madri mangiavano i figli». La conseguente debilitazione della popolazione favorì probabilmente la diffusione della prima pandemia di *Yersinia pestis*, la «peste di Giustiniano», scoppiata nel 541, causa di milioni di vittime. In questo panorama di devastazione, nel 568 i Longobardi invasero l'Italia. L'antichità si chiudeva sotto incalzanti pressioni ambientali, climatiche e sanitarie: iniziava il Medioevo.

### *Il diluvio di Paolo Diacono: Anno Domini 589.*

Paolo Diacono nel terzo libro della sua *Historia Langobardorum*, descrive un drammatico episodio alluvionale: «[a] quel tempo vi fu un diluvio nei territori della Venezia, della Liguria e di altre regioni d'Italia, quale non si crede ci sia più stato dal tempo di Noè. Terreni e fattorie diventarono laghi, e ci fu grande strage sia di uomini che di animali. Furono distrutte strade, cancellati sentieri, e tanto crebbe allora l'Adige che attorno alla basilica del beato Zeno martire, posta fuori le mura di Verona, l'acqua toccava quasi le finestre superiori; eppure, come scrisse il beato Gregorio, divenuto poi papa, nella basilica ne entrò pochissima. Anche le mura di Verona in alcuni punti crollarono a causa dell'inondazione. Questa avvenne il 17 ottobre, ma ci furono tanti lampi e tuoni quanti raramente se ne hanno d'estate». In Fontana *et al.* (2019) la traduzione del testo di Diacono porta la data del 23

ottobre 589 senza spiegare la motivazione del cambiamento. La sola conversione da data giuliana a gregoriana porterebbe al 19 ottobre: è un esempio della difficoltà di mantenere coerenza tra le date delle diverse fonti prima del 1582. La cronaca fu peraltro scritta alla fine dell'VIII secolo, duecento anni dopo i fatti, a riprova dell'enorme impressione che ancora si tramandava di quella catastrofe idrologica in regioni soggette a elevata instabilità dei fiumi, passata poi alla storia come «diluvio medievale» o «diluvio di Paolo Diacono» (Avesani 1997). In realtà la fonte primaria indicata dallo storico è papa Gregorio Magno (560-604) che nei suoi *Dialoghi* cita oltre alla catastrofe veronese anche una grave alluvione del Tevere a Roma che sommersse la città, distrusse chiese e granai. Il papato di Gregorio fu forse quello più segnato dai venti dell'apocalisse climatica, un'epoca di paura e di disfacimento delle istituzioni che portò Roma a ridursi a una diroccata cittadina di non più di 20 000 anime. Nei *Dialoghi* di papa Gregorio sono del resto indicati ben 9 miracoli connessi all'acqua, piogge torrenziali e alluvioni, tra cui quello di san Frediano, vescovo di Lucca, che cambiò il corso del fiume Serchio (Auser) liberando la città dalle alluvioni. Zanchetta e colleghi (2021) hanno messo in relazione questi miracoli meteoidrologici con l'analisi di una stalagmite della grotta della Renella nelle Alpi Apuane, riscontrando un netto aumento della piovosità attorno al VI secolo, per effetto di una probabile fase NAO negativa che favoriva la formazione di depressioni sul golfo di Genova e frequenti piogge abbondanti sull'Italia centro-settentrionale. Di questi sconvolgimenti idrografici legati a precipitazioni abbondanti e violente, oltre che nelle poche cronache su cui lo storico Paolo Squatriti (2010) invita alla prudenza interpretativa, rimane traccia nei sedimenti che hanno ricoperto molti insediamenti oggi oggetto di ricerche archeologiche. Che l'Adige in quell'ottobre del 589 abbia raggiunto una portata straordinaria causando la disastrosa «rotta della Cucca» (oggi presso il comune di Veronella, a sud-est di Verona) e mutando drasticamente il suo corso (Avesani 1997), appare confermato dal ricoprimento di villaggi romani in Trentino, come la domus del Giontech a Mezzocorona, sepolta dai detriti del torrente Noce – affluente dell'Adige – proprio in quel periodo e rinvenuta nel 1993. Il geomorfologo dell'Università di Padova Alessandro Fontana e colleghi (2019) hanno indagato con precisione i sedimenti delle piene del Tagliamento che hanno ricoperto l'antica Iulia Concordia, oggi Concordia Sagittaria, presso Portogruaro, attribuendo la deposizione di uno strato da 2 a 4 metri di sedimenti alluvionali principalmente a un singolo

evento catastrofico datato geochimicamente proprio alla fine del VI secolo, compatibile con la cronaca di Paolo Diacono, ragione del cambiamento del corso del ramo principale del Tagliamento (*Tiliaventum Maius*). Ed è noto che Modena sorge sulle rovine dell'antica Mutina romana, sepolta sotto sei metri di detriti portati da ripetute alluvioni appenniniche del periodo medievale (Broggiolo 2015): nel 2007 lungo la via Emilia nella zona est della città è venuto alla luce un massiccio monumento funerario perfettamente conservato nei limi depositati da quelle antiche inondazioni, alto 4 metri e pesante 25 tonnellate, l'Ara di Vetilia Egloge, oggi esposta al Palazzo dei Musei (Labate e Malnati 2010). Appassionante, vero?

*Prosegue il periodo freddo dei secoli bui e dell'età carolingia.*

La LALIA viene fatta terminare nel 660 ma anche il secolo successivo in Europa e Mediterraneo rimane piuttosto freddo così che in maniera più estesa si parla anche di Dark Age Cold Period (DACP) dal Quattrocento al 765 (Helama *et al.* 2017). Questa definizione, che fa riferimento ai secoli bui immaginati da Petrarca, non piace agli storici, che tendono oggi a non assegnare una connotazione negativa all'alto Medioevo, quindi sarebbe più opportuno seguire Büntgen e colleghi (2016) che propongono di utilizzare la denominazione LALIA per l'intero periodo. Nella cronologia delle avanzate glaciali alpine questo periodo freddo è anche noto come Göschenen Cold Phase II. Le scarse informazioni di cui disponiamo, riportano ricordi di inverni severi. Nel 604-5 secondo Paolo Diacono (IV, 29) vi fu un inverno freddissimo che gelò quasi ovunque le viti, gli anni successivi furono costellati di carestie ed epidemie. Ancora Diacono parla di mare ghiacciato nel 609. Nel 710 (o 716?) straripa il Tevere e Roma rimane allagata per sette giorni. L'inverno 763-64 fu freddissimo dal mar Nero alla Francia. Il 18 settembre 772, una tempesta di proporzioni eccezionali colpì, distruggendole, vaste porzioni del territorio bresciano: nella sola città di Brescia si contarono 500 morti (Bonardi 2004). Ancora più crudo fu l'inverno dell'853, durante il quale la laguna veneta gelò e le merci giungevano a Venezia su carri invece che via nave: Camuffo e colleghi (2017a) lo classificano «grande inverno» europeo, e ne analizzano magistralmente la complicata attribuzione della data che secondo varie fonti si confonde in un periodo che va dall'853 all'864 ma è forse sempre riferito allo stesso caso.

McCormik e colleghi (2007) propongono come causa di questi rudi inverni una moderata attività vulcanica di cui vi è traccia nelle carote di ghiaccio della Groenlandia e riporta per l'inverno 853 o giù di lì anche questa cronaca di Andrea da Bergamo: «in Italia cadde tanta neve, che per cento giorni le pianure ne furono coperte; [...] le viti in quasi tutti i luoghi di pianura seccarono, e il vino ghiacciava nelle botti tanto che non usciva nulla dal foro per la spillatura, e il ghiaccio doveva essere rotto con delle mazze».

Nonostante questi gelidi inverni, la fine del IX secolo vede anche presentarsi alcune delle estati più calde della storia, come quella dell'897 che secondo una serie dendroclimatologica proveniente dalle Alpi svizzere prossime al confine italiano è di 2 °C più calda della media del periodo 1961-90 (Kuhl *et al.* 2024). L'età carolingia trascorse dunque tra alti e bassi, facendo i conti con carestie ed eccessi di mortalità innescati da stagioni severe e sfavorevoli all'agricoltura e ai commerci.

## Anno Mille: una breve parentesi mite

### *L'anomalia calda medievale fu davvero così calda?*

Dal Novecento al 1200 l'Europa vive un periodo di clima stabile e tiepido. Non si verificano eruzioni vulcaniche esplosive responsabili di inverni vulcanici, l'attività solare è elevata e senza variazioni rilevanti tranne il modesto minimo di Oort (1040-80), la temperatura rimane costante su livelli più alti rispetto alla precedente LALIA e alla successiva LIA (Little Ice Age). Non c'è alcun altro periodo negli ultimi due millenni in cui il clima terrestre abbia visto un così basso livello di disturbi da parte di fattori forzanti naturali e in particolare l'intervallo di anni dal 725 al 1025 viene denominato da Bradley, Wanner e Diaz (2016) «Medieval Quiet Period». Fu Lamb nel 1965 a individuare e battezzare il Periodo caldo medievale (Medieval Warm Period, MWP), favorevole alla produzione agricola e ai commerci. Ma i dati quantitativi di cui disponeva Lamb erano molto limitati e la narrazione popolare aggiunse agli elementi descrittivi un carattere di eccezionalità che visto oggi, alla luce del riscaldamento globale, non ha più ragione di esistere, al punto che la comunità dei climatologi ha correttamente ridimensionato la definizione in Anomalia climatica medievale (Medieval Climate Anomaly, MCA), denominazione coniata da Scott Stine (1994) – proprio per contemplare in modo più corretto le variegate sfumature con cui questa fase climatica si è manifestata nelle diverse regioni del globo. Già nel 1975 la U. S. National Academy of Sciences, nel rapporto *Understanding Climatic Change. A program for action* aveva notato che «[l]a prima parte dell'ultimo millennio (1100-1400 AD circa) è talvolta chiamata Periodo caldo medievale, ma evidentemente non fu calda come la prima metà del xx secolo» (Diaz *et al.* 2011). In seguito, un variegato gruppo di ricercatori europei e americani (Gosse *et al.* 2006), puntualizza come «circa mille anni fa alcune regioni del globo come l'Europa potrebbero aver vissuto condizioni climatiche relativamente miti, ma l'estensione geografica di questa mitezza era minore

rispetto a quella che ha caratterizzato il xx secolo». Tali posizioni sono state ribadite da Mann *et al.* (2008) che segnalano come le temperature successive al 1980 appaiono più elevate di quelle del Medioevo. In questo lavoro Mann e colleghi ampliano l'analisi delle temperature emisferiche e globali a quasi due millenni dal presente, elaborando una versione aggiornata, estesa e migliorata del grafico noto nel mondo scientifico come «Hockey-stick», per la sua forma simile a un bastone da hockey, dove la serie delle temperature pressoché stabili degli ultimi secoli rappresenta l'impugnatura e il rapido aumento termico degli ultimi decenni rappresenta la spatola terminale che devia verso l'alto. Inoltre, il numero speciale di marzo 2011 di PAGES News (rassegna del progetto «Past Global Changes», istituito nel 1991 con l'obiettivo di comprendere i passati cambiamenti ambientali del pianeta, e coordinato dall'Università di Berna) è stato dedicato proprio alla Medieval Climate Anomaly, raccogliendo variegate analisi paleoclimatiche regionali. Tra queste, riguardo alla zona europea, spicca il lavoro di Büntgen e Tegel (2011), secondo cui «le elevate temperature estive sperimentate sulle Alpi durante la fine del xx secolo sono una novità relativamente agli ultimi 1500 anni».

La cristallizzazione del Periodo caldo medievale come picco assoluto di temperatura in oltre due millenni senza che vi fosse un aumento di gas serra di origine umana, è ancora oggi impiegata come arma contro le evidenze del riscaldamento globale, mentre il xxi secolo si dimostra ormai ben più caldo, soprattutto in termini di sequenze di annate oltre la media, rispetto al moderato tepore dell'Anno Mille. L'imponente lavoro di ricostruzione delle temperature estive europee dall'età romana a oggi effettuato da Jürg Luterbacher e altri 44 colleghi (2016), indica che i periodi estivi più caldi si sono verificati con valori equivalenti nel i, x e xx secolo, ma sono stati ampiamente superati nel trentennio 1986-2015 che è stato il più caldo in assoluto. Se aggiungiamo i nuovi record registrati nelle estati 2019, 2022 e 2023 la tendenza a un riscaldamento senza precedenti diviene ancora più evidente. Büntgen *et al.* (2016) nella serie dendroclimatologica delle Alpi, individua alcune delle estati più calde degli ultimi due millenni attorno al 1050 e al 1150, ma ampiamente superate dall'estate 2003 e poi da quella del 2023, la più calda fino a ora nota nell'emisfero Nord (Esper, Torbenson e Büntgen 2024). L'analisi dendroclimatologica di Kuhl *et al.* (2024) sulle Alpi svizzere assegna tuttavia un riscaldamento più evidente alle estati attorno al 960-90, con un picco nel 970, ma ancora una volta sono le preziose spoglie di

Ötzi a dare una giusta prospettiva a quelle miti estati alpine: se fossero state più calde rispetto alle attuali, la mummia sarebbe emersa dal ghiaccio ben un millennio prima del 1991, deteriorandosi irrimediabilmente.

Quindi alcuni decenni attorno all'anno Mille sono stati climaticamente tranquilli, certamente tiepidi ma non più caldi del nostro presente, appena una leggera increspatura positiva che si fa fatica a vedere nella ricostruzione della temperatura globale dall'ultima glaciazione a oggi effettuata da Osman *et al.* (2021).

### *La migrazione walser, un'interpretazione climatica da rivedere.*

Riguardo al Medioevo caldo, nei decenni passati si sono radicate diffuse convinzioni legate all'interpretazione superficiale di documenti storici che attestano la coltivazione medievale della vite in Inghilterra, la transitabilità di valichi alpini poi interrotti dai ghiacci nei secoli seguenti, le motivazioni della denominazione della Groenlandia come «terra verde», e spesso ancora oggi questi elementi vengono erroneamente presi in considerazione per evidenziare come il riscaldamento del XXI secolo non debba essere considerato un'evidenza del riscaldamento globale. In area alpina l'arrivo delle popolazioni walser di lingua tedesca dal Vallese al versante sud del monte Rosa e valle Formazza a partire dal 1150 è spesso attribuito alla facilità di attraversare i valichi alpini allora privi di neve e ghiaccio. Ma la pressione migratoria fu probabilmente originata da un eccesso demografico e di carenza alimentare nell'alta valle del Rodano, non dal fatto che il clima mite rese possibile l'attraversamento alpino, in quanto molti valichi della cresta spartiacque sono a quote percorribili facilmente in estate anche in annate molto nevose (il Sempione è a 2005 metri, il passo di Gries a 2469). Le motivazioni che spingevano a cercare nuovi territori anche in alta montagna erano dunque legate alla pura sopravvivenza, il clima mite aiutò la migrazione ma non ne fu il fattore determinante (Rizzi 2003). La migrazione procedette peraltro fino al 1400, quando la fase di raffreddamento della Piccola età glaciale era già iniziata da almeno 150 anni. Queste congetture furono probabilmente frutto di una lettura parziale dei pionieristici studi del glaciologo Umberto Mönterin (1887-1940), nativo di Gressoney-La-Trinité. Nel 1937 pubblicò il già citato *Il clima sulle Alpi ha mutato in epoca storica?* in cui descrisse svariate evidenze ambientali testimonianti passati climi più miti

in alta valle del Lys. Tale scritto è stato piú volte chiamato in causa per sostenere la tesi di un Medioevo particolarmente caldo sulle Alpi (Crescenti e Mariani 2010), interpretando però in maniera talora superficiale le acquisizioni di Mònterin. Egli infatti segnalò il ritrovamento di grossi ceppi di pino cembro del diametro di oltre 50 centimetri nella piana dell'alpe Bett, a 2200 m, e all'alpe Gabiet, a 2350 m, così come di un tronco di abete dell'età di 270 anni inglobato nella morena di fondo ai margini della fronte del ghiacciaio grande di Verra, 2250 m (val d'Ayas), tutte località che oggi si trovano al di sopra del limite naturale del bosco. Mònterin osservò giustamente che «se un pino cembro ha potuto allignare ad un'altitudine cosí elevata, bisogna ammettere che il clima sia stato sensibilmente piú mite nei secoli che precedettero i grandi sviluppi glaciali del XVI secolo e della prima metà del XIX [...] l'antico limite del bosco rado doveva essere non meno di 200 [300] metri piú elevato di quello attuale [...] mi sembra fuor di luogo il mettere in dubbio la reale esistenza d'un periodo a clima piú mite nei secoli che precedettero il grande sviluppo delle masse glaciali iniziatosi verso la metà del XVI secolo», senza tuttavia precisare il periodo, non essendo d'altra parte ancora disponibile all'epoca la datazione con il metodo del carbonio-14; piú verosimilmente, infatti, tali tronchi potrebbero risalire all'Optimum termico olocenico, ovvero circa cinque millenni prima della Medieval Climate Anomaly, cosí come attestato per altre località delle Alpi come il ghiacciaio Pasterze, in Austria (Nicolussi e Patzelt 2000), o il Vadret da Tschierva, in Engadina, Svizzera (Joerin *et al.* 2008). La fitta presenza di canali d'irrigazione nell'alta montagna valdostana, costruiti tra XIII e XV secolo e poi abbandonati, indicherebbe un clima basso medievale piú mite-asciutto e con ghiacciai piú ridotti rispetto alla Piccola età glaciale, tuttavia bisogna tenere presente che anche oggi l'irrigazione è necessaria negli assolati pascoli valdostani. Inoltre dai tempi di Mònterin (primi decenni del Novecento, che secondo le ricostruzioni paleoclimatiche potevano avere una temperatura paragonabile a quella della MCA) la temperatura media sulle Alpi è ulteriormente cresciuta di circa 1,5 °C!

E anche la transumanza transfrontaliera e transglaciale delle pecore tra la val Senales e la Ötztal nelle Alpi Venoste – che nel 2011 è entrata a far parte della lista Unesco del Patrimonio culturale immateriale – ci fornisce un valido esempio di come il passaggio di mandrie e greggi da una valle alpina all'altra possa avvenire anche attraverso passi molto elevati e in parte glacializzati (in questo caso il Niederjoch, 3019 m), dunque queste pratiche

millenarie non necessariamente sono probanti di un clima mite e sfavorevole al glacialismo. Comunque sia, molto di ciò che si racconta sulla dolcezza del clima medievale appartiene più alla sfera della leggenda che alla realtà (Caserini 2008) e nonostante gli importanti progressi della ricerca paleoclimatologica, pregiudizi e luoghi comuni sul clima medievale continuano a propagarsi e producono interpretazioni anacronistiche e lontane dalle acquisizioni biogeochimiche e modellistiche (Caniggia Nicolotti e Poggianti 2009).

### *Gli archivi sociali dell'Anomalia climatica medievale.*

Il progetto Archlim che ho coordinato nel 2010-12 su iniziativa della Società meteorologica italiana e con il sostegno della Compagnia di San Paolo di Torino (Mercalli *et al.* 2012) ha concentrato le indagini sulla consultazione delle fonti medievali edite antecedenti il Quattrocento, ovvero cronache, annali, atti, già trascritti e pubblicati. Il materiale d'archivio ancora inesplorato (inedito) e potenzialmente fonte di nuove informazioni storiche sul clima italiano – è certamente immenso, dal momento che innumerevoli sono gli archivi in stato di semi-abbandono e trascuratezza nonché in pericolo di danneggiamento e dispersione: un recupero sistematico, peraltro auspicabile, richiederebbe svariati anni di lavoro, e potrebbe costituire l'oggetto di futuri sviluppi. Le fonti principali che abbiamo esplorato sono: Biblioteca della Società storica subalpina; «Bollettino storico-bibliografico subalpino»; *Chartae latinae antiquiores*; *Rerum Italicarum Scriptores*; *Historiae Patriae Monumenta*; *Monumenta Germaniae Historica*. Sono state individuate 921 segnalazioni inerenti il clima del periodo compreso tra l'Ottocento e il 1400 A. D., talora dirette (descrizione di eventi meteorologici e dei loro effetti sul territorio e la società), talora indirette (indicazione di fenomeni quali le carestie, tra le cui cause figurano spesso anomalie meteo-climatiche), centrate prevalentemente sulla regione alpino-padana italiana. La disponibilità di informazioni appare piuttosto modesta per i secoli fino all'XI, mentre aumenta in seguito e soprattutto nel secolo XIV.

Le segnalazioni, digitalizzate in un apposito data-base, sono state vagliate attribuendo a ciascuna di esse un indice di anomalia/intensità termica e pluviometrica variabile da -3 a +3 in base agli effetti documentati.

Litzenburger (2011) parla efficacemente di «faire des chiffres avec des mots», ovvero ottenere numeri dalle parole.

### *Le anomalie termiche medievali: più freddo che caldo.*

Per quanto riguarda le anomalie termiche, dalle serie di informazioni ottenute emerge una netta prevalenza degli episodi freddi su quelli caldi (88 per cento del totale) durante tutto il periodo considerato, fatto che, in accordo con la letteratura riguardante la Medieval Climate Anomaly sembrerebbe smentire almeno in Italia la presenza di un periodo medievale significativamente caldo, del quale non si intravedono evidenze robuste.

Inverni rigidi non mancarono nemmeno intorno all'anno Mille, ma particolari concentrazioni di ondate di gelo straordinarie si ravvisano nei primi decenni del XII secolo (5 episodi di congelamento fluviale al Nord Italia tra il 1116 e il 1133), mentre attorno al 1350 si infittiscono le evidenze della Piccola età glaciale (estati fresche, pessimi raccolti e vendemmie). Non si è ritenuto opportuno assegnare ad alcuno degli eventi censiti l'indice +3 (caldo estremo e prolungato in rapporto alla stagione), dal momento che non si sono rinvenute testimonianze in cui fossero descritti in dettaglio effetti di ondate di calore (estivo o fuori stagione) di portata eccezionale, paragonabili ad esempio a quanto l'Europa ha sperimentato nell'estate 2003.

Al contrario, 13 inverni hanno meritato di essere classificati con indice -3 (freddo estremo): molti di questi sono riferiti a località lungo il corso del Po e alla laguna veneta per il fatto che – tra i vari effetti delle ondate di freddo rinvenuti nelle fonti documentarie – il congelamento esteso di corpi idrici è uno di quelli più probanti per identificare un periodo di gelo straordinariamente intenso e lungo, mentre danni seppure gravi alle colture agrarie (ad esempio in primavera) possono derivare anche da gelate di breve durata e pertanto meno rappresentative dell'andamento climatico medio di un determinato periodo (e in tal caso si è attribuito un livello di intensità/anomalia pari a -1 o -2).

### *Il ghiacciamento dei fiumi padani.*

Nel data-base Archlim sono stati conteggiati 19 episodi di ghiacciamento

fluviale (in genere del Po, ma spesso anche del Tanaro e della Bormida) tra il 1077 e il 1355, in media uno ogni 15 anni circa, ma con maggiore concentrazione tra il 1116 e il 1133 (5 casi in 18 anni), tra il 1216 e il 1240 (4 casi in 25 anni) e infine tra il 1306 e il 1337 (6 casi in 32 anni). In questo intervallo di poco meno di 3 secoli il più lungo periodo privo di episodi noti di congelamento fluviale è stato di 82 anni tra il 1134 e il 1215, paragonabile al tempo intercorso tra oggi e l'ultimo ghiacciamento esteso del Po, avvenuto ormai nel 1929. Questo episodio è stato analizzato da Giandotti (1929), che già allora – in un clima più freddo dell'attuale di circa 1,5 °C – indicava come «raro» il fenomeno «dell'agghiacciamento del Po». L'evento freddo di inizio febbraio 2012, nonostante sia risultato il più intenso almeno dal gennaio 1985 al Nord Italia, e abbia prodotto notevoli disagi alla viabilità e alla vita quotidiana, ha determinato la formazione solo di isolati banchi di ghiaccio sui maggiori corsi d'acqua della Valpadana (a Moncalieri la temperatura media del breve periodo 1°-15 febbraio 2012 è stata di -3,7 °C, mentre nel 1929 un valore medio analogo, pari a -3,9 °C, fu invece esteso a oltre un mese, dal 10 gennaio al 20 febbraio), nulla a confronto dei numerosi eventi di diffuso e duraturo congelamento attestati anche nel Medioevo.

#### *Cronache di inverni medievali: Enrico IV a Canossa.*

Il medico francese Joseph-Jean-Nicolas Fuster nel suo trattato *Des Changements dans le climat de la France* elenca tra gli inverni rigidi quelli del 994, confermato per l'Europa centro-occidentale dagli *Annales Quedlinburgenses* («Inverno rigidissimo, giunto il 3 novembre e prolungatosi sino al 7 maggio, con rarissime interruzioni») e del 1003: tali scarne indicazioni sono pur sempre utili per rilevare come inverni severi appaiano anche nei secoli centrali del Medioevo.

Nel 1020 gli Annali di Nonantola (pianura emiliana) registrano un inverno particolarmente nevoso («nix magna fuit», Tiraboschi, Fonti 3), e nella medesima stagione giungono notizie di forti rigori in Europa centrale, con perdita di vigneti a causa del freddo intenso (Annali di Auxerre, in Alexandre 1987).

Si giunge dunque al grande inverno del 1076-77, storicamente celebre per il viaggio a Canossa – nell'Appennino reggiano – con cui Enrico IV andò a domandare a papa Gregorio VII la revoca della scomunica. Le fonti storiche

hanno sempre posto l'accento sulle durissime condizioni atmosferiche che l'imperatore dovette subire passando tre giorni e tre notti, dal 25 al 27 gennaio, fuori dal castello della marchesa Matilde prima di ricevere udienza pontificia. E in effetti dall'analisi delle fonti sono emerse numerose testimonianze di questa terribile invernata, cui si è scelto di attribuire un livello di intensità «-3». Come indicato nei *Bertholdi annales*, fin dall'inizio del novembre 1076 «una gran quantità di neve iniziò a coprire ovunque la terra. Un tale presagio e segno dei futuri mali non si verificò solo in area Cisalpina, ma anche in tutta la Lombardia. A causa del gran freddo sia il Reno che il Po e altri fiumi gelarono e tacquero, tanto erano costretti dal freddo, e per lungo tempo si poté camminare su di essi come sulle strade. Questo inverno così gelido e nevoso continuò fino alle idì di marzo (15 marzo) [...]. E in quel giorno la neve iniziò a squagliarsi in tutte le terre, e lentamente a diminuire». Ma nonostante la severità del clima e le proibitive condizioni della montagna, Enrico IV dovette valicare il passo del Moncenisio (2081 m) nel mese di gennaio per recarsi nel Nord Italia, e come conferma la *Lamperti monachi Hersfeldensis Opera*, «l'inverno era estremamente rigido, e i monti, attraverso i quali occorreva transitare, erano immensi e con la cima quasi protesa a toccare le nuvole, coperti da una tale mole di neve indurita dal gelo, che né cavaliere né pedone poteva transitare su di essa senza pericolo di scivolare. Ma l'anniversario del giorno nel quale il re sarebbe stato scomunicato si avvicinava e non permetteva alcun ritardo nel viaggio, poiché se l'anatema non fosse stato tolto prima di quella data, il re sapeva che, di comune accordo, i principi gli avrebbero fatto perdere la causa e il regno, senza speranza di poterlo riavere. Quindi assoldò e portò con sé alcuni abitanti esperti dei luoghi e avvezzi ai precipizi delle Alpi, affinché precedessero lui e il suo corteo attraverso i precipizi e le nevi della montagna, appianando la strada con tutti i mezzi a loro possibili. Dopo essere arrivati con il concorso delle guide e non senza difficoltà in cima alla montagna, sembrò che non fosse più possibile avanzare a causa della pendenza del versante, reso scivoloso dal freddo glaciale. Là gli uomini, mettendo tutte le loro energie per vincere il pericolo, talvolta arrampicandosi con mani e piedi, talvolta portati sulle spalle dalle loro guide, a volte cadendo e scivolando lontano, pervennero infine al piano non senza grave pericolo di morte. La regina e le donne del suo corteo, avvolte in pelli di bue, furono trascinate in basso dalle guide che conducevano la carovana. Quanto ai cavalli, alcuni furono trainati con macchine, altri furono trascinati dopo che furono loro

legate le zampe, e di essi molti morirono durante la discesa, altri ne furono azzoppati e pochi in verità poterono giungere sani e salvi a destinazione...» Nell'*Historia aevi Salici* si indica che «in Italia [nel 1077] il Tevere e il Po gelarono e si potevano attraversare e percorrere a mo' di strade con cavalli, asini e carri». Anche nella *Vita Theoderici abbatis Andaginensis* si descrive «quel lunghissimo e aspro inverno, nel quale i maggiori fiumi della Francia e della Germania, il Rodano, la Loira, il Reno, l'Elba, la Vistola e il Danubio, e in Italia anche il Tevere e il re dei fiumi, il Po, furono costretti nel gelo e impercorribili alle navi, con uomini, cavalli, asini e carri che vi viaggiavano come sulla terra» cui seguì nell'estate «una siccità così lunga, che per la grande aridità furono negati i pascoli alle greggi, si seccarono i campi e morirono le erbe...»

Passarono soltanto 6 anni, ed ecco un nuovo significativo congelamento del Po nel tratto emiliano-lombardo, tanto da essere transitabile con carri, nel dicembre 1082, stagione di cui tuttavia scarseggiano i dettagli. Dopo una pausa di 34 anni – almeno da quanto ci è dato sapere dalle fonti consultate – una recrudescenza dei grandi inverni appare manifestarsi a partire dal 1116, tanto che fino al 1133 il congelamento esteso di corpi idrici al Nord Italia è segnalato in 6 stagioni: 1115-16, 1117-18 (o 1119 secondo Camuffo *et al.* 2017a), 1126-27 (quando «il fiume Eridano, ovvero il Po, gelò cosicché gli uomini passavano sopra il ghiaccio con carri e con cavalli», secondo gli *Annales et chronica Italica aevi Suevici*), 1128-29, 1129-30, 1132-33. Le cronache descrivono come particolarmente cruda proprio l'ondata di gelo del 1132-33, quando «si gela il Po da Cremona fino al mare; neve immensa copre le strade; ogni fiume e ruscello gelato, e sino il vino indurito; le quercie e le noci si squarciano, indi si seccano gli olivi, e le viti»; la carestia che ne deriva è tale che nell'anno seguente «nel territorio Padovano gli uomini si pascono d'erba». L'evento, citato da Toaldo (1719-1797) (Camuffo *et al.* 2017a), è confermato come attendibile anche da Zanon (1933). Questo infittirsi di stagioni rigide è concorde con quanto indicano le dettagliate analisi di Pfister *et al.* (1998), che segnalano come nel periodo 1090-1179 gli inverni fossero freddi come durante la Piccola età glaciale.

Tuttavia, ecco apparire anche le prime notizie relative a episodi caldi, peraltro supportati solo da limitate indicazioni: fino all'anno 1100 sul Nord Italia viene registrata una sola testimonianza di caldo anomalo, a Ravenna nel 1039 (uno scarno «caldo eccessivo», «causa di pestilenzia» riportato in *Historiae aevi Salici*), a fronte di numerose segnalazioni di freddo.

Toaldo (1802, Fonti 3) segnala senza troppa enfasi un «caldo eccessivo» nell'estate 1135 al Nord Italia, in attesa che nel 1157 un'«estate caldissima» unita a forte siccità determini un incremento della mortalità tra gli uomini in Lombardia. Seguono alcuni decenni con anomalie modeste, ma sempre per lo più improntate al freddo e alle nevicate, poi il XII secolo si chiude con la segnalazione nella *Chronica* di Bonifacio da Morano di una nevicata addirittura in piena estate, il 21 agosto 1199, a Modena: l'intensità dell'irruzione fredda fuori stagione è confermata dalla notizia di gelate nelle tre notti successive (Alexandre 1987). Il medesimo evento (neve e gelo per la durata di tre giorni ad agosto) è registrato anche a Bologna ed è citato nella *Cronaca Bolognese* di Pietro e Floriano da Villola (in *Corpus Chronicorum Bononiensium*) e dal *Memoriale historicum rerum Bononiensium* di Matteo Griffoni.

Mancano, limitatamente a questi decenni a cavallo tra XII e XIII secolo, attestazioni di stagioni invernali particolarmente severe, e in effetti Pfister *et al.* (1998) indicano come tra il 1180 il 1209 gli inverni dell'Europa centro-occidentale fossero fin più miti che nel periodo 1901-60.

Poi nel 1207 nevicata straordinaria a Parma: Salimbene de Adam riferisce che «nevicò strabocchevolmente e si chiama la neve di S. Agata, perchè fioccò in quel giorno, e i nati dopo d'allora la ricordano e ne parlano come di cosa straordinaria, chè arrivò all'altezza della statura d'un uomo». Poco dopo nell'inverno 1215-16, ecco un nuovo episodio di stampo polare al Nord Italia, confermato da numerosi fonti documentarie coeve. Il *Liber de Temporibus* di Alberto Milioli registra infatti a Reggio Emilia un freddo intenso della durata di due mesi, causa di un'imponente gelata del Po: «e le vigne e il Po gelarono, tanto che i soldati andavano a cavallo sul ghiaccio del suddetto Po e facevano tornei, e lo attraversavano con carri e slitte, e le donne ballavano sul suddetto ghiaccio; e il gelo durò per due mesi. [...] e il vino rimaneva congelato, tanto che lo si tagliava con le scuri». Poco più a monte, una conferma giunge anche dagli *Annales Piacentini*, dove si riporta che sul Po «gli uomini correndo andavano da una riva all'altra, e si diceva, che da Bocca tagliata in giù gli uomini potessero andare sul letto gelato del Po fino al ponte di Cremona; e il gelo fu così perfido, che i pani, le pere, le mele e le altre cose che si era soliti mangiare a stento si potevano tagliare, se prima non venivano scaldate sul fuoco e scongelate». Una situazione analoga si ripropone solo 18 anni dopo, nell'inverno 1233-34, quando a Alessandria «gli alberi da frutto, esposti al freddo, e quasi tutte le viti disseccarono. Il Tanaro gelò, al punto tale che lo

si attraversava con i carri senza pericolo; e i vini nei vasi, se non adeguatamente riscaldati, gelarono anch'essi; ne conseguí una penuria e una carestia di vino e di frutti; ugualmente si faticò per l'approvvigionamento di frumento» (*Annales Alexandrini*). Inoltre a Parma «le vigne, i fichi e gli oliveti furono seccati dal freddo» (*Annales et notae Parmenses et Ferrarenses*) e in Lombardia «non si vendemmiò alcun frutto in quell'anno se non sulle coste e sui monti» (*Annales Mediolanenses*), laddove – al di fuori dello strato di inversione termica – le temperature minime dovettero essere meno rigide. Nell'ambito di un periodo probabilmente più freddo dell'attuale, gli *Annales Mediolanenses* riportano una copiosa nevicata il 26 aprile 1246 a Milano, nonché una gelata notevolmente tardiva il 19 maggio 1252 a Saliceto, nella bassa pianura tra Piacenza e Reggio Emilia, dove secondo il *Liber de Temporibus* i vigneti furono distrutti.

#### *Anomalie pluviometriche medievali: irregolari, ma più alluvioni che siccità.*

Sempre dalle analisi condotte nel quadro del progetto Archlim, gli episodi di anomalia di precipitazione appaiono irregolarmente distribuiti, tuttavia con una drastica prevalenza degli eccessi pluviometrici (75 per cento) rispetto alle siccità, segnale che può essere influenzato dal fatto che danni da piogge intense e alluvioni hanno una maggiore probabilità di essere registrati rispetto a quelli da siccità, che spesso divengono palesi solo al raggiungimento di notevoli anomalie negative di piovosità. Fino alla metà dell'XI secolo sono state raccolte quasi esclusivamente testimonianze di alluvioni, tra cui quella che attorno all'anno 1010 travolse la chiesa antica e l'adiacente borgo di Arnad, in bassa Val d'Aosta, dando luogo alla formazione dei cosiddetti «glairs» (depositi di materiale lapideo grossolano trasportato dalle acque di piena). Uno dei primi casi noti di siccità appartiene al 1067, anno cui il meteorologo padovano Toaldo attribuisce tempo «asciutto» in Italia settentrionale con conseguente carestia. Anche nel 1088 il *Chronicon Placentinum* riferisce di una «gran siccità» con «disseccamento dei corsi d'acqua e delle fonti, processioni a Piacenza per ottenere la pioggia» (Ratti 2023). In seguito è un alternarsi irregolare di penurie d'acqua e inondazioni. Milano viene penalizzata da una grave alluvione nell'ottobre 1111, quando «i fiumi a causa della pioggia continua crebbero a tal punto, che danneggiarono non solo i villaggi, ma anche la

stessa città in modo eccezionale» (*Historia Mediolanensis* di Landolfo iuniore). Le cronache si infittiscono dopo il 1150, ma sempre con prevalenza di episodi umidi, sebbene non manchino talora eventi siccitosi come quello della durata di ben 11 mesi che affligge il bacino della val Roia e il Ponente ligure dal maggio 1158 al marzo 1159 (livello di intensità -3), con effetti risentiti anche in Lombardia, dove si narra di «fiumi disseccati» (*Annali di S. Iohannis Brixensis*, in Alexandre 1987). Nel 1152 avviene sul Po la grande rottura di Ficarolo, a ovest di Ferrara, che portò alla nascita di un nuovo alveo principale, denominato «Po di Ficarolo». Poi «nel settembre 1177, diluviò così tanto che non si vedeva dai tempi di Noè. Infatti il Ticino crebbe fino agli argini, sommergendo in tal modo molti alberi. Il lago Maggiore crebbe fino all'altezza di 18 braccia [circa 10,7 metri] e sommerso le case di Lesa» (*Annales et chronica Italica aevi Suevici; Annales Mediolanenses*). Una sequenza di siccità si dipana invece tra il 1181 e il 1188 (tra cui un periodo secco pressoché ininterrotto dal 13 aprile al 29 settembre 1186 a Piacenza), poi le segnalazioni di anomalie positive di precipitazione tornano a prevalere nettamente per buona parte del XIII secolo.

Nel 1230 settimane di piogge nel bacino del Ticino da metà ottobre a novembre determinano disastrosi straripamenti, tanto che entrambi i ponti sul Ticino furono distrutti, e molti luoghi furono sommersi, e il Ticino riempí tutto il fondovalle fino alla base dei costoni montuosi (*Gesta Federici I imperatoris in Lombardia*) mentre il Po «crebbe a tal punto che ricoprí tutto fino a Gainago», nel Parmense (*Annales et notae Parmenses et Ferrarienses*). E numerose sono le segnalazioni di un gelido inverno nel 1234 su tutta Italia, con fiumi gelati, incluso il Po che si poteva attraversare con i carri, vino gelato nelle botti, moria di uccelli e di alberi da frutto e perfino lupi catturati e impiccati sulla piazza comunale di Reggio Emilia (Salimbene de Adam, *Cronica*; Alberto Milioli, *Liber de Temporibus*). Nel mese di gennaio «vi fu una tale abbondanza di brina e neve, che molte migliaia di ovini morirono in Puglia a causa della conseguente carestia, e anche molte bestie selvatiche e gli stessi uccelli morirono di fame, e non sapevano come fare poiché la terra era ovunque coperta di neve e gli stessi fiumi erano gelati; ed anche gli uomini si lamentavano disperati perché gli olivi e altri alberi da frutto erano stati seccati dal gelo» (Pfister *et al.* 1998).

## Una Piccola età glaciale dalle grandi conseguenze

*La Piccola età glaciale inizia col botto in Indonesia.*

Nel 1259-60 gli *Annales Alexandrini*, tradotti dal canonico Guglielmo Schiavina (Fonti 2), riferiscono di un inverno rigido e lungo, con prolungata permanenza della neve e danni alle colture agrarie: «Aspro e diurno fu l'inverno: imperocché le spesse ed altissime nevi rimanevano lunga pezza sulla terra e danneggiavano stranamente le biade». A questo episodio si è scelto di attribuire un livello di anomalia pari a -2, dal momento che non abbiamo reperito altre segnalazioni di eventi freddi, ad eccezione di una poesia in volgare ligure dell'Anonimo genovese, un notaio attivo tra il 1280 e il 1311, che nella lirica XII [CI] *De quodam malo yeme qui duravit de mense octobre usque marcius* (Ascoli, Fonti 3) narra di un inverno severissimo sul porto di Genova:

Ben son zà vinti [venti] anni pasai [passati]  
ch'e' no vi cotal yverno,  
che li omi à deslavorai [impediti a lavorare]  
e faiti star gran parte inderno [costretti all'ozio].  
Lo sol no à daito splendor [il sole non ha brillato]  
per gran grevor de nuvelao [pesantezza di nuvole];  
ogni re' vento è stao spessor [spesse volte]  
en nostro dano avexendao [avvicendato].  
Ni renovar ò visto luna,  
zà è passao pu de trei meixi [mesi],  
se no con bruda [fragore] e con fortuna  
de vento pobjo [piovoso] e bacane[i]xi [cavalloni],  
con troin [tuoni] e lampi e gran zelor [gelo],  
gragnora [gragnuola] e jazo [ghiaccio] e gran nevere [nevicate],  
chi n' àn guerrezai tutori [sempre]

en monto [molti] guise e mainere.  
Ma capeler [cappellai] e zocorai [zoccolai]  
per li gran fang[h]i e tempi croi [duri]  
an gua[a]gnao ben assai;  
se no che son mancai de szhoi [chiodi].  
E questi tempi marastrui [malaugurati],  
zo me par e sí se dixe,  
da lebezho [libeccio] son vegnui,  
chi n'è stao sempre raixe [radice].  
Ma piaxa a De' che vento grego,  
chi de lebezho è contrario,  
d'esti re' venti sea'n mego [ci sia medico, ci curi],  
revozando cartolario [mutando registro].

Il fatto che nel 1280, anno dei primi componimenti della raccolta, siano trascorsi vent'anni dall'evento colloca quel rude inverno genovese proprio verso il 1259 in sincronia con la citazione di Schiavina nella non lontana Alessandria. Questi due eventi persi tra i documenti medievali (non citati né da Guillet *et al.* 2017 né da Albini 2019 e Bufanio 2022) sono molto significativi perché potrebbero essere correlati con il forte raffreddamento indotto da una violentissima eruzione vulcanica di tipo esplosivo avvenuta nel 1257 di cui si trovano evidenze sotto forma di ceneri e aerosol solfati nelle carote di ghiaccio antico estratte in Groenlandia e in Antartide (Gao, Robock e Ammann 2008). Secondo Mann, Fuentes e Rutherford (2012) potrebbe trattarsi della più grande eruzione dell'ultimo millennio, con un effetto raffreddante stimato nell'ordine di 2 °C. Ecco che in questo caso le fonti documentarie possono fornire un valido elemento di supporto alle indagini geofisiche sul clima passato: il riferimento al sole senza splendore dell'Anonimo genovese è un sintomo inequivocabile di velo vulcanico. D'altra parte, un articolato studio di Miller *et al.* (2012) individuerebbe proprio in una serie di quattro potenti eruzioni vulcaniche avvenute nella seconda metà del XIII secolo la causa dell'avvio della Piccola età glaciale, attraverso un fenomeno di retroazione positiva «banchisa artica - correnti oceaniche» nel Nord Atlantico, con progressiva amplificazione del raffreddamento atmosferico (la fusione di crescenti masse di ghiaccio alla deriva avrebbe alterato il trasporto di acqua tiepida della corrente del Golfo verso l'Europa). In questo periodo, tra le poche testimonianze di inverni

insolitamente miti e poveri di neve in Valpadana figura quella relativa alla stagione 1265-66: è la *Cronica* di Salimbene de Adam che segnala che «in quell'anno [1265] all'incirca a Natale arrivarono i francesi in gran numero in aiuto di Carlo, fratello del re di Francia, che era a Roma [...] e accadde un gran miracolo, poiché quell'anno in cui vennero [all'inizio del 1266] non vi furono né freddo né gelo né ghiaccio né neve né fango né pioggia, ma anzi la via fu bellissima, sicura e dolce, come se si fosse nel mese di maggio». La citazione è importante in quanto sancisce per via indiretta che *freddo, gelo, ghiaccio, neve, fango e pioggia* fossero caratteri tipici degli inverni di quel tempo e gli inverni miti assolutamente occasionali. A Parma invece nel febbraio 1286 «Dio mandò per sette volte neve come lana e sparse la nebbia come cenere, e vi fu molto freddo e gelo» (*Annales et notae Parmenses et Ferrarienses*), e nel 1289 l'inverno si protrasse in primavera, tanto che nella città emiliana nevicò il 21 marzo e il freddo persistette fino ad aprile. Tornando alla misteriosa eruzione vulcanica che innescò il raffreddamento della Piccola età glaciale, il colpo di scena arriva nel 2013, con la definitiva attribuzione geografica della grande esplosione: si tratta del vulcano Samalas in Indonesia, individuato da Franck Lavigne e colleghi. L'evento avvenne verosimilmente tra maggio e ottobre del 1257 nel massiccio del monte Rinjani sull'isola di Lombok. Furono espulsi circa 40 chilometri cubi di materiale che generarono una colonna di ceneri e solfati alta fino a 43 chilometri. La città di Pamatan fu spazzata via e qualora i suoi resti fossero ritrovati diventerebbe la Pompei dell'Oriente. Le deposizioni individuate nelle carote glaciali suggeriscono che si sia trattato del più massiccio rilascio di solfati degli ultimi 7000 anni e l'indice di esplosività vulcanica pari a 7 la colloca tra le maggiori eruzioni dell'Olocene. L'inverno vulcanico piombò sull'Europa più o meno come accaduto nel 536, e subito la temperatura estiva del 1258 scese di circa 2 °C, come mostra la ricostruzione dendrocronologica di Kuhl *et al.* (2024) e la simulazione climatica di Wainman *et al.* (2024) gettando scompiglio tra i raccolti agricoli e le attività delle genti medievali (Guillet *et al.* 2017; Bufanio 2022).

*La Piccola età glaciale, un grande evento climatico durato sei secoli.*

L'espressione «Little Ice Age», Piccola età glaciale (PEG) in italiano, fu coniata da François E. Matthes nel 1939, in uno studio sui ghiacciai

americani della Sierra Nevada. François Émile Matthes (1874-1948) è stato un geologo, topografo e glaciologo di origine olandese trapiantato negli Stati Uniti, dove lavorò a lungo per l'USGS (United States Geological Survey). Nato a Amsterdam, si trasferì all'età di 10 anni in Svizzera, ed ebbe modo di frequentare i ghiacciai delle Alpi, poi passò in Germania e infine emigrò negli Stati Uniti nel settembre 1891, su un piroscalo che prima di approdare a New York fu preda di una violenta tempesta. Laureatosi in ingegneria si occupò del rilevamento topografico e geomorfologico delle Montagne Rocciose. Inizialmente Matthes intendeva per Piccola età glaciale il periodo di quattromila anni seguito all'Optimum termico olocenico nel quale i ghiacciai montani andarono riformandosi dopo la loro minima estensione per via della minore insolazione dovuta alle variazioni orbitali della Terra. In seguito l'espressione fu poi ristretta al più recente raffreddamento dell'emisfero nord culminato tra il 1500 e il 1850. La magistrale monografia della glaciologa di Cambridge Jean Grove (1927-2001) *The Little Ice Age* uscita nel 1988, è ancora centrata sui secoli XVI-XIX dell'evento climatico che in base a nuovi dati verrà sempre più anticipato fino all'attuale scelta di fissarne per l'Europa l'inizio al 1250, poco prima dell'eruzione del Samalas, e il termine verso il 1860-70 (Wanner *et al.* 2022).

Il raffreddamento della PEG, che fu il più pronunciato e duraturo di tutto l'Olocene nell'emisfero Nord, valutato in una riduzione della temperatura media annua di 0,6 °C rispetto alla media dell'ultimo millennio, può essere attribuito principalmente all'intensificarsi dell'attività vulcanica dopo il periodo di quiete attorno all'anno Mille, e secondariamente alla riduzione dell'attività solare durante i grandi minimi di Wolf (1280-1350), Spörer (1420-1550), Maunder (1645-1715) e Dalton (1790-1830). Questi fattori forzanti casuali si combinarono e si amplificarono reciprocamente con processi dinamici nell'alta atmosfera (ridotta produzione di ozono stratosferico, indebolimento del vortice polare) e negli oceani (indebolimento della circolazione termoalina, formazione massiccia di ghiacci di banchisa) con una tendenza verso indici NAO negativi (Andres e Peltier 2016; Slawinska e Robock 2018). Ovviamente non si trattò di un periodo omogeneo bensì di varie fasi acute più fredde intervallate ad altre più miti. In base alle tracce delle avanzate glaciali nelle Alpi svizzere al confine con l'Italia, Nicolussi *et al.* (2022) hanno posto l'inizio della PEG nel 1260, in concomitanza con gli effetti dell'eruzione del Samalas, e l'hanno suddivisa in fase iniziale (1260-1380), intermedia (1380-1575) e principale (1575-1860).

### *L'anomalia climatica dantesca.*

Dalla fine del Duecento le cronache di eventi meteorologici estremi aumentano e non possiamo certo elencarli tutti. Alcuni esempi: nel 1293 «il 10 luglio all'incirca all'ora terza (9 del mattino) vi furono grandi tuoni e molta pioggia a Parma; in quattro luoghi il fulmine colpí dal cielo e soprattutto in una casa dei frati Umiliati posta alla testa del ponte, che era piena di fieno, e la suddetta casa bruciò nonostante la pioggia, e gli uomini non riuscivano ad estinguere l'incendio nemmeno con acqua e aceto. E in quel mese un'altra volta colpí la casa di frate Colomba da Piacenza, la cui casa bruciò insieme ad una gran quantità di grani. E in quel tempo vi fu una grandissima grandinata nella diocesi di Cremona, e un chicco di quella grandine grande come una palla pesava tre libbre. E in quell'anno e mese, l'11 luglio iniziarono nella città di Pistoia grandi tuoni e fulmini e durarono per 24 giorni» (*Chronicon Parmense*). In questa cronaca, il riferimento a un chicco di grandine del peso di tre libbre, cioè circa 928 grammi, è importante perché costituisce un elemento di confronto con le analoghe dimensioni della grandine (circa 1 chilogrammo) delle tempeste del 24-25 luglio 2024 sia a Crema, sia in Friuli, di cui tratteremo in seguito. Gravi alluvioni nel bacino padano, con numerose vittime e danni si verificano nel tardo autunno del 1294: «nella festa di Ognissanti [...] e in quei giorni i fiumi dalle Alpi crebbero e si gettarono nel Po e in altri fiumi, da Cremona e attraverso il comitato di Cremona, Brescia, Piacenza, Parma, Reggio, Modena, Mantova, Padova, Ferrara, e nelle contrade adiacenti al di qua e al di là del Po, e la gente diceva che si trattava di un diluvio straordinario per quei giorni e quei luoghi, tanto che paesi e case furono sommersi, una gran quantità di uomini, donne e bambini annegarono, e un infinito numero di suppellettili furono perdute» (*Petri Cantinelli Chronicon*). Con il 1300 si apre un periodo di forte variabilità delle precipitazioni che dalle alluvioni passa improvvisamente alle siccità, come quella del 1302-304. Bauch e colleghi (2020) citano gli sforzi di Parma e Siena per costruire nuove fontane, scavare nuovi pozzi e approvvigionarsi di cereali per alleviare la fame dovuta a cattivi raccolti. Siena cerca di recuperare l'accesso al porto di Talamone, vicino a Orbetello, per agevolare l'importazione navale di grano, con enormi investimenti che la rendono oggetto di derisione perfino da parte di Dante che nel canto XIII del *Purgatorio* definisce i senesi «tra quella gente vana | che spera in Talamone, e perderagli | più di speranza ch'a trovar la Diana...» La Diana era il mitico

fiume sotterraneo che nel Medioevo si pensava scorresse sotto la città e mai fu trovato. Dopo la siccità, arrivò il freddo: nel 1305-306 gli *Annales Alexandrini* segnalano che «nulla si considerò memorabile e degno di essere menzionato ad eccezione del freddo, il quale si inasprí così tanto che il Tanaro ghiacciato reggeva non soltanto gli uomini ma anche le bestie e addirittura i carri, e consentiva a coloro che lo attraversavano un transito sicuro. Intanto, in Alessandria, poiché le macine dei mulini, inceppate dal gelo, non potevano essere azionate, si soffrì a lungo la fame». Piú a valle, anche il Po andò soggetto a un esteso ghiacciamento, come attestato dagli *Annales et notae Parmenses et Ferrarienses*: «nel mese di gennaio [1306] per 13 giorni vi fu un tale e intenso freddo, maggiore di quanto si potesse ricordare, che tutti i fiumi nelle valli indifferenemente e in tutta la Lombardia congelarono, e il fiume Po congelò in piú parti ossia fu a tal punto congelato, che molte persone camminavano sul ghiaccio, e le navi a stento potevano transitare». I *Conti delle Castellanie* conservati presso l'Archivio di Stato di Torino confermano che a Carignano l'«inverno [1305-06] particolarmente rigido distrugge i vigneti» e così anche nella vicina località di Moretta, dove «tutte le viti e gli alberi morirono per il gran freddo invernale» (Mercalli *et al.* 2012). Il terribile inverno 1305-306 diede filo da torcere anche all'eretico Fra' Dolcino e ai suoi seguaci bloccati dalla neve presso la «Parete calva» di Rassa, in Valsesia (1425 m) e poi sul monte Rubello nel Biellese, costretti a cibarsi di erbe, radici, cani, topi e perfino dei compagni morti, perseguitati dal vescovo di Vercelli Raniero Avogadro, come ricorda pure Dante nel XXVIII canto dell'*Inferno*:

«Or dí a fra Dolcin dunque che s'armi,  
tu che forse vedra' il sole in breve,  
s'ello non vuol qui tosto seguitarmi,  
sí di vivanda, che stretta di neve  
non rechi la vittoria al Noarese,  
ch'altrimenti acquistar non saria leve».

Ed è proprio Dante che viene evocato per denominare una fase di clima ancora piú sfavorevole con piogge torrenziali soprattutto in Europa centrale: è infatti lo storico del clima Neville Brown che nel 2001 propone di chiamare «Dantean Anomaly» il periodo tempestoso 1314-22 che segna il definitivo insediamento della Piccola età glaciale (Bauch 2018b). Il *Chronicon Parmense*

riporta nel 1310 quello che dalla descrizione sembrerebbe un vero e proprio tornado: «la popolazione di Langhirano il 19 aprile, una domenica dopo Pasqua, mentre si recava lungo il fiume Parma e il canale Fabiola verso il mulino posto sul canale, viene colta nel pomeriggio [tra nona, le 15, e il vespro, le 18] da una tempesta di vento con tuoni e lampi. I venti, soffiando da due direzioni, causano un turbine che solleva le pietre e le porta lontano. Le persone che provano a soccorrere coloro che erano stati travolti dal turbine vengono a loro volta sollevate da terra e scaraventate lontano di almeno un tiro d'arco, rimanendo tramortite e quasi morte. Il vento è stato così forte da seccare in quell'area sia il fiume che il canale; il mulino, pur senza acqua, a causa della forza del vento continua a macinare, finché sia le ruote che la mola non vengono spezzate e la casa scoperchiata, con frammenti che vengono proiettati sopra gli alberi. Molte piante sono sradicate o private della loro cima. Il vento è durato per un'intera ora, poi ha piovuto. Cessata la tempesta, altri uomini sono usciti dalle loro case per recuperare le persone colpiti dal vento per soccorrerle e portarle nelle proprie case, non sapendo da dove gli infortunati venissero, e questi ultimi si trovavano in pericolo di morte. Queste cose sono state raccontate e verificate de visu da molte persone dinanzi ai podestà e ai giudici di Parma».

Dante nel IX canto dell'*Inferno* descrive proprio con questa figura meteorologica l'arrivo del Messo Celeste sullo Stige:

E già venía su per le turbide onde  
un fracasso d'un suon, pien di spavento,  
per cui tremavano amendue le sponde,  
non altrimenti fatto che d'un vento  
impetuoso per li avversi ardori,  
che fier la selva e sanz' alcun rattento  
li rami schianta, abbatte e porta fori;  
dinanzi polveroso va superbo,  
e fa fuggir le fiere e li pastori.

Il 27 dicembre 1317 venne una gran nevicata su tutta la Lombardia e soprattutto su Parma, «con gran ferore di vento e fata la matina non era neve su gli tecti ne per le strade, ma tutta per le case, in camere, in granari, in palacij, in chiese et in ogni parte di case aperte et serate et fu ben grossa un braccio e piú [circa 60 cm], e le persone quella notte non poteron stare nel

letto senza gran tedio di detta neve» (*Chronicon Parmense*). Il 1319 vede gelare il Po (Camuffo *et al.* 2017a) e ancora dal *Chronicon Parmense* si viene a sapere che gelò il vino nelle botti e morirono molti alberi e «lo dí de carnevale, che fu un martedí a' 20 di febraro, vene una neve pernisarola [termine oggi ignoto utilizzato per descrivere bufera] con vento forte tale che le persone non poteano aparere per le strade, e quello fu per tutta Lombardia, e molte persone per fredo gelaron e moriron, e durò la neve e il giaccio per le strade fino a mezo marzo e anco piú dove non bateva il sole; e furon per ciò le legne molte care; porci salvatici in ogni parte si pigliava senza numero per quello tempo, et era lecito a ognuno andare a caccia, e pigliavan lepori et altre caciagione e portavano in quarti a vendere i vilani in piazza e per la citta; e la giaccia era per le strade e vie grossa mezo braccio [30 cm] e piú, e gelaron i fichi». Le grandi nevicate padane dell'anomalia dantesca non danno tregua, riporto ancora questa del 1322, sempre dal *Chronicon Parmense*, anche perché vi è un riferimento quantitativo a una straordinaria altezza del manto di circa 1,2 metri che costrinse a scavare dei tunnel per le vie di Parma: «Per tuto novembre e decembre gran neve e gran fredo; i fumi gielati; e cosí per tuto genaro sequente e febraro la neve fu alta per 2 braccia e piú e perciò diruparon molte case, e furon per timore gettate le neve giú de li tetti, dove eran poi si grose in strada che uno non vedea l'altro da l'altro canto de la strada; e furon fate in asai lochi le vie soto la neve per le quale si caminava per la cità, e duraron in alcun loco, dove non dà sole, fino a l'aprile; e difetò di macinare». Però nel 1324 «[a]nzi Natale per piú mesi bel tempo soave senza fredo, gelo, o neve, et in le feste sereno con venti caldi, e prima quasi sempre sereno». Breve tregua, in quanto nel 1327 sul contado di Bologna «del mese d'aprile venne una gran neve e durò paríchi dí, ogni dí nevando». E brutto tempo significa anche cattiva salute. Pioggia e freddo, forse esaltati dall'eruzione del vulcano Tarawera in Nuova Zelanda (Hodgson e Nairn 2005) portarono alla terribile «Grande carestia» del 1315-17, avvertita anche in Italia settentrionale (Albini 2019). La popolazione europea fu preda di malattie e vi furono milioni di morti, una prima falla nella salute pubblica che spianò la strada alla Peste nera del 1348.

*Freddo e pioggia alimentano la crisi del Trecento.*

In questa fase storica turbolenta prendono importanza le informazioni

desunte dai *Conti delle Castellanie*, soprattutto per la zona compresa tra il Torinese, la bassa val Susa, il Pinerolese e il Saluzzese (Mercalli *et al.* 2012). Si apprende in questo modo che a Rivarossa, in Canavese, nel 1321 «i vigneti furono devastati dal gelo e non produssero quasi nulla», che nel 1329 «il gran freddo primaverile danneggia i raccolti nel Pinerolese», e pure nel 1334 vi sono numerose testimonianze di gelo e nevicate tardive in aprile su pianure e colline piemontesi, con ulteriori danni a vigneti e colture. Il 1324 è considerato un anno di siccità straordinaria nel Torinese, a Rivarossa, Collegno, Vigone e Villafranca Piemonte, e piogge scarse e irregolari riguardano anche l'Emilia nella prima metà dell'anno, mentre all'opposto nel 1328 abbondanti piogge estive penalizzano i raccolti a Carignano e Vigone e allagano vigneti nel Pinerolese, dove la vendemmia è scarsa. Nel 1330 il *Chronicon Parmense* segnala una straordinaria nevicata sulla vendemmia: «A' 27 setembre la festa di santo Cosmo e Dalmiano, fu un gran freddo con neve e pioggia, tal che li homini e donne che di Parma andaron quel dí a vendimiare con pochi panni, furon per freddo e pioggia in pericolo di morte, e le uve eran sí fredde che quelli non s'ardivan tocarle; e le uve, poste ne le tine per calcare, non potean tocare, tal che molti [...] furon che fecero foco di paglia e de sarmenti soto le tine per fare bolire, e seguí tal tempo or sereno, nubiloso, vel pluvioso, molti dí con freddo. A' 12 ottobre venere, piove forte e vene dopo pranzo per tuto il dí gran neve, quale per la pioggia non durava in terra et era un gran freddo, tal che si disi non piú alcuno haver veduto simile». Nel 1331 sono segnalate, si dice, 10 000 vittime per le gravi alluvioni di settembre-ottobre lungo il corso del Po, che abbatte i ponti di Torino, e nel tratto lombardo-emiliano «tutte le terre, le case, le chiese e le abitazioni furono sommerse e riempite dall'acqua; [...] chi poteva saliva sopra le case, ma non aveva di che mangiare [...] e la terra di Brescello fu tutta sommersa dall'acqua, e i campi furono completamente distrutti, e la chiesa di Brescello crollò, tanto che non ne rimase nulla. [...] E la suddetta piena durò a Resola del Po piú di 20 giorni» (*Annales et notae Parmenses et Ferrarienses*). Inoltre nel tratto emiliano «molte case ruinarono al basso e fuggendo la morte molti si salvarono su gli arbori, e per fame mangiarono le corteccie, e le fronde di essi» (Ghirardacci, Fonti 3), ma «diluvi» si abbattono anche in val San Martino (l'attuale val Germanasca), raccolti e mulini sono danneggiati dalle inondazioni a Rivoli, e pure la comunità di Susa soffre di danni tali da giustificare l'esenzione dalle tasse da parte del conte Aimone di Savoia. Dall'incalzante susseguirsi di stagioni segnate da geli e nevicate anche

precoci o tardive, e precipitazioni imbizzarrite par di riconoscere qui in modo piú significativo l'avvio della Piccola età glaciale, che avrebbe influenzato la civiltà europea per il successivo mezzo millennio.

Una delle prime scene di neve nell'arte internazionale compare nel Palazzo pubblico di Siena, nel grande affresco di Ambrogio Lorenzetti *Allegoria ed Effetti del Buono e del Cattivo Governo*, dipinto tra il 1338 e il 1339: in un medaglione dedicato all'inverno sulla fascia laterale della scena principale compare sotto una fitta nevicata un personaggio intabarrato con tricorno che tiene in mano una palla di neve (McCouat 2013). Se nel 1333 si assiste a un'isolata estate molto calda e secca in Valpadana, in cui «i fiumi e i canali si seccarono, e vi fu grande impossibilità a macinare, e vi fu un caldo intenso e continuo, piú di quanto non fosse ricordato dai viventi, e tanto che molte uve nelle vigne e fichi furono guastati dal caldo» (*Annales et notae Parmenses et Ferrarienses*), presto inizia un incalzante susseguirsi di stagioni primaverili ed estive sfavorevoli all'agricoltura. Nel 1345 l'estate è fresca e piovosa al Centro-Nord Italia, nel 1346 nel Torinese l'uva non riesce a maturare e in generale i raccolti sono magri e scadenti (segnalazioni da Carignano, Rivoli e Caluso), nel maggio 1348 danni da gelo intervengono nelle vigne di Vigone e Carignano e nuovamente nell'aprile-maggio 1349 nelle coltivazioni della val Chisone e dell'Alessandrino: «le gemme degli alberi da frutto e delle viti e anche le spighe dei cereali che tenere erano in procinto di fuoriuscire dalle guaine furono bruciate in massima parte. E a questa sciagura fece poco dopo seguito una penuria di vino, di biade e di frutti, anche la fame, e a causa della fame la pestilenzia, che, imperversando ferocemente, uccise una numerosa moltitudine di uomini» (*Annales Alexandrini*). Ancora, nel 1353 è segnalata una gelata delle viti per un'irruzione di freddo tardivo nel Pinerolese, nonché disagi per le nevicate primaverili nelle valli delle Alpi Cozie. Nel 1355 il Po gela nel tratto emiliano «per piú mesi», e le brinate di marzo recano nuovamente gravi danni a viti e fruttiferi dell'Alessandrino; Camuffo e colleghi (2017a) definiscono questa invernata «molto severa». Nel gennaio 1359, giorno di sant'Antonio, a Bologna cade la «neve grande» causa del crollo di molte case e del blocco delle attività commerciali: le cronache parlano di 4 piedi, circa 1,2 metri (Dean 2011), anche a Piacenza è segnalato 1 metro di neve (Ratti 2023). Tale andamento prosegue per tutta la seconda metà del XIV secolo, quando piú nessun evento caldo viene censito salvo una forte calura estiva genericamente indicata per l'Italia nel 1374. Dal 1368 affiorano numerose evidenze di vendemmie piuttosto tardive tra la terza decade di

settembre in Liguria e i primi giorni di ottobre in Piemonte, situazione che in un trentennio si riscontra circa un anno su due. Le fitte cronache di grandinate sulla pianura piemontese (Pianezza, Rivoli, Collegno, Vigone, Carignano, Pinerolo) sembrerebbero confermare una frequente instabilità atmosferica estiva, a cui si aggiungono lamentele per pessime vendemmie, come ad esempio tra l'Eporediese e la bassa Valle d'Aosta nel 1373, 1378, 1379 e 1382 (Mercalli *et al.* 2012). Gran piena del Po nel settembre 1394 che a Piacenza «ruppe diciassette travate del ponte» (Ratti 2023). Le carestie si moltiplicano a ritmo serrato anche in Toscana e in Puglia (Feniello 2021) e i fenomeni estremi devastano le campagne, come narra questa cronaca di frate Francesco da Viterbo: «A dí 20 d'Octobre [1392] fu sí gran tempesta in Viterbo, che levò molte tegule da le tecta, et ad S.to Sixto spezzò tavole, et legname de tecta, et de casa; sconficcò per forza una finestra, et roppè tutti li arbori del giardino drento le mura de S.to Sixto, et guastò molte case verso S.to Fortunato, et de fori guastò olme, et arbori infiniti, et occise doi femine de Viterbo, ch'erano andate per le castagne». Se nella seconda metà del Trecento, salvo l'episodio del 1355, non emergono dalle fonti storiche significativi casi di congelamento invernale dei fiumi italiani, aumentano dunque nettamente le attestazioni di stagioni estive assai negative per l'agricoltura padana e alpina, segnale in accordo con il deterioramento climatico che avviò l'avanzata dei ghiacciai alpini della fase iniziale della Piccola età glaciale. Nicolussi *et al.* (2022) stimano che nel periodo 1260-1380 la temperatura media estiva doveva essere di circa 0,7 °C inferiore a quella del XX secolo.

### *La grande piena dell'Arno del novembre 1333.*

È forse l'alluvione più nota nella storia, perché accaduta a Firenze, una delle zone allora più popolate e culturalmente vivaci d'Europa, e perché immortalata da Giovanni Villani con una descrizione degna di un moderno reportage giornalistico. È l'inizio di novembre, per quattro giorni e quattro notti la pioggia flagella la Toscana. Il giorno 4 l'Arno invade la città, devastandola. Crolla il ponte Vecchio causando oltre trecento vittime, il livello dell'acqua arriva a 4 metri sopra il piano stradale e ci vogliono sei mesi per rimuovere il fango (Frati 2015 e 2017). Ma lasciamo parlare il Villani, dal libro XII della *Cronica* (1348):

Negli anni di Cristo 1333 [...] quel dí de la Tussanti cominciò a piovere diversamente in Firenze ed intorno al paese e nell'Alpi e montagne, e cosí seguí al continuo quattro dí e quattro notti, crescendo la piova isformatamente e oltre al modo usato, che pareano aperte le cataratte del cielo; e colla detta pioggia continuando spessi e grandi e spaventevoli tuoni e baleni, e caggendo folgori assai; onde tutta gente vivea in grande paura, sonando al continuo per la città tutte le campane delle chiese, infino che non alzò l'acqua [...]. Per la detta pioggia il fiume d'Arno crebbe in tanta abondanza d'acqua, che prima onde si muove scendendo dell'Alpi con grande rovina ed émpito, sicché sommerso molto del piano di Casentino e poi tutto il piano d'Arezzo e del Valdarno di sopra, per modo che tutto il coperse e scorse d'acqua, e consumò ogni sementa fatta, abbattendo e divellendo gli alberi, e mettendosi inanzi e menandone ogni molino e gualchiere [magli idraulici per la follatura della lana] ch'erano in Arno, e ogni edificio e casa presso all'Arno che fosse non forte: onde perirono molte genti. E poi scendendo nel nostro piano presso a Firenze, acozzandosi il fiume della Sieve coll'Arno, la qual era per simile modo sformata e grandissima, e avea allagato tutto il piano di Mugello, non pertanto che ogni fossato che mettea in Arno parea uno fiume, per la quale cosa giovedí a nona a dí 4 di novembre l'Arno giunse sí grosso alla città di Firenze, ch'egli coperse tutto il piano di San Salvi e di Bisarno fuori di suo corso, in altezza in piú parti sopra i campi ove braccia sei e dove otto e dove piú di dieci braccia; e fue sí grande l'émpito dell'acqua, non potendola lo spazio ove corre l'Arno per la città ricevere, e per cagione di difetto di molte pescaie fatte infra la città per le molina, onde l'Arno per le dette pescaie era alzato oltre l'antico letto di piú di braccia sette; [...] Nella chiesa e Duomo di San Giovanni salí l'acqua infino al piano di sopra dell'altare, piú alto che mezze le colonne del profferito dinanzi alla porta. E in Santa Reparata infino all'arcora delle volte vecchie di sotto al coro, e abbatté in terra la colonna colla croce del segno di san Zanobi ch'era ne la piazza. [...] E il detto giovedí nell'ora del vespro la forza ed émpito dell'acqua del corso d'Arno ruppe la pescaia d'Ognissanti e gran parte del muro del comune [...]. E rotta la detta pescaia d'Ognissanti incontanente rovinò e cadde il ponte alla Carraia, salvo due archi dal lato di qua. E incontanente appresso per simile modo cadde il ponte da Santa Trinita, salvo una pila e uno arco verso la detta chiesa, e poi il ponte Vecchio stipato per la preda dell'Arno di molto legname, sicché per istrettezza del corso che v'è, l'Arno salí e valicò l'arcora del ponte, e per le case e botteghe che v'erano suso, e per soperchio dell'acqua l'abatté e rovinò tutto, che non vi rimase che due pile di mezzo. [...] E cadde in Arno la statua di Marte, ch'era in sul pilastro a piè del detto ponte Vecchio di qua. E nota di Marte, che gli antichi diceano e lasciarono in iscritto, che quando la statua di Marte cadesse o fosse mossa, la città di Firenze avrebbe gran pericolo o mutazione. [...] E se non fosse che la notte vegnente rovinò del muro del comune dal prato d'Ognissanti da braccia

quattrocentocinquanta per la forza dell'acqua, la quale rottura sfogò l'abbondanza della raccolta acqua, onde la città era piena e tuttora crescea, di certo la città era in grande pericolo, e per montare l'acqua in tutte parti della città il doppio che non fece; ma rotto il detto muro, tutta l'acqua ch'era nella città ricorse con grande foga all'Arno, e fu venuta quasi meno e nella città fuori del corso d'Arno il venerdì ad ora di nona, lasciando la città e tutte le vie e case e botteghe terrene e volte sotterra, che molte n'avea in Firenze, piene d'acqua di puzzolente mota, che non si sgombrò in sei mesi; e quasi tutti i pozzi di Firenze guastò, e si convennero rifondare per lo calo del letto d'Arno. E seguendo il detto diluvio apresso la città verso ponente, tutto il piano di Legnaia e d'Ognano e di Settimo, d'Ormannoro, Campi, Brozzi, Sammoro, Peretola e Micciole infino a Signa, e del contado di Prato, copperse l'Arno diversamente in grande altezza guastando i campi e vigne, menandone masserizie e le case e mulina e molte genti e quasi tutte le bestie; e poi passato Montelupo e Capraia, e per la giunta di piú fiumi che di sotto a Firenze mettono in Arno, i quali ciascuno venne rabbiosamente rovinando tutti i loro ponti. [...] Questo diluvio fece alla città e contado di Firenze infinito danno di persone intorno di trecento, tra maschi e femmine piccioli e grandi, ch'al principio si credea di piú di tremila, e di bestiame grande quantità; di rovina di ponti e di case e molina e gualchiere in grande numero, che nel contado non rimase ponte sopra nullo fiume o fossato che non rovinasse; di perdita di mercatanzie, panni lani di lanaiuoli per lo contado, e d'arnesi, e di masserizie e del vino, che ne menò le botti piene, assai ne guastò; e simile di grano e biade ch'erano per le case, sanza la perdita di quello ch'era seminato e il guastamento e rovina delle terre e de' campi: che se li piani l'acqua copperse e guastò, i monti e piaggie ruppe e dilaniò, e menò via tutta la buona terra. Sicché a stimare a valuta di moneta il danno de' Fiorentini, io che vidi queste cose per nullo numero le potrei né saprei adequare, né porreivi somma di stima; ma solo il comune di Firenze si peggiorò di rovina di ponti e mura di comune e vie, che piú di centocinquanta migliaia di fiorini d'oro costaro a rifare. E questo pericolo non fu solamente in Firenze e nel distretto, con tutto che l'Arno per la sua disordinata abondanza d'acqua in quella peggio facesse, ma dovunque ha fiumi o fossati in Toscana e in Romagna, crebbono per modo, che tutti i loro ponti ne menaro e uscirono di loro termini, e massimamente il fiume del Tevero, e copersero le loro pianure d'intorno con grandissimo dannaggio del contado del Borgo a San Sepolcro e di Castello, di Perugia, di Todi, d'Orbivieto e di Roma; e 'l contado di Siena e d'Arezzo e la Maremma gravò molto. [...] Fecesi questione per gli Fiorentini antichi, che allora viveano in buona memoria, qual era stato maggiore diluvio: o questo, o quello che fu gli anni Domini 1269. I piú dissono che l'antico non fu quasi molto meno acqua, ma per l'alzamento fatto del letto d'Arno, per la mala provvedenza del comune di lasciare alzare le pescaie a coloro ch'aveano le molina in Arno, ch'era montato piú di sette braccia dall'antico corso, la città fu piú

allagata e con maggiore dannaggio che per l'antico diluvio: ma a cui Iddio vuole male, gli toglie il senno. Per lo quale difetto avvenuto delle pescaie, incontanente fu fatto decreto per lo comune di Firenze che infra' ponti nulla pescaia né molino fosse, né di sopra a Rubaconte per ispazio di duemila braccia, né di sotto a quello dalla Carraia per ispazio di quattromila braccia, sotto gravi pene [...].

La *Cronica* continua con una lunga disquisizione sulle ragioni della calamità: punizione divina, influssi diabolici, congiunzioni astrali, ma denuncia pure l'impreparazione di cittadini e istituzioni (Schenk 2007). Meteorologia e idrologia non facevano parte delle conoscenze degli italiani di allora, che si affidavano ancora ai «tempestari», ciarlatani a cui si attribuiva la capacità di prevedere e pure di provocare le tempeste. Le alluvioni dell'Arno rimarranno un costante assillo per Firenze. Secondo l'Autorità di bacino dell'Appennino settentrionale, dal 1177 se ne contano 56, e le otto più rovinose si sono verificate negli anni 1333, 1547, 1557, 1589, 1740, 1758, 1844 e 1966. Su quella del 1966 ritorneremo, mentre su quelle più antiche facciamo riferimento ai lavori di Francesco Salvestrini (2017) che cita gli eventi del 1269, allorché l'Arno inondò il sestiere di San Pier Scheraggio e travolse il ponte Santa Trinità e quello alla Carraia, quello del 1284 ricordato sempre dal Villani, che provocò numerose vittime e fece crollare una parte della scoscesa costa San Giorgio in Oltrarno. Dopo la catastrofica piena del 1333 ve ne saranno molte nel Quattrocento, tra cui interessante per la sua genesi quella della notte del 12 gennaio 1466 che il cronista Luca Landucci attribuisce alla fusione delle nevi in Appennino «sanza essere piovuto una gocciola» su Firenze, fenomeno che si ripeterà nel novembre 1740. Almeno una decina di piene si verificarono nel XVI secolo a testimonianza di un peggioramento climatico, tra cui la più devastante fu quella del 13 settembre 1557 che allagò due terzi della città, causò il crollo di numerosissimi edifici e fece molte vittime, inclusi moltissimi animali domestici che ammorbarono l'aria a lungo. Da questo evento e da quello precedente del 17 agosto 1547 nacquero lungimiranti provvedimenti legislativi per la conservazione dei fiumi e contro la deforestazione nelle zone montane del bacino (purtroppo non sempre rispettati), al punto che il Granducato mediceo fu definito un «principato idraulico» (Ricci 2017).

*Roma Ognissanti 1345: «grannissimo diluvio e piena de acqua».*

L'Anonimo romano dipinge in volgare romanesco l'inondazione del Tevere: «Nella citate de Roma crebbe lo fiume lo quale se dice Tevere, e fu per sio crescere de aqua uno diluvio mortifero e maraviglioso in tale muodo, che pochi, anche nulli, se recordassino essere stato lo simile. [...] nello autunno, recoite le uve, comenzanno dalla festa de Onniasanti, parze che lle fontane dello abisso fussino operte per vomacare acqua. Allora comenzao lo Tevere a crescere e non descresceva niente [...]. Allora empio tutta la pianura la quale iace intorno alla citate de Roma, puoi la maiure parte drento e de fore. Maraviglia ène e cosa mai non odita da Romano. Tutta la pianura de Roma nota [nuota]. Soli sette cuolli se pareno non occupati dalla acqua. Questi so' li tiermini e lli confini de tale diluvio in Roma, e dico brevemente. In prima, la piazza de Santa Maria Rotonna era tanto piena che per nulla via per essa se poteva ire, né a pede né a cavallo. [...] Anche entrao lo monistero e lla chiesia delle monache de Santo Silviestro dello Capo. E chi voize ire alle donne, gio colla sannolella [barchetta]. [...] Anche ruppe le catene e lli ingegni dellli mulinari e menaone da cinque bone mole, le quale connusse allo mare. [...] Anche per l'acqua venivano arbori, navi, mole, tavole, animali, case, le quali violentemente avea tratto lo furore della acqua. Parte de queste cose se prennevano, parte ne erano portate a mare, anche porte, banche, votti pieni de vino e vuotti. E fu tale che prese la vuotte piena de vino e fu chi prese la cassa nella quale era pecunia. E fu chi vidde che per lo fiume notava una casa de leno de tavole de quelle ville, nella quale fu odito un guarzone che stava nella cola [culla] e vagiva» (Guidoboni 2010).

### *Il Quattrocento, leoni e palle di neve.*

Il XIV secolo vede aumentare le cronache a soggetto meteorologico, in genere piú frequenti nel caso di eventi di gelo, neve e alluvioni. Al castello del Buonconsiglio di Trento, nel celebre *Ciclo dei mesi* di Maestro Venceslao dipinto a inizio secolo, compare la prima grande scena di neve dell'arte internazionale, nel pannello dedicato a gennaio: il castello di Stenico fa da sfondo a gruppi di nobili che giocano a palle di neve mentre due cacciatori affondano fino al ginocchio nel manto nevoso (McCouat 2013). La mietitura del grano è ritratta nel mese di agosto e la vendemmia in ottobre, cioè circa un mese dopo rispetto ai periodi attuali, indice di stagioni estive brevi e fresche.

L'inverno del 1407-408 viene spesso menzionato in Europa come uno dei più freddi. In realtà in Italia molte informazioni su geli spettacolari che circolano sulla rete sono prive di fonte e Camuffo (1987) e Camuffo e colleghi (2017a) non lo includono nell'elenco dei grandi inverni europei e mediterranei per mancanza di dati certi, mentre citano quello del 1431-32 come «severo»: «gelo terribile a Venezia, ghiaccio esteso, spesso e resistente che fu possibile passare con i carri fino a Mestre e durò fino a febbraio».

La primavera del 1433 fu così piovosa che il 5 luglio a Bologna si fece scendere in città dal colle della Guardia l'icona della Madonna di San Luca per salvare i raccolti: ovviamente, appena varcata porta Saragozza la pioggia cessò e da allora si celebra il «miracolo della pioggia». Il decennio 1430-40 vide in Europa una netta prevalenza di inverni molto freddi, forse associati al minimo solare di Spörer, con ripetute crisi della produzione alimentare (Camenisch *et al.* 2016). Numerose le fonti per l'inverno 1441-42 nel quale oltre alla laguna veneta gelò anche il Po che poteva essere attraversato con i carri; a Ferrara si tenne una festa sul fiume ghiacciato. Il Muratori (Fonti 3) cita una nevicata precoce a L'Aquila il 30 settembre 1424 che rimase al suolo parecchi giorni e la «grossa neve» del Natale 1464 che bloccò la città «quindici nocti e jurni nevicando, e circa una canna alta [2 m]» e durò fino a tutto marzo. Il 24 agosto del 1456 Niccolò Machiavelli, nelle *Istorie Fiorentine* descrive uno «spaventevole turbine» che causò «inauditi e maravigliosi effetti: ma più notabili che altrove intorno al castello di San Casciano [...] È questo castello posto propinquo a Firenze a otto miglia [...] molte case furono infino al piano della terra rovinate. I tetti de' templi di San Martino a Bagnolo e di Santa Maria della Pace, interi come sopra quelli erano, furono più che un miglio discosto portati. Un vetturale insieme con i suoi muli fu discosto dalla strada nelle vicine convalli trovato morto. Tutte le più grosse querce, tutti i più gagliardi arbori che a tanto furore non volevono cedere, furono non solo sbarbati ma discosto molto da dove avevano le loro radice portati. Onde che passata la tempesta e venuto il giorno, gli uomini stupidi al tutto erano rimasi. Vedevasi il paese desolato e guasto, vedevasi la rovina delle case e de' templi, sentivansi i lamenti di quelli che vedevano le loro possessioni destrutte e sotto le rovine avevano lasciato il loro bestiame e i loro parenti morti [...]». Nel 1470-71 ha luogo in pianura Padana un'eccezione al freddo e alla neve (Ratti 2023) e poi di nuovo nel 1473: anno stranamente molto caldo e siccitoso, soprattutto in Nord Europa. In Italia si hanno segnalazioni di pozzi asciutti, cattivi raccolti, vendemmie precoci in Lombardia e Emilia

(Camenisch *et al.* 2020). La spiegazione proposta per questi inverni caldi che compaiono isolatamente è che circa un decennio dopo una grande eruzione vulcanica, la riorganizzazione della circolazione oceanica attivi alcune stagioni con NAO positiva (Zanchettin *et al.* 2013). In questo caso l'evento del 1473 presenta un ritardo compatibile con l'eruzione misteriosa del 1450-60 citata più avanti. Di nuovo gelido e con molta neve l'inverno 1476 «tempus yemis frigidissimus [...] die 16 Februarii in planicie Lombardie erat nix magna alta in mensura duorum brachiorum [circa 1 metro]» (Ratti 2023). Sul finire del secolo ricompaiono estati con tempeste, grandine, cattivi raccolti e carestia, come nel 1494-96 a Firenze (Tognetti 1999), e freddo e neve, tanto che si poteva giocare a palla sull'Arno ghiacciato, come segnala Giovanni Cambi (*Istorie*): «A dí 10 gennaio 1490 diacciò Arno per modo forte, che per tre dí vi si fece per gala alla palla, al calcio da giovani da bene, che rincresceva loro il vivere». Nel 1491 si ebbe gelo della laguna di Venezia, attraversata perfino dai lupi provenienti dalla terraferma (Camuffo *et al.* 2017a) e sono segnalati 30 centimetri di neve il 1º giugno a Bologna (ma è un dato del quale non sono riuscito a rintracciare la fonte originale, il Corradi cita soltanto neve il 2 maggio a Milano e il Po che «stette gelato fino al principio di Febbrajo»). Si ricordano statue di neve a Roma nel 1416 e la radicata tradizione di realizzare dei «leoni di neve» a Firenze (Dean 2011). Nel 1493 Corradi segnala «freddissimo inverno, talmente che il mare agghiaccia nel porto di Genova». Celebre l'episodio della statua di neve che Michelangelo Buonarroti dovette realizzare su richiesta del giovane Piero de' Medici (il Fatuo) nella corte del loro palazzo fiorentino durante la grande nevicata del 20 gennaio 1494, e che durò 8 giorni prima di fondersi (Ascanio Condivi, *Vita di Michelagnolo*). Quella nevicata è raccontata con dovizia di particolari da Luca Landucci nel *Diario Fiorentino*: «E a dí 20 di gennaio 1493 [1494 stile comune], el dí di San Bastiano, nevicò in Firenze la maggiore neve che si ricordi mai, secondo che dissono e più antichi. E infra l'altre cose mirande, ch'ella venne con certo vento con una bufera, in tal modo, che per tutto 'l dí non si potè mai punto aprire usci, né bottega, né finestre di casa. E durò dalla mattina, a l'Avemaria, insino a l'altra mattina a l'Avemaria, che furono 24 ore, che mai cessò punto, sempre colla bufera; per modo tale che non era fesso ne' bucolino sì piccolino, che non avessi el monte della neve in casa; ne' si suggellata casa che non fussi sì piena di neve, che si penò più dí a votarle. Vedevi per tutte le vie gittato dalle finestre e monti della neve, che bastorono molti dí, che non poteva passare né bestie né persone, in molti

luoghi. Ed erono tanta la gran quantità per le strade, che bastò molti dí che non si poteva consumare, come fa qualche volta quando si raguna per fare un lione. Cosí durorono que' monti, perché piú d'otto giorni durò per la città. Chi lo vide lo crede. El simile fece a Dicomano in villa mia. Mandai Benedetto fra otto dí a votare la casa, che la trovò alta in casa come se non vi füssi stato tetti. E fu in capo d'otto dí». Lo stesso evento è riportato anche nelle *Ricordanze di Bartolomeo Masi*: «Ricordo fo come a' dí xx di gennaio mcccclxxxijj [1494 stile comune], el dí di santo Bastiano, nevicò in Firenze in modo tale che gli alzò per le vie presso a un braccio [60 centimetri circa]; e fu in detto anno uno grandissimo freddo, in modo tale che si vedeva gettare fuori delle finestre uno catino di acqua calda, e mediato che l'era in sulle lastre, ell'era diacciata; e durò la sopradetta neve in Firenze un mese e piú; e diacciò Arno tra ponti di Firenze da banda a banda; et in detto anno si seccò, pel freddo grande che fu, una gran cosa di vignie e di vite di questi nostri piani; e cosí di molti ulivi et allori e mellaranci de' quali ne campò molti pochi. Dicono questi nostri antichi che a loro tempo non ricordono nevicare in Firenze mai, per una volta sola, tanta neve quanto fu questa di questo dí». Si trattò di una neve asciutta e polverosa tipica di basse temperature, che sospinta dal vento penetrava in ogni apertura degli edifici. Landucci ricorda anche l'uso di modellare leoni di neve radunandola e comprimendola, una tradizione derivante dall'elevata frequenza delle nevicate, che oggi sarebbe impensabile mantenere a Firenze, dove nevica raramente e in piccole quantità.

Si ipotizza che i freddi del xv secolo, oltre che per il contributo del minimo solare di Spörer (1460-1550), siano stati amplificati da un'eruzione vulcanica misteriosa avvenuta attorno al 1450-60, forse quella del Kuwae nell'arcipelago delle isole Vanuatu (Toohey *et al.* 2018); a tal proposito Bauch (2016) cita il 1463-64 come inverno assai freddo e nevoso: a Forlì «[l']anno 1464, adí 8 de zenaro, venne una gran neue, e tanta granda, che era leuata una meza lancia, e per le strate bisognaua fare li caueroni [cavernoni] se l'omo uolia passare de l'una contrata a l'altra» (*Cronache forlivesi* di Leone Cobelli). Tuttavia, in base alle variazioni dei ghiacciai alpini, Nicolussi *et al.* (2022) ritengono che la fase intermedia della PEG (1380-1575) fosse piú mite rispetto a quella iniziale, con temperature medie estive dell'ordine di 0,2 °C inferiori a quelle del xx secolo. Vi sono infatti anche notizie di anni caldi come il 1473 in Lombardia che mostrò «una precocità straordinaria nella fioritura e fruttificazione degli alberi, ed un caldo e siccità eccessiva nell'estate. Avanti

la festa del Precursore (24 giugno = 4 luglio) si mirarono mature le uve, e si fece la prima raccolta del grano. Nel mese di ottobre tornarono a fiorire le piante» (Galli 1912). Anche le alluvioni si fanno frequenti: nel settore nord-orientale della pianura Padana dal 1450 al 1500 si contano 31 eventi alluvionali di cui 20 del solo Po (Guidoboni 1998 e 2010). A Roma tra il 4 e il 6 dicembre 1495 una grande piena del Tevere inonda la città, atterra palazzi e miete vittime e ispira al letterato Giuliano Dati una composizione in versi – *Del diluvio de Roma del 1495* – che avrà una grande fortuna editoriale internazionale utilizzando la giovane tecnica della stampa (Helas 2017). Intanto nel Quattrocento la meteorologia vedrà nascere i primi strumenti di misura, l'igroscopio proposto da Niccolò Cusano nel 1430, composto da una bilancia per misurare la variazione di peso di un bozzolo di lana, e l'anemometro inventato da Leon Battista Alberti nel 1450, costituito da una lamina mobile la cui inclinazione variava con l'intensità del vento, poi modificato da Leonardo da Vinci.

### *Il Cinquecento: ancora statue di neve e alluvioni.*

Il secolo comincia con inverni freddi e nevosi e Firenze si conferma una vera capitale delle statue di neve. Il Landucci descrive una nevicata fiorentina dai caratteri nordici già in autunno: «E a dí 21 di novenbre 1500, sabato, e a dí 22 domenica, e a dí 23 lunedí, e a dí 24 martedí, e a dí 25 mercoledí, nevicò continuamente in Firenze, e ghiacciò, che stette insino alla domenica che non gocciolò mai tetti, che non fu mai veduto in Firenze la maggiore neve e stare piú. Fecesi molti lioni e cose per Firenze». E di nuovo, «a dí 13 di giennaio 1510, cominciò a nevicare in Firenze e per tutto el contado, e nevicò 4 dí alla fila, che mai restò, per modo che l'alzò per tutto Firenze mezzo braccio, e ghiacciò in modo che bastò in Firenze insino a dí 22 che nevicò di nuovo sopra quella, in modo ch'ella alzò in Firenze in molti luoghi un braccio [circa 60 centimetri]. E fecesi per Firenze molti lioni di neve molto begli, e da buon maestri; infra gli altri se ne fece uno dal campanile di Santa Maria del Fiore, grandissimo e molto bello, e a S. Trinita; e molte altre figure fu fatto al Canto de' Pazzi, igniudi, da buon maestri; e in Borgo S. Lorenzo si fece città con fortezze e molte galee: e questo fu per tutto Firenze. E a dí 23 detto, si cominciò a struggere e addolcare in modo che fece per tutte le vie un tal macco [crema spessa di legumi] che per tutto non si poteva passare né

andare a fare niuna sua faccenda; per un dí o due, non c'era rimedio a potere passare le vie senza fare ponti». Non è da escludere che, a causa delle negative ricadute sui raccolti e dunque sulle disponibilità alimentari, le cattive stagioni dell'inizio del Cinquecento possano collegarsi alla fase di inquisizione e di caccia alle streghe che colpí l'alta Valtellina e altre regioni nel biennio 1518-19 (Bonardi 2006). E non mancano conseguenze sulle manovre militari: nel 1528 sull'altopiano delle Cinque Miglia, a quota 1265 metri in Abruzzo, perirono nella bufera 300 mercenari arruolati dalla Repubblica di Venezia per contrastare Carlo V d'Asburgo e nell'inverno successivo freddo e neve falciarono altri 500 soldati tedeschi di Filiberto di Chalon principe d'Orange (Touring Club Italiano 1979).

Tra tanto freddo, come già era accaduto nel secolo precedente, compaiono alcuni anni caldi e molto asciutti, il 1539 e soprattutto il 1540. Una megasiccità durata 11 mesi ridusse a ruscelli i grandi fiumi del Nord Europa, seccò pozzi e sorgenti, generò carestie, incendi e malattie, e pure in Italia, sebbene in misura non così evidente, la penuria d'acqua emerge in alcune cronache (Wetter *et al.* 2014). In base a varie serie di date delle vendemmie analizzate in Svizzera le temperature dell'estate 1540 pare siano arrivate a valori pari o superiori a quelle dell'agosto 2003 a causa dell'amplificazione del calore sensibile dovuta ai suoli completamente secchi (Wetter e Pfister 2013; Pfister 2015b). Ecco alcune cronache significative, rintracciate da Maurizio Ratti (Osservatorio di Pontremoli): «nell'anno 1539, dal principio di novembre fino al 5 aprile 1540, non piovve né a Pontremoli, né nel distretto, e ci furono poche nevi e molto freddo (...) Il 5 aprile cominciò a piovere tranquillamente, così che tutti ne furono lieti. In quell'anno 1539 ci fu una eccezionale siccità in Lombardia, Toscana e Liguria, a causa della quale i fiumi si inaridirono, specie il Parma e il Taro così che i Parmigiani avevano difficoltà a macinare e si recavano con difficoltà fino ai mulini di Fornovo; e i pozzi nella città di Parma erano asciutti e si recavano così fino al fiume Po con i buoi per prendere acqua. [...] E non piovve a Pontremoli e giurisdizione fino al 26 Settembre, così che i mulini non potevano macinare; e le cicale nel detto anno 1539 si sono sentite cantare fino al 18 ottobre, giorno di San Luca» (*Chronicon Pontremulense ab Annum 1543 a Joanne Maria de Ferrariis*). Altro brano tratto da *Relatione dell'origine et successi della terra di Varese descritta dal R. P. Antonio Cesena l'anno 1558* (si parla qui di Varese Ligure, 350 m, in provincia della Spezia): «Furono quest'anno (1540) intollerandi caldi con pochissime piogge e perciocché essendo venuto un

poco di pioggia a mezo di Aprile non piové poi una sola goccia d'acqua sino al dí 30 giugno [...] Ritornarono poi li caldi grandi e tanto crebbe la secità, che le fiumane, benché mediocri, restavano asciutte e senz'acqua. Né tacerò che, trovandomi in questo tempo al Borgo Val de Taro, vidi vendere l'acqua a due quattrini la secchia, e questo fu a dí 29 di settembre». In Valtellina e sulla pianura lombarda non piovve per 150 giorni, dal 7 novembre 1539 al 7 aprile 1540 e pure l'estate fu secca e calda, e la vendemmia diede però vini eccellenti (Bonardi 2006). A Piacenza da metà agosto a tutto aprile «mai è piovuto ne neuato che abia bagnato» (Ratti 2023). Ma la parentesi mite del 1540 durò poco: Camuffo e colleghi (2017a) individuano nella seconda metà del secolo ben tre «grandi inverni», quelli del 1549 (a Piacenza «il fiume di Po si agiazò»), 1581 e 1594, allorché la laguna di Venezia si ghiacciò e poteva essere attraversata a piedi. In genere occorrono almeno due-tre settimane con venti siberiani da nord-est e una temperatura attorno a -10 °C affinché la superficie dell'Adriatico si raffreddi fino a -2 °C e possa solidificarsi (Camuffo *et al.* 2014).

Il 1570-71 è un inverno molto nevoso (Bellosta 2012): a Milano già il 24 novembre «venne la neve alta su li tetti un uomo, con ruina di molte case»; a Vigevano, narra il cronachista Cesare Nubilonio, «[l']anno 1570, circa a mezzo del mese di dicembre, cominciò a venir dal cielo in piú volte tanta neve che fu misurata essere in altezza cinque brazza [circa 3 metri]; cosa molto meravigliosa, e a memoria d'uomini non piú veduta né occorsa dal 1515 sin ora. Per la quale essendo gli tetti delle case carichi, molti gli alleggerivano gettandola giú; imperocché cominciavano alcune case e tetti a ruinare nel principio della neve. Dopo seguí un grandissimo ed estremo freddo, causato dalla neve; la forza del quale fu tale, che congelava sino il vino puro nel bicchiero posto al fuoco; e perseverò sino a mezzo febbraio, e causò di molte infermità, e massime di mal di punta. E molti andavano a miglior vita, ma piú di uomini; imperocché molte donne restarono vedove. Finalmente venne un poco d'acqua, e caricò gli tetti con acqua e neve, che ruinavano le case quasi ogni giorno; a tal che se gli uomini non avessero sollecitato ad alleggerire le case loro, sariano rovinati la metà e piú delle case di Vigevano. Né si poteva macinare, imperocché gli molini erano impediti per il gelo [...]. E questa gran neve fu solamente nella Insubria e verso il Piemonte». L'evento è confermato a Crema: «venne tanta neve dal cielo che crebbe all'altezza di trent'oncie [circa 1,5 metri], di maniera che fece cadere molti edifizj. Cadde allora la chiesa delle monache di s. Maria e quella di s. Rocco, con offesa e morte

d'alcune persone», e pure a Pavia: «venne una cosí grossa e straordinaria neve in quella città ed in tutto questo paese, che mai piú fu veduta una simil cosa, perché era tant'alta, che perseverò tutto l'inverno, che per le strade non potendo camminar le persone a piedi né a cavallo, in molte strade della città erano fatti li volti [tunnel] della propria neve tant'alti, che vi poteva passare sotto un uomo a cavallo ed un carro carico».

Anche a Torino sono segnalati 170 centimetri di neve al suolo nel gennaio 1571, «quanto è la statura di un homo [...] et si fece portar la neve fori della città per fachini e carrettoni»: si tratta della massima altezza di neve nota per la capitale sabauda (Di Napoli e Mercalli 2008). E pure le alluvioni furono frequenti: dal 1500 al 1550 Guidoboni (1998) ne censisce 72 nella bassa pianura Padana, di cui 30 del Po, e altre 61 dal 1550 al 1600, delle quali 33 del Po. Antonio Maria Lorgna (Fonti 3), nel *Discorso intorno al riparare dalle inondazioni dell'Adige la città di Verona*, dice che tra il 1560 e il 1596 il Po uscì dagli argini otto volte. Iniziano importanti interventi per ridurre il disordine idraulico del bacino del Reno, con tre secoli di aspre diatribe tra Bologna e Ferrara che genereranno una vera e propria «questione del Reno», uno dei principali problemi idraulici d'Italia. Dopo la rottura di Ficarolo del 1152 il Po scorre a nord di Ferrara, e anche a causa dell'immissione artificiale del Reno avvenuta nel 1522, va soggetto a imponenti depositi alluvionali che ne compromettono la navigabilità. L'architetto Giambattista Aleotti nel 1598 con la sua memoria *Dell'interrimento del Po di Ferrara* (Fonti 3) pone le basi per il progetto di diversione dei fiumi appenninici verso l'Adriatico, che non fu però risolutivo, e solo a inizio Ottocento si avvierà la lenta realizzazione dello Scolmatore del Reno in Po, o Cavo Napoleonico, completato nel 1966. Lo spostamento del Po a nord di Ferrara minacciava però la laguna di Venezia, tanto che la Serenissima dal 1600 al 1604 si attivò precipitosamente per riportare verso sud il corso del grande fiume, con il taglio di Porto Viro. La politica estera tra Stato Pontificio e Repubblica di Venezia si giocava allora sulle rive fangose dei fiumi padani, dove in un contesto geoidrologico molto fragile l'aumento di piovosità esaltò i danni ambientali indotti dall'aumento demografico e dalla conseguente espansione dell'agricoltura e della deforestazione.

Attorno al 1580 erutta in Papua Nuova Guinea il vulcano Billy Mitchell con un indice di esplosività pari a 5, un ulteriore fattore forzante che inanella sequenze di stagioni vegetative fredde e piovose, causa anche in Italia di una grande carestia negli anni 1590-92, con migliaia di vittime, frutto anche di

un'eccessiva densità di popolazione (Alfani 2010). La fame sarà tradotta in versi dal commediografo bolognese Giulio Cesare Croce (1550-1609) che nel *Banchetto de' Malcibati* mette a tavola come personaggi Messer Appetito, Messere Pocoraccolto, Madonna Fame e Messer Disagio (Guidoboni 2010). Del resto è questo il periodo storico che ispira i dettagliati paesaggi invernali del pittore fiammingo Pieter Bruegel il Vecchio: l'*Adorazione dei Magi nella neve* del 1563, *Cacciatori nella neve* del 1565 e il *Censimento di Betlemme* del 1566. L'invenzione di nuovi strumenti meteorologici dopo gli esordi del Quattrocento vede piccoli progressi, in sostanza solo un perfezionamento dell'anemoscopio da parte di Egnazio Danti che nel 1578 pubblica in Bologna *Anemografia di maestro Egnatio Danti dell'ordine di San Domenico. In dichiarazione dello Anemoscopio, instrumento mostratore de' venti*. L'anemoscopio, ovvero la banderuola montata su un perno che indica su un ostensore di pietra o metallo la direzione e il nome del vento, era già noto in epoca greco-romana, come prova l'anemoscopio di Pesaro o anemoscopio Boscovich, datato II secolo d. C. e scoperto nel 1759 a Roma, lungo la via Appia, presso porta Capena. È un disco di marmo che riporta il nome latino di dodici venti con un foro al centro per inserire l'asta, ed è oggi al Museo archeologico oliveriano di Pesaro.

### *La grande alluvione di Palermo del settembre 1557: duemila morti.*

Il 1557 è un *annus horribilis* per le alluvioni, che devastano tre grandi città italiane, centri della cultura rinascimentale: prima Firenze il 13 settembre (Salvestrini 2017), poi Roma il 15 settembre – una delle piene più imponenti del Tevere, con un'altezza 18,9 metri a Ripetta (Bersani e Bencivenga 2001), e dunque Palermo il 27 settembre (Vesco 2014). Sulla città siciliana pioveva da giorni e dopo uno scroscio temporalesco più violento su suoli già saturi il 27 settembre alle ore 20 l'acqua del Fiumetto, mal governata da opere parziali edificate dal Senato nel 1554, tra cui un muro-diga al ponte di Corleone, irrompe tra le strade. L'onda di piena scalza le mura, spesse 1,8 m, all'altezza della chiesa di Nostra Signora de Ytria o della Pinta, aprendo una breccia lunga 44 metri e alta 4. Fango e detriti travolgono cinquecento case di recente edificazione frutto, già allora, di una colossale speculazione edilizia in aree a rischio alluvione. All'alba del 28 settembre lo spettacolo è raccapricciante: tra la mota, le macerie, il legname, gli arredi, le merci, vi

sono tra 1000 e 2000 cadaveri e almeno 200 animali da soma. Tommaso Fazello, nella *Historia di Sicilia* (1558, Fonti 3) riporta così:

Riceve danno anchora la città [di Palermo] dal Torrente, che suole ingrossar per le pioggie, e per l'acque, che vengono da Monreale, e da' colli circunvicini, il qual soleva già bagnar le mura vecchie della città, ch'erano volte a tramontana. Ma essendo stata la terra accresciuta da quella parte, entra hoggi nella città detto Torrente, il quale è chiamato volgarmente fiume del mal tempo. Questo fiume havendo fatto piú volte gran paura a Palermo, a l'ultimo l'anno MDLVII gli fece grandissimo danno, perche essendo state serrate imprudentemente le bocche dell'acquedotto del medesimo nome, et essendo piovuto quattro giorni continui, l'acque, che erano scorse quivi, non trovando l'esito, fecero intorno a le mura un lago, il qual crebbe poi tanto, che a' XXVII di Settemb. a un' hora di notte col suo empito ruppe le mura vicine al palazzo Regio verso mezogiorno, e correndo con gran forza verso il mare, pareva, ch'egli havesse determinato di rovinar Palermo. Perche tutte quelle chiese, o palazzi, e monasteri, ch'egli trovò per quella via, d'onde passò, che furono piú di due mila case, rovinò, portò con seco molta robba, et annegò forse da tremila persone, et io vidi questo diluvio, e quella rovina, e non potetti far, ch'io non riprendessi la negligenza di tanti Re di Sicilia, e l'inavertenza di tanti Palermiani, i quali potendo con poca fatica riparare a cosí fatti inconvenienti col far fuor delle mura un parapetto a detto Torrente, che senza havere a offendere la città, s'andasse a scaricar nel Oretto, non hanno mai havuto avvertimento di farlo.

Sembrano i commenti che ad ogni alluvione si leggono ancora oggi. E infatti la lezione idraulica, pur sollecitando nuove scelte urbanistiche, non fu sufficiente, e Palermo subí nuove inondazioni – fortunatamente con molte meno vittime – nel 1666, 1689, 1692, 1769, 1772, 1907, 1925 e 1931 (tra il 20 e il 24 febbraio caddero 618 millimetri di pioggia, ci furono 10 morti) e 2020 (nubifragio del 15 luglio con 134 millimetri). Quella del 1557 rimane comunque una delle catastrofi meteoidrologiche piú infauste della storia italiana, e rivaleggia con le due grandi alluvioni del Tevere a Roma nel Natale 1598, con il massimo livello del fiume mai registrato, e la seconda ondata che giunse il 10 gennaio 1599: si stima che le vittime furono tra 1400 e 4000 (Bersani e Bencivenga 2001).

*I ghiacciai avanzano: dal 1594 il Rutor assilla la Val d'Aosta.*

Il freddo e le nevi della Piccola età glaciale si fanno sentire sui ghiacciai delle Alpi che ormai da oltre un secolo si erano rimessi in movimento verso valle. Il grande ghiacciaio del Rutor in Valle d'Aosta, che già avevamo visto molto ridotto più di cinquemila anni fa con la sua torbiera ricca di informazioni paleoclimatiche, sta ora avanzando fino a sbarrare il deflusso alle acque del lago di Santa Margherita o lago del Rutor, a quota 2440 metri. Il ghiaccio non è una diga solida e così, una volta sottoposto alla pressione di alcuni milioni di metri cubi d'acqua accumulata dalla fusione nivoglaciale, cede e libera improvvisamente un'onda di piena che precipita a valle travolgendo ogni cosa fino a Pré-Saint-Didier e da qui lungo la Dora Baltea. Il primo *jökulhlaup* (dall'islandese, «rotta glaciale») documentato sul ghiacciaio del Rutor è del 1594 e si susseguirà ogni anno fino al 1598, altri ne seguiranno, tra cui quelli catastrofici del 1640 e del 1751, in totale una quarantina di eventi fino all'ultimo del 1904 (Baretti, Fonti 3; Sacco 1917; Orombelli 2005; Perello *et al.* 2011; Badino *et al.* 2018). I valdostani, esasperati dai danni ricorrenti, edificano una cappella intitolata a santa Margherita in prossimità del lago e fanno processioni per scongiurare le alluvioni: il 20 giugno 1603 Bartolomeo Ferrero di Mondoví, vescovo d'Aosta, scrive al duca Carlo Emanuele I che «a richiesta di quelli popoli della Vaudagna mi sono contentato di permettere che si portasse il capo di **S.to** Grato in processione sin all'alto monte, dal quale sfoga il lago con tant'impeto d'acqua che mina le possessioni et case. La quale s'è fatta in quattro giorni con indicibile devotione et contento di tutti, et già hanno sentito la gratia divina, che non così presto gli fu accordata detta processione che il lago sfogò con tanta quiete che non ha fatto mal alcuno...» (Baretti, Fonti 3). Più pragmaticamente viene esplorata anche la possibilità di risolvere il problema scavando una galleria drenante nella roccia, ma i mezzi dell'epoca sono troppo scarsi e i costi troppo elevati, così non se ne farà nulla. Nel periodo di massima espansione del ghiacciaio, intorno al 1820, non si verificarono rotte glaciali del lago di Santa Margherita, in quanto i ghiacci che lo sbarravano erano sufficientemente potenti ed estesi per sostenerne la pressione. Con il graduale arretramento della fronte glaciale avvenuto dopo il 1820, il lago subì nel settembre 1864 l'ultimo importante svuotamento che però durò circa 10 giorni anziché le poche ore degli eventi precedenti senza pertanto causare danni. Quindi, dice il Baretti nel suo approfondito studio «le grandi inondazioni ripetutesi per anni consecutivi devono corrispondere a periodi intermedii tra i grandi avanzamenti ed i grandi ritiri». Dalla metà del secolo

XIX (fine della PEG) fino a oggi il ghiacciaio è andato incontro a una lunga fase di ritiro, che ha portato ad arretrare la sua fronte di oltre 2 chilometri, dalla quota di 2160 metri della sua massima estensione olocenica (1820) sino agli attuali 2600, con una perdita di 200 metri di lunghezza nel solo periodo 2012-21 (Corte *et al.* 2024). Ora il lago di Santa Margherita è un piccolo specchio d'acqua quasi impaludato che non fa più paura.

### *Il Secolo di ferro... e di ghiaccio.*

Il Seicento inizia con un cattivo presagio: la notte tra il 26 e 27 gennaio del 1601 un fulmine colpì la palla di rame del Verrocchio posta sopra la cupola del duomo di Firenze, a 116 metri dal suolo, la quale con i suoi 19 quintali rovinò in piazza, là dove una lastra rotonda di marmo bianco ancora oggi ricorda il punto dell'impatto (evento ricordato da Fernando Leopoldo del Migliore). Non era la prima volta: già la notte del 5 aprile 1492, la lanterna della cupola era stata colpita dalla saetta, un avvenimento considerato presagio della morte di Lorenzo il Magnifico sopravvenuta l'8 aprile (Tribaldo de' Rossi nelle *Ricordanze*). Nel 1603 e 1608 gelò la laguna di Venezia così che entrambe le stagioni sono classificate tra i «grandi inverni» da Camuffo e colleghi (2017a). Anche l'inverno 1605-606 fu abbastanza freddo e nevoso da permettere alla corte sabauda di «correre la slizza» [slitta] per le vie di Torino mentre il 1606-1607 fu tiepido e clemente (Di Napoli e Mercalli 2008). Poi di nuovo freddo: Giulio Tutto, nella *Cronaca varesina*, ricorda per il gennaio 1608: «Il mese è andato cò fredo grandissimo cò neve che è stata in tera sempre cò giazi grandissimi cò fatica de andar ne a cavallo ne a piede cosa grande, et al basso vi è verso Bologna un braco e mezzo di neve [circa 90 cm] et nella parte di Vinetia il medesimo, cosa no mai vista». A Padova sempre nel 1608, Galileo stimava in 4-5 braccia (fino a 3 metri) l'altezza della neve che aveva bloccato la città e minacciava di far crollare i tetti (Galtarossa 2022). A Firenze «[a]dī 24 dicembre 1604. Diacciò Arno in tal maniera che sopra di detto fiume nel decorso di carnevale vi furono fatte diverse feste, e furono il gioco del Calcio, tre o quattro fuochi artifiziali, il palio dei sacchi, ed altre bizzarre feste, poiché durò così diacciato fino al dī 20 febbraio» (Solerti 1905), «vi si fece Caccie, e vi si corse un Palio di Gente ignude, e vi si fecero fuochi continui in piú luoghi [...]: e durò tanto, che le gente si stuccarono di trattenimenti, perché stette, tre mesi senza piovere». L'Arno

gelò in Firenze anche nel 1665, 1669, 1679, 1684; «A di 17. Febbraio [1679] fu sí gran Neve, che alzò nella Città quasi mezzo braccio, la quale diacciò poi sopra i Tetti [...]» e piovve per tutta la primavera, con problemi alle semine; piena dell’Arno il 17 ottobre. Il 18 maggio 1680 «dannosissima inondazione in Pisa» l’acqua dell’Arno raggiunse piazza dei Miracoli. Nel gennaio 1689,

a dí 9. fece la sua solenne entrata in Firenze la Serenissima Gran Principessa Violante di Baviera, e fu assai gran Freddo, e Vento, non ostante che risplendesse lucidissimo il Sole. In tal giorno crebbe a dismisura la Tramontana, e per l’orribile Freddo, morirono alcuni Soldati delle Bande, che facevano la parata nel passaggio di essa Gran Principessa, la quale andando dalla Porta a S. Gallo al Duomo, in una Maestosa Lettiga scoperta, ebbe a morire dal Freddo, e fu necessario per il rimanente della gita, fino al Real Palazzo de’ Pitti, farla andare in Carrozza turata. In questi giorni l’Arno diacciò in alcune sue parti. Il dí 11. in Firenze fu gran Neve. Il dí 25. fu gran Neve, e sarebbesi alzata in Firenze al segno della passata, se non fosse stata impedita da un grandissimo Vento, il quale durò ancora per tutto il dí 26., e fu sí crudele, che alzava da’ Tetti i Tegoli, e quelli faceva cadere nelle vie, che colpirono in varj luoghi piú gente nel capo, e vi fu chi morí. [...] Nel 1690] di Marzo non si vidde mai Sole scoperto, e fu molta Neve, Acqua, e Vento. Il Mese di Maggio fu assai stravagante per le gran Piogge, e Grandini. Dissesi che nel Territorio di S. Casciano era caduta Grandine sí grossa, che ne fu pesata fino di 9. once [circa 270 g]; e le Pianure, non solo quelle di Prato, ma ancora quelle di Pistoia fino alla Catena, si allagarono per le spesse Piene de’ Fiumi, i quali uscirono forzatamente dei loro Canali. Esse Piogge apportarono un sí gran Freddo, che il dí 5. Giugno sembrò essere di mezzo Gennaio, soffiando un Vento cosí gelato, che forzò la gente a ben’ involtarsi col Ferraiuolo. A dí 12. Settembre sopr’alle Montagne di Pistoia fu una gran Neve, la quale apportò in Firenze gran Freddo. Il Vino nuovo fu assai agro, stante che la Stagione andò sempre contraria e poi guastossi il tempo, e diede nel Piovere, che l’Uve non ebbero campo di perfezionarsi, e divenir mature; e il giorno di S. Michele fu una grandissima Grandine, che prese Prato e Pistoia, e percosse molto le Uve (Targioni Tozzetti, Fonti 3).

Severo fu pure al Settentrione l’inverno del 1676-77: nel Varesotto «[a]l principio di dicembre di quell’anno, cominciò a far freddo cosí eccessivo che, a ricordar d'uomini vecchi, non aveva mai fatto un simile, a segno tale che gelava il vino nelle cantine sotterranee; e durò detto freddo cosí orribile fino alla metà del mese di febbraio dell’anno seguente 1677 e seguí una grande mortalità di viti ed altre piante» (Adamollo e Grossi, Fonti 3), poi il dicembre del 1680 con un metro di neve a Piacenza (Ratti 2023) e l’inverno del 1684

con pozzi gelati in Romagna, laguna veneta ghiacciata e moria di viti (Camuffo *et al.* 2017a). Tra il 1675 e il 1681 a Torino nevica ben 144 volte, come documentato dal matematico Donato Rossetti: una tal frequenza in sei (o sette) anni significa circa 20-21 nevicate per inverno, valore mai più eguagliato nelle osservazioni successive, inclusa la gran quantità di neve del 1679 stimata in 158 centimetri, che fece crollare il magazzino delle polveri da sparo (Di Napoli e Mercalli 2008). Non vi sono invece segnalazioni per l'inverno del 1638 nel quale il mare gelò parzialmente nel porto di Marsiglia ma probabilmente l'aria fredda non riuscì a varcare le Alpi (Camuffo *et al.* 2017a). Le grandinate estive erano frequenti, come quella che colpì Trieste il 14 luglio 1687 «i cui grani più piccoli assomigliavano a nocciuole, altri ad ova, ed alcuni erano della grandezza di mezzo scudo piegati a guisa di cannella, portento mai più veduto in queste parti» (Mainati, Fonti 3). Freddo e piogge intense erano comuni anche in Sicilia: nel 1669 il matematico Giovanni Antonio Borelli nota che la neve sull'Etna «cade anche d'estate e si conserva nei luoghi più elevati» e nel maggio 1688 ci si lamenta «delle pioggie a modo di diluvio» ma poi a fine aprile 1689 a Termini Imerese si fanno «Rogationes» per implorare la fine di una siccità in corso dal gennaio precedente (Guidoboni 2010). Freddo e neve colpiscono duro anche nel 1694-95. Fu il vulcanismo molto attivo, con la colossale esplosione dell'Huaynaputina avvenuta nel febbraio 1600 in Perù, con VEI pari a 6, quella del Mount Parker nelle Filippine nel 1640 (Stoffel *et al.* 2021) e quella, sempre con VEI pari a 6, di Long Island in Papua Nuova Guinea nel 1660, che insieme al minimo solare di Maunder (1654-1715) e ai meccanismi di retroazione positiva sui ghiacci artici e sulla circolazione oceanica atlantica, mantennero nel XVII secolo un clima freddo e aspro come non mai sul Mediterraneo e sull'Europa devastata dalle guerre: la serie delle temperature marine del canale di Sicilia (Margaritelli *et al.* 2020) mostra proprio verso il 1670 le temperature più basse degli ultimi 4000 anni. Aggiungiamo che nel 1614 si toccò pure il valore minimo della concentrazione di CO<sub>2</sub> degli ultimi duemila anni, dedotto dai ghiacci polari: 272,2 ppm (Cho 2014), forse per effetto del sequestro di carbonio operato dalla riforestazione avvenuta nelle Americhe a seguito della morte di circa 50 milioni di nativi per epidemie diffuse dai conquistatori europei e al crollo delle loro attività agricole. Questo minimo nella concentrazione di CO<sub>2</sub> è chiamato *Orbis spike* in quanto l'emisfero orientale e quello occidentale dell'umanità si riunirono culturalmente e commercialmente dopo più di 12 000 anni di separazione e venne a crearsi

un unico sistema economico globale, preludio dell'Antropocene (Lewis e Maslin 2019). Il secolo di ferro termina con un evento simbolico che mette insieme clima e guerra: il fulmine che il 20 agosto 1698 colpí la polveriera della Cittadella di Torino, causando alcune centinaia di vittime tra i militari. Le 100 tonnellate di polvere esplosero e «si scossero tutte le case della città, rimasero rotti tutti i vetri delle finestre, andarono in pezzi diversi mobili preziosi, e si aprirono le porte delle chiese e delle case da se stesse...» (Di Napoli e Mercalli 2008).

### *La carestia del 1628 e la peste manzoniana.*

Le stagioni estive inclementi provocavano frequenti fallanze nei raccolti e conseguenti carestie in un'Italia che all'inizio del Seicento contava circa 13 milioni di abitanti. Anche nelle regioni centrali a forte vocazione cerealicola si ebbero estati piovose e tempestose: tra il 23 e 24 luglio 1611 nei territori di Pesaro e Urbino si verificarono nubifragi alluvionali, il Metauro esondò e travolse campi e mulini, si ebbero vittime e gran perdita di animali domestici, così come di nuovo nel 1655 «le continue piogge, i turbini, le grandini, i venti impetuosi cagionarono una quasi incredibile Carestia» (Amiani, Fonti 3). Celebre la carestia del 1628 che Manzoni cita nel capitolo XII dei *Promessi Sposi* e costituirà la ragione dell'assalto ai forni nel quale verrà coinvolto anche Renzo: «Era quello il second'anno di raccolta scarsa. Nell'antecedente, le provvisioni rimaste degli anni addietro avevan supplito, fino a un certo segno al difetto; e la popolazione era giunta, non satolla né affamata, ma, certo, affatto sprovveduta, alla messe del 1628, nel quale siamo con la nostra storia. Ora, questa messe tanto desiderata riuscì ancor più misera della precedente, in parte per maggior contrarietà delle stagioni (e questo non solo nel milanese, ma in un buon tratto di paese circonvicino); in parte per colpa degli uomini». Le intemperie del 1628 e la seguente carestia del 1629 sono confermate dalle cronache di Piacenza (Ratti 2023). Come già accaduto in passato la carestia è spesso l'anticamera delle epidemie, così nel 1630 a Milano e in Italia la peste avrà campo libero nel diffondersi (Alfani 2010).

### *L'inondazione di Roma del 1660.*

Tra le 122 inondazioni del Tevere a Roma avvenute in oltre 2300 anni, spicca quella del 5 novembre 1660, di cui è rimasta una rilevante testimonianza nell'opera *Il Tevere incatenato, overo l'Arte di frenar l'acque correnti* di Filippo Maria Bonini (Fonti 3). In quell'occasione il Tevere raggiunse un'altezza di 17,11 metri. L'abate Bonini, testimone oculare dell'inondazione, così la descrive:

Correndo dunque la notte, che s'incamminava a i cinque del mese, quasi in un momento si vidde il fiume debbaccare per la città, non altrimente, che se l'avesse fatta suo seno, anzi suo regno, mercé, che in alcuni luoghi trascorreva con tal impeto, che non si poteva, se non con gran rischio, vallicare, anco con barche. Non giunse la nuova della piena a' ministri, perché, custodi de' popoli e sentinelle di tutta la città, stavano vigilanti il tutto osservando. Ma dando essi con nuovi ordini gli avvisi a gli officiali piú bassi, ed inferiori, commandarono, non ancora giunto il giorno, che si caminasse per la città, e s'ordinasse a' fornari, che facessero abbondare da per tutto il pane, atteso, che ciascheduno aveva, se gli mancasse, l'obligo a provedersene, per piú giorni. Quindi, spuntato il sole, si trovò allagato quasi due terzi della città, ond'era di mestiere navigar per tutto, e accorrere a i bisogni di quelli, ch'erano assediati dall'acque. Non mancorono a questo ufficio tutti i principali ministri della città, Cardinal Progovernatore, Tesoriere, Prefetto dell'Annona, che ora in un luogo, ora in un altro traghettandosi, qui davano gli ordini, per provedere, là personalmente somministravano il vitto a'necessitosi. [...] La città di Roma, oltre gl'incommodi, ha sofferto ancora notabilissimi danni, cosí nelle sostanze, come negli edificii, essendo primieramente stata danneggiata nell'abbattimento di buona parte di Ponte Molle, il cui piano di legno è stato portato via dall'acque, il che non è mai seguito nell'accennate inondazioni: nella rovina della serrata del fosso di Castel Sant'Angelo, tutto intieramente abbattuto, e nel parapetto, o vogliam dire cortina, che sostiene la strada, che passa sotto Castello, la quale dalla caduta dell'acqua, che uscendo dall'occhio laterale del Ponte, batteva sul fondamento delle muraglia, resta ora sdruscita, e cadente: nel diroccamento quasi di tutte le loggie, e diressimo orti pensili, che avanzavano nel fiume, e che servivano di delizie alle case de' cittadini, assieme con tutti gli altri luoghi di giuochi, e passatemi, posti sul margine dello stesso fiume, o vicini, che restarono diroccati, sconvolti, e sprofondati: nella caduta di piú case, che là sorgevano, quale a fronte, e quale a lato della corrente, e una di esse, che stava situata sopra la punta dell'isola, e che serviva di gran fenile, fu quasi veduta intieramente staccarsi dall'altre, e caminar sopra dell'onde. [...] Lagrimevoli, e funesti sono (per quei primi avvisi, che si tengono) i mali delle campagne intieramente soffocate, e da bittuminosa, e tenuissima creta insterilite per due anni, a che si aggiunge la morte, fino a questo punto, di piú di

cinquanta persone, succeduta intorno al distretto delle vicine campagne [...].

### *La Toscana secentesca, culla della scienza meteorologica.*

Tra la fine del Cinquecento e la prima metà del Seicento, Galileo Galilei sviluppò il moderno metodo scientifico, basato sulla formulazione di ipotesi verificate tramite esperimenti e tradotte in relazioni matematiche. Il grande fisico pisano, durante il periodo padovano, concepì pure un termoscopio, primo strumento per misurare le variazioni di caldo e freddo, un antesignano del termometro ma ancora privo di una scala graduata. Da questo momento la moderna meteorologia prenderà avvio alla corte medicea di Firenze. Nel 1642, l'ultimo anno di vita di Galileo, il granduca di Toscana Ferdinando II de' Medici e Evangelista Torricelli inventarono il termometro vero e proprio, un tubo di vetro graduato e sigillato contenente alcol sensibile alla dilatazione termica: nacquero così i celebri termometri fiorentini che furono distribuiti in giro per l'Europa a costituire la prima rete al mondo per la regolare osservazione meteorologica, che operò dal 1654 al 1670. La rete meteorologica medicea, affidata al coordinamento del monaco Luigi Antinori, contava 11 osservatori: Firenze, Vallombrosa, Cutigliano, Pisa, Milano, Parma, Bologna, Innsbruck, Osnabrück, Varsavia e Parigi, località connesse con le strategie politico-militari del Granducato toscano. L'intento era quello di confrontare dati rilevati in differenti regioni, soprattutto in condizioni di «massimo freddo», anche per giungere a una scala univoca di misurazione della temperatura. La rete fu chiusa nel 1670 alla morte del granduca, le sue misurazioni oggettive erano diventate scomode a seguito del processo di Galileo! I preziosi dati superstiti sono stati pazientemente recuperati e tradotti in unità di misura attuali da Camuffo (2021), e Camuffo e Bertolin (2012): pur tra le incertezze derivanti dalle condizioni di misura ignote, nelle città si evidenziavano allora temperature medie annuali simili a quelle del trentennio 1961-90, ma con inverni più freddi e maggior variabilità stagionale, mentre a Vallombrosa la media risultava più bassa di 1,4 °C rispetto al 1961-90. Oggi sappiamo che la temperatura media di Firenze nel trentennio 1991-2020 è di 16 °C, ormai superiore di 1 °C a quella del 1961-90.

Nel 1644 Torricelli dimostrò l'esistenza del vuoto e concepì il barometro a liquido, uno dei principali strumenti meteorologici. Giovanni Alfonso Borelli espone le connessioni fra le variazioni barometriche e lo stato del

tempo. La meteorologia strumentale vide un tumultuoso sviluppo nell'ambito dell'accademia del Cimento (1657-67), fondata da Leopoldo de' Medici. I termometri fiorentini, realizzati da abili vetrari noti come i «Gonfia», si diffusero rapidamente. Il medico Francesco Folli da Poppi, il matematico Vincenzo Viviani, brillante biografo di Galileo, e il granduca Ferdinando II idearono igrometri di vario tipo (utilizzando corde di budello ritorto e strisce di carta, prototipi di quello che diventerà più di un secolo più tardi l'igrometro a cappello di Horace-Bénédict de Saussure), inclusa l'invenzione dell'igrometro a condensazione nel 1655, descritto dal segretario dell'accademia del Cimento Lorenzo Magalotti in *Saggi di naturali esperienze* (1667). Il bresciano Benedetto Castelli, discepolo di Galileo a Padova, realizzò un pluviometro nel 1639, divenne studioso di idraulica per il Granducato toscano e fu poi matematico a Roma dove nel 1628 pubblicò *Della misura dell'acque correnti* il testo fondativo dell'idraulica moderna. Molti di questi antichi strumenti, fondamento della moderna meteorologia, sono esposti al Museo Galileo di Firenze, già Museo di Storia della scienza. Nel 1674 il matematico livornese Donato Rossetti lascia la corte medicea e si trasferisce alla corte sabauda di Torino. Porta con sé alcuni termometri fiorentini e rimane affascinato dal freddo e dalla neve che può misurare con assiduità: «nel freddo più che straordinario del gennaro 1676, quando nel termometra di 50 [gradi] l'acquarzente [alcol] s'era quasi che tutta ritirata nella pallina, rimastane solamente su pel collo un tantino più di mezzo grado [circa -18,3 °C]; e quando la mia saliva sputata sul mattone si trovava presa in gelo dopo poche seconde». Dopo anni di osservazioni al microscopio delle molteplici forme dei fiocchi di neve Rossetti darà alle stampe nel 1681 il pregevole trattato illustrato *La figura della neve* (Di Napoli e Mercalli 2008).

*Il Settecento, la Piccola età glaciale misurata scientificamente.*

Il XVIII secolo è pienamente rappresentativo della Piccola età glaciale, inizia dentro il minimo solare di Maunder (1645-1715) e termina al principio di quello di Dalton (1790-1820), i quali ebbero tuttavia un ruolo modesto nel raffreddamento (Camuffo e Enzi 1994). Molto più rilevante fu il contributo di importanti eruzioni vulcaniche come quella del Fuji in Giappone nel 1707, del Cotopaxi in Ecuador nel 1742 e 1744, e quella imponente del Laki in Islanda nel 1783-84, causa della «grande nebbia secca» che offuscò i cieli

d'Europa: a Torino il medico di corte Ignazio Somis riporta nei suoi registri la persistenza di una strana «nebbia non nostra» che intorbidiva i cieli (Di Napoli e Mercalli 2008), anche a Piacenza «foltissima nebbia» che durava giorno e notte (Ratti 2023). Si stima che in questo periodo le temperature medie estive fossero 0,8 °C inferiori alla media del xx secolo (Büntgen e Tegel 2011). E il Settecento vede pure la fondazione dei primi osservatori meteorologici nelle grandi città italiane, fonte di dati finalmente affidabili e continui, grazie alla diffusione delle scale termometriche di Réaumur (1732) e di Celsius (1742). Da questo momento l'impostazione illuministica della cultura produce studi e ricerche di meteorologia ben organizzati, come quelli di Giuseppe Toaldo a Padova (Fonti 3), le cronache diventano più precise e le informazioni meteorologiche aumentano considerevolmente. Ci sono stati studi precoci sui documenti di questo periodo che hanno messo i primi punti fermi sulla climatologia storica italiana, cito tra tutti il lavoro della geografa Paola Sereno dell'Università di Torino *Annus fructificat, non tellus* (1981). Essendo impossibile dar conto della mole crescente di dati del XVIII secolo (si veda ad esempio Toaldo 1802, Fonti 3), mi limiterò a tratteggiare i fatti più salienti.

### *La grande piena del Po del 1705.*

L'alluvione del Po del novembre 1705 fu una delle più disastrose della storia padana (Salmelli 1986). Da Pavia a Ferrara molti paesi rivieraschi riportano lapidi con il livello raggiunto dalle acque. Fu un evento pluviometrico vasto e persistente che durò dalla fine di ottobre alla metà di novembre, investendo con almeno tre colmi di piena prima il Piemonte, allagando l'Alessandrino e il Vercellese, e propagandosi poi su Pavia, Piacenza, Cremona, Mantova e fino a Ferrara dove la porta degli Angeli fu murata per impedire l'irruzione delle acque in città, come testimonia un'incisione di Francesco Bolzoni dedicata al marchese Scipione Sacrati, magistrato della città, conservata alla Biblioteca ariostea. Vi furono decine di rotte delle allora modeste arginature, crollarono centinaia di case, annegò un numero immenso di animali e vi furono molte migliaia di morti.

### *Vivaldi e il Grande Inverno del 1709.*

Si tratta dell'inverno più aspro e severo degli ultimi cinquecento anni, assediò in una stretta di gelo l'intera Europa causando un milione di morti (Guidoboni 2010; Luterbacher *et al.* 2004). Sono centinaia le fonti che descrivono un panorama glaciale in Italia nel gennaio-febbraio 1709, la laguna veneta ghiacciata con le imbarcazioni immobilizzate, il Po gelato attraversabile con carri e artiglierie (Camuffo *et al.* 2017a); gelò perfino il lago di Garda, secondo Solitro (1904) si tratta dell'unico caso noto in tempi storici (in rete circola anche un caso di gelo del Benaco nell'inverno 1547-48 ma non è stato possibile reperire la fonte, Corradi non lo cita ma segnala per il 1549 un freddissimo inverno con gelo dell'Arno e del Po). Purtroppo per il 1709 non ci è pervenuta nessuna misura affidabile della temperatura ma è ragionevole che in pianura Padana si siano raggiunte minime dell'ordine di -30 °C. Le conseguenze sulle scorte alimentari e l'economia agricola del Nord Italia furono drammatiche e sono state descritte in un pionieristico studio dello storico dell'economia Roberto Finzi (1986): viti, ulivi, noci e altri alberi da frutto furono decimati, e il paesaggio agrario rimase compromesso irrimediabilmente in quanto molti uliveti o vigneti non furono più ripiantati. Le strade erano impraticabili, molti porti chiusi per le ripetute tempeste, segnalato ghiaccio sul mare di Genova (De Bartolomeis, Fonti 3), il freddo gelava il vino nelle botti, le malattie influenzali mietevano vittime, a Napoli il Vesuvio era coperto di neve. A Vicenza la *Cronica 1704-1749* di Tommaso Lanzi riporta: «1709, 7 Gen°. Principiò un orrido freddo e seguitò tutto il mese terribilissimo, che a memoria d'huomini non è mai stato per il passato maggiore. Nevicò sino alla fine di feb.°, e la neve fu in tanta quantità, che pareva impossibile, che avesse a svanire avanti la pentecoste, stette però nelle strade quasi sino alla Pasqua, che fu l'ultimo Marzo. Per detta neve caddero molti tetti [...]. Morirono gli olivari, gran quantità delle vitti [...] e restarono morti i figari [fichi], e diversi altri arbori e piante, particolarmente q. le di Cedri, e Limoni. Venezia di questo freddo restò assediata; mentre essendosi agghiacciate le lagune non li poteva esser portato il vivere. Dal freddo morirono diverse persone [...]. A Venezia, nella pinacoteca della Fondazione Querini Stampalia c'è un dipinto di Anonimo veneto che ritrae *La laguna ghiacciata alle Fondamenta Nuove 1708*, in un cartiglio è scritto «li 15 ge(nna)ro 1708 [more veneto, ovvero 1709] si glaciò questa parte di laguna a guisa che il popolo vi chaminavan sopra le 5 miglia lontani, durò questo giorni 10». La scena, nonostante i disagi imposti dal freddo, è gioiosa, ci sono figure che ballano, giocano, trainano carretti. È la stessa atmosfera che ritroviamo nel

sonetto dell'inverno che Antonio Vivaldi (1679-1741) aggiunse alla partitura delle *Quattro Stagioni* (1725):

Aggiacciato tremar trà nevi algenti  
Al Severo Spirar d'orrido Vento,  
Correr battendo i piedi ogni momento;  
E pel soverchio gel batter i denti;

Passar al foco i di quieti e contenti  
Mentre la pioggio [sic] fuor bagna ben cento;  
Caminar Sopra 'l ghiaccio, e à passo lento  
Per timor di cader girsene intenti;

Gir forte Sdruzziolar, cader à terra  
Di nuovo ir Sopra 'l ghiaccio e correr forte  
Sin ch'il ghiaccio si rompe, e si disserra;

Sentir uscir dalle ferrate porte  
Siroco Borea, e tutti i Venti in guerra  
Quest'è il verno, mà tal, che gioja apporte.

Quasi certamente il compositore veneziano aveva vissuto il grande inverno del 1709 e a questo s'ispirò per il suo quadretto descrittivo, sottolineando che questo è l'inverno, ma comunque portatore di gioia. Musica e Piccola età glaciale sono legati anche dagli inimitabili strumenti ad arco costruiti da Stradivari a Cremona: il legno degli abeti di risonanza della «foresta dei violini» di Paneveggio in Trentino, cresciuto di quei tempi, ha una densità particolarmente compatta dovuta ai sottili anelli di accrescimento di quelle fredde stagioni (Burckle e Grissino-Mayer 2003).

Piero Chiara scrisse che «noi non pensiamo mai che tutto ciò che del passato ci delizia, musica, poesia, pittura, fu concepito ed eseguito nel freddo. [...] Tutto ciò che abbiamo di buono e di grande, fino a cinquant'anni fa, venne alla luce del mondo dall'invincibile freddo degli inverni e delle mezze stagioni. Tanto che spesso mi vien fatto di pensare che se piú nulla di veramente importante in quei campi si produce, forse è colpa del riscaldamento centrale» (Chiara 1989). O del riscaldamento globale, diremmo oggi!

Camuffo e colleghi (2017a) elencano come grandi inverni nei quali la

laguna di Venezia gelò anche il 1740 (fece molto freddo pure in maggio, con neve a bassa quota in tutta Italia), 1755 (con spessori del ghiaccio tra 40 e 70 centimetri), 1758 e 1789 (laguna veneta gelata con spessore del ghiaccio di 23 centimetri, temperatura minima -15,5 °C a Padova). Nel dicembre 1788 è segnalata una straordinaria nevicata di almeno 30 centimetri a Napoli, «che durò tre dí e tre notti» (Sigismondo, Fonti 3). Adamollo e Grossi (Fonti 3) riportano che «l'invernata 1726 è stata molto rigida essendo gelato tutto il lago di Varese, le acquesante nelle chiese e l'acqua nelle case». Grande nevicata perfino a Palermo il 4-5 gennaio 1744: «Alle ore 22 cominciò una gran pioggia di neve, che durò quasi tutta la giornata de' 5; e fu si grande, che nelle strade e sopra le case si alzò all'altezza di due palmi in circa [mezzo metro circa]; cosa insolita. Cadde per il peso della neve il coperticchio della sacrestia del convento di S. Domenico; e da alcuni catusi [doccioni] delle case e de' ferri del balcone pendeano i ghiacci; ed arrivò sino a ghiacciare l'acqua nelle quartare [vasi in ceramica per il trasporto del vino]» (*Diari della città di Palermo* di Antonino Mongitore). A Torino nel gennaio 1745 il medico Giovan Battista Bianchi annota che per il gran freddo «l'acqua si è aggiacchiata nelle cucine anco calde» e il 22 ottobre 1748 caddero almeno 10 centimetri di neve su Torino, permanendo poi al suolo per alcuni giorni: la nevicata più precoce in almeno 400 anni sulla città sabauda (Di Napoli e Mercalli 2008). Questi inverni nordici ispirarono un poco noto pittore italiano a specializzarsi in vedute invernali: è il marchigiano Francesco Foschi, nato ad Ancona nel 1710 e morto a Roma nel 1780. La sua cospicua produzione di tele che ritraggono nevi, brine e stagni ghiacciati è un indice della frequenza di inverni rigidi che si susseguirono anche sull'Italia centrale (Vinci-Corsini 2002). Ne viene conferma dalle cronache di Giovanni Targioni Tozzetti (Fonti 3):

1749 – Sul principio poi di Giugno, eccoti fuor del solito fioccar folta la Neve ne' Gioghi dell'Appennino, che si rinforzò, e sostenne gran tempo, con produrre pungente Freddo, dirottissime Piogge ogni dí, e Temporali, e Gragnuole orribili, onde si videro gonfj e minacciosi tutti i Fiumi, e ne seguirono anche gravi Inondazioni, e fiere Burrasche in Mare. Né Caldo, né Gelo vuol restare in Cielo, è Proverbio de' Contadini Toscani. [...]

1755 – La notte del 6 Gennaio incrudelí il tempo, con un'orribile Tramontana, che fece sbassare il Termometro sotto al grado del Diaccio, e da detto giorno, fino al dí 6. di Febbraio, Giorno di Berlingaccio, fu sempre freddo grandissimo, con tempo sereno, ma con Diacci perpetui ne' Rigagnoli; e l'Acqua d'Arno stette quasi sempre Diacciata, senza

che per molti giorni si potesse macinare. [...] Mi ricordo benissimo, che il giorno di Berlingaccio, sulle ore 23, essendo un orribile e penetrantissimo Freddo, con aria caliginosa, mi convenne andare impastranato ed a piedi (stante il non si poter reggere in piedi i Cavalli per il Diaccio) a rivedere cinque malati di Febbri Catarrali, che aveva in un Palazzo a piè del Ponte Vecchio. Nell'attraversare il Ponte mi affacciai alle Sponde, per godere dell'insolito spettacolo dell'Arno tutto quanto diacciato, e tutto quanto ricoperto di alta candidissima Neve. Doppo essermi trattenuto in esse visite fino a vicino all'un'ora di notte, nell'uscire trovai l'aria straordinariamente cambiata, cioè non più freddissima, ma tiepida di Scirocco con minutissima Pioggia, laonde nel tornarmene a casa doppo due altre visite, il Pastrano mi si rendeva pesante. Rinforzò nella notte la Pioggia, sempre a scirocco, e continuò nei giorni susseguenti, ne' quali fino alla Settimana Santa, furono sempre Piogge, senza mai più Freddi, né Diacci. Di qui si potrà intendere quanto stemperato sia questo pezzetto di Zona Temperata, che ci è toccato in sorte di abitare [...].

### *La siccità del 1733 al Nord-Ovest.*

Nel documento *Le vicende storiche del Canavese negli anni 1733 e 1734 descritte dal M. R. Padre Arcangelo da San Giorgio, guardiano del Convento della Madonna del Sacro Bosco di Ozegna...* (Bertotti 1980), è narrata una siccità estrema, forse la peggiore in diversi secoli in Piemonte, che durò ben nove mesi «dal principio di agosto del 1733 sino alli dodici di maggio 1734». Il torrente Orco, che scende dal Gran Paradiso, non aveva acqua «da far voltare mezza rota da mulino», e così tutti i canali dei dintorni, tanto che di macinare il ben poco grano concesso dal carestioso 1733, non se ne parlava. E «le montagne erano scoperte e pellate più che non fosse stato il mese di agosto». L'evento mise in ginocchio un'agricoltura già poverissima innescando una terribile carestia che ridusse la popolazione alla fame: molti passarono «intere mesate con sole erbe tra crude e cotte senza mai assaggiar briciola di pane», scendendo dai borghi prealpini a racimolare tra i prati secchi essenze selvatiche, «a truppe che sembravano tante ombre perché mezzi morti di fame...» Solo nell'orto del convento «per grazia speciale dell'Altissimo si trovava un bellissimo quadretto di spinaci», e – diffusasi la notizia – «correvano... da Rivarolo, Ozegna, Ciconio, Lusigliè e altre ville in guisa tale che sembrava una continua processione a chiedere la carità di questi erbaggi». Tuttavia, giunti a primavera inoltrata, ormai anche lì «non si vedeva largo quanto un'unghia di

verde». Possiamo allora immaginare con quale festa venne accolto il 12 maggio il «gran temporale sulle montagne di Pont... che tramandò nel vicino fiume Orco un poco d'acqua» prontamente istradata dai «molinari di Sangiorgio e di Ciconio» verso i mulini che «già per otto mesi camminavano a secco» e pure verso il canale del convento, dove padre Arcangelo poté così richiamare il giardino «da morte a vita». Dell'episodio si trova traccia anche nel diario di una famiglia di Cumiana (Torino): lì si dice che addirittura la siccità «incominciò dal settembre [1733] e per un anno non piovve più», e la carestia fu tale che «in mezzo ai prati si trovavano persone morte colla bocca piena di erba» (Vittore 2000).

*Alluvioni e tempeste settecentesche, un tornado sul palazzo della Ragione a Padova.*

Quella miniera di informazioni meteorologiche storiche che è l'*Alimurgia* di Targioni Tozzetti riporta tra i tanti eventi la tempesta di fulmini del 9 giugno 1737 a Firenze, domenica di Pentecoste: nel pomeriggio, durante una messa in Duomo, una saetta penetrata all'interno fece crollare un cornicione in pietra e bruciò la scarpa a un uomo. L'arcivescovo stava calmando il popolo sbigottito quando una seconda scarica colpì l'organo e la cupola; una nuova saetta cadde sulla chiesa di San Sebastiano facendo cadere a terra alcuni marmi, un'altra sulla chiesa della Santissima Annunziata. Mentre infuriava il nubifragio in via Fiesolana un fulmine entrò nella casa di Niccolò Guiducci uccidendo un cavallo, un altro colpì casa Guasconi sul Lungarno, un altro casa Cocchi, dove la cantonata fu scrostata e alcuni ferri furono torti, altri fulmini caddero ovunque sulla città, fu colpito il palazzo Rucellai, un altro cadde su un palazzo in piazza del Carmine, e davanti alla chiesa di San Marco Nuovo, una donna che stava suonando la campana per il maltempo, ebbe la mano ustionata. Una tal frequenza di fulminazioni su una grande città metterebbe oggi in ginocchio la rete elettrica e le telecomunicazioni! Il 10-14 ottobre 1755 precipitazioni di forte intensità interessarono vaste aree del Piemonte, con frane e inondazioni nelle attuali province di Torino, Vercelli e Verbano-Cusio-Ossola. Complessivamente si registrarono oltre 80 morti, di cui 44 nel solo abitato di Noasca in valle Orco. Il prevosto di Noasca, Marocco, riferì che nell'inondazione «perirono quarantaquattro miei parrocchiani le cui case furono distrutte con tutte le sostanze ed i loro corpi furono trascinati dall'Orco nel luogo di Locana dove

furono ritrovati completamente a brandelli, e in parte ritrovati in questo luogo ma dai sassi sepolti e ridotti a brani...» (*Archivio Parrocchiale Noasca*, in Mercalli e Cat Berro 2005). La Copia d'Ordinato del Comune di Locana del 1º novembre 1755 recita: «il Fiume Orco principale che vā discendendo di longo in longo con sei dei piú rabiosi Torrenti, ed altri rapidi Rivi tutti usciti dai luoro suoliti Letti, allagando tutta la pocha pianura, sembrava un oceano d'aque, al che aggionte nello stesso tempo molte e diverse rouine che spiccate si dalle sommità delle piú alte montagne anno esportato, abdotta, coperta, e corrosa bona parte dei migliori prati, orti, campi, e castagnetti, boscaglie, case, Bestiami, eziandio con la morte di piú persone, e dove non anno pottuto giongere le aque, e rouine à dannegiare, vi ha suplito la fiera tempesta [grandine], che con spetacolo inaudito s'introduceva, e penetrava per fino nelle case per le Fissure de tetti, usci, e Finestre, hà pur tottalmente trittolati, e riddotti al nulla li frutti minuti delli orti, e campi, paschi e parte delle Castagne, non ancor rettirate. Li principali sette ponti attraversanti il Fiume Orco, con tutte le altre pontiglie sovra li Torrenti che servivano per il publico comercio, anche delle Terre di Novasca, e Cerezole sono pur statti tutti abdoti, rouinati, ed esportati con una buona parte della strada reale ed altre particolari» (Mercalli e Cat Berro 2005). La relazione scritta dall'Intendente Rezia, conservata presso l'Archivio di Stato di Torino riporta: «La straordinaria, esorbitante piena delle acque dei fiumi, e Torrenti di questa Provincia [Ivrea] Causata dalle dirrottissime incessanti pioggie cadute dalli ondici sino li quatordici corrente mese [ottobre 1755], accompagnate da lampi, e tuoni orribili è stata susseguita da varj perniciosissimi avvenimenti. [...] E non è qui da omettere la qualità delle pioggie, quali raccolte da varie Persone a Cielo aperto in Bichieri, ed altri vasi, si sono riconosciute di Colore giallo, rosseggianti, e sanguineo [per il contenuto di polveri sahariane trasportate dallo scirocco]. Si è annegata una quantità di Persone, dei quali non se ne sa ancora il preciso numero, massime nel fiume Dora, assieme a molti bestiami condotti questi dalla Valle d'Agosta, dove anche è stata rovinata qualche Chiesa, e Cimiterio, come anno datto a Conoscere gli Arredi, e Cadaveri invecchiati discorrenti in detto Fiume» (Mercalli e Cat Berro 2005). Il 17 agosto 1756 l'abate Giuseppe Gennari riferisce di una violenta tempesta che colpí Padova, forse un tornado:

[...] non aspettate da me una descrizione filosofica dell'origine e de' progressi del

vortice, né delle strane circostanze di pioggia, di grandine, di oscurità, di fragore che l'accompagnarono con infinito spavento degli animi i piú sicuri. [...] Perciò nulla sono per dirvi delle ruine e degli sterminj che ne' giardini, nelle torri, nelle muraglie, ne' tetti delle chiese, de' monasteri, delle pubbliche e private case ha fatto quasi in ogni contrada [...] l'impeto del turbine, la cui direzione a detta di molti fu da garbino verso greco, urtò con tanta forza l'eccelsa volta della Sala [del palazzo della Ragione], che malgrado le catene e gli arpioni di ferro la staccò dalle grosse muraglie ov'era piantata, e parte lasciò cadere sul pavimento, e parte precipitò sopra gli archi della loggia settentrionale, essendone solamente restata in piedi una piccola porzione verso ponente, e ancor quella malconcia e uscita di perpendicolo. Una rovina sí grande portò con seco lo sterminio della loggia suddetta, le cui colonne e balaustri, e gli archi che la coprivano, oppressi dal grave peso, e in parte dal furibondo vento sospinti, ingombrarono la sottoposta piazza e le adjacenti contrade. Orribile cosa fu a vedersi volare i merli delle muraglie, e le lamine di piombo asportate dal turbine a notabil distanza, mentre che da tutte le case nel tempo stesso con ispaventevole strepito assi, tegole, pietre, grondai, invetriate a forza divelte, e rami d'alberi schiantati si aggiravano per l'aria. Raro prodigo, e che in mezzo al castigo mostrò chiaramente la divina misericordia, si fu certo che fra tanti rovinamenti niuna persona sia stata offesa.

L'opuscolo è corredata di una dettagliata incisione che mostra il tetto sventrato del palazzo della Ragione.

*Bergemoletto, 1755: la storia di valanga piú straordinaria al mondo.*

Bergemoletto è una borgata di Demonte, adagiata su un pianoro a 1273 metri in destra orografica della valle Stura, sulle Alpi Marittime cuneesi. Oggi abitata solo d'estate, nei secoli scorsi l'insediamento era invece occupato tutto l'anno, e nella primavera 1755 fu teatro di un fatto eccezionale. Il 19 marzo, a seguito di copiose e frequenti nevicate (l'osservatorio di Torino, l'unico attivo a quell'epoca nel Nord-Ovest italiano, segnalò precipitazioni in 19 dei 30 giorni precedenti) tre grandi valanghe si abbatterono sul villaggio, distruggendo 30 case e causando 22 vittime. Fu peraltro una stagione nefasta a causa delle slavine anche nelle valli limitrofe, con oltre duecento morti in tutto il Cuneese. Ma in particolare l'evento di Bergemoletto verrà ricordato perché tre donne, sepolte tra le macerie di una stalla, sopravvissero per ben 37 giorni, fino al loro ritrovamento il 25 aprile,

stabilendo quello che con buona probabilità è tuttora un primato mondiale di sopravvivenza.

L'episodio è stato ricostruito dallo scrittore Pietro Spirito nel libro *La grande valanga di Bergamoletto* (1995), basandosi sui documenti storici e in particolare sulla descrizione che nel 1758 fece il conte Ignazio Somis, medico della corte sabauda e – guarda caso – iniziatore pochi anni prima (1753) delle prime misure meteorologiche del Piemonte, proprio a Torino. Le valanghe caddero alle nove del mattino, mentre gli abitanti erano intenti a liberare tetti e viottoli dall'enorme quantità di neve, il cui spessore esatto purtroppo non ci è stato tramandato. Anna Maria Bruno (40 anni), i figli Margherita (11) e Antonio Rocchia (5), e la cognata Anna Rocchia (24) furono sorpresi nella mangiatoia della stalla in cui si erano rifugiati, «sentirono crollare buona parte del tetto [...] e cadere sul pavimento sassi, e respirarono polvere di neve mista a terra, e d'improvviso furono avvolti da un buio più fitto e cieco della notte». In un angusto antro di 3,5 per 2,5 m, per 1,5 m di altezza, furono di magro ma salvifico sostentamento 15 castagne che Anna Maria teneva in tasca e il latte di due capre travolte insieme a loro (che a loro volta si cibarono del poco fieno conservato nei paraggi). Fatto straordinario, inizialmente i sepolti riuscirono a mantenere cognizione del tempo grazie al quotidiano e regolare chiocciare di alcune galline, pure esse compagne di sventura, poi morte dopo un paio di settimane. Intanto, anche il piccolo Antonio morì, mentre le tre donne resistettero tra grandi patimenti e inzuppate dallo stillicidio della neve in fusione, fino a che il 25 aprile i parenti – intenti a liberare i resti del villaggio e a quantificare i danni – sentirono i loro richiami e nell'incredulità generale le poterono estrarre vive. Giuseppe Rocchia, con la moglie Anna Maria e la sorella Anna, in difficoltà per la perdita dei loro beni, vagabondarono per il Piemonte nell'inverno 1756-57 alla ricerca di aiuti, raccontando la loro storia, e a Torino furono ospiti di Somis che già in precedenza aveva visitato le donne e studiato l'inaudito caso di sopravvivenza. Almeno per loro fu una storia dal lieto epilogo: grazie agli aiuti del re Carlo Emanuele III e, pare, dello stesso Somis, poterono ricostruirsi una casa, lavorare i campi e sostentarsi in autonomia. Nevi, valanghe e ghiacciai in avanzata permeano la società del tempo e ispirano Luigi Cherubini a comporre *Eliza, ou Le voyage aux glaciers du Mont St-Bernard* («Elisa, o Il viaggio ai ghiacciai del monte San Bernardo»), un'opera in due atti rappresentata per la prima volta a Parigi il 13 dicembre 1794.

## Dall'età dei Lumi all'Ottocento

Termina la Piccola età glaciale e nasce la meteorologia moderna

### *I primi osservatori meteorologici e la Società meteorologica palatina.*

Già a inizio Settecento a Genova il marchese Paris Maria Salvago (1643-1724) fonda un osservatorio astronomico privato e inizia a tener nota delle osservazioni meteorologiche che, dal 1705 in poi, trasmette all'Accademia di Francia. Poco dopo le università e accademie scientifiche italiane sono tra le prime al mondo a introdurre l'osservazione sistematica delle variabili meteorologiche:

– Bologna avvia l'acquisizione dei dati nel 1715, presso l'Accademia delle Scienze per iniziativa del medico e fisico Jacopo Bartolomeo Beccari. Pur con interruzioni e lacune, si tratta della più antica serie di misure meteorologiche a sud delle Alpi e la sua analisi storica e statistica da parte di Enrica Baiada e Silvia Comani rimane un modello pionieristico, poi magistralmente approfondito da Camuffo e colleghi (Baiada 1986; Comani 1986; Camuffo *et al.* 2016, 2017b e 2019).

– Padova inizia nel 1725 presso l'Università, sotto la guida di Giovanni Poleni che aderì all'invito della Royal Society of Medicine di Londra di stabilire osservazioni meteorologiche sistematiche. Dal 1764 la Specola fu diretta dal grande Giuseppe Toaldo, uno dei primi professori di meteorologia della storia italiana e autore di trattati che sono una miniera di dati (Zanini 2020); fu anche il primo al mondo a introdurre nel 1785 la capannina meteorologica a protezione degli strumenti di misura (Camuffo 1984, 2002 e 2021; Cocheo e Camuffo 2002).

– Torino nel 1753 è la terza serie più lunga in Italia a vedere la luce, per opera del medico di corte Ignazio Somis all'Università, e successivamente all'Accademia delle Scienze con il fisico Antonio Maria Vassalli Eandi. Si tratta di una delle serie più complete d'Italia, inclusa quella delle nevicate dal 1787, la più antica al mondo, ed è stata elaborata da Di Napoli e Mercalli

(2008). Oggi le misure proseguono grazie ai sensori di ARPA Piemonte su un tetto in via della Consolata, a breve distanza dalle precedenti collocazioni storiche e in omogeneità con la posizione sulla sommità di edifici che era abitudine negli antichi osservatori.

– Milano nel 1763 inaugura le proprie osservazioni meteo continue su iniziativa di padre Luigi La Grange a Brera, dove proseguono tuttora grazie ad ARPA Lombardia senza rilevanti spostamenti di sede. La lunga serie di dati è stata recuperata e omogeneizzata da Maurizio Maugeri, Letizia Buffoni e colleghi (Buffoni *et al.* 1996; Maugeri *et al.* 2002; Cazzuli, Zanetti e Wolter 2024).

– Roma si aggiunge nel 1782 con gli strumenti attivi al Collegio Romano, trasferiti nel 1788 sull'adiacente torre appena costruita per volere di Giuseppe Calandrelli (e a lui intitolata) per le osservazioni astronomiche e meteorologiche. La serie di dati a oggi recuperata inizia nel 1862 e continua a opera del CREA, Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (Mangianti e Leone 2008).

– Palermo inizia le misure nel 1791 presso l'osservatorio astronomico al palazzo dei Normanni, diretto all'epoca da Giuseppe Piazzi, dove si trova ancora oggi sotto la responsabilità dell'INAF. In attesa di un recupero completo di tutte le variabili meteorologiche, per ora è stata analizzata e pubblicata la serie delle precipitazioni dal 1797 al 1999 (Micela, Granata e Iuliano 2001).

Queste preziose serie storiche hanno consentito a Michele Brunetti del CNR-ISAC di Bologna di costruire la serie nazionale delle temperature e delle precipitazioni fin dal 1800 (Brunetti *et al.* 2006), utilissima per i confronti con i dati attuali. Ma quegli osservatori pionieri operavano ancora in modo individuale e locale, mancava una visione sinottica della meteorologia. Che arriva nel 1780 grazie al principe elettore Carlo Teodoro di Baviera che fonda a Mannheim la Società meteorologica palatina. Dopo l'esperienza della Rete medicea, la struttura tedesca organizza per la prima volta le osservazioni meteorologiche a livello mondiale presso 39 stazioni, da Cambridge in Massachusetts a Godthaab in Groenlandia e a Verchnjaja Pyšma in Siberia. I valori misurati vengono inviati a Mannheim con la posta a cavallo e via nave e poi pubblicati in almanacchi (*Ephemerides Societatis Meteorologicae Palatinae*) fino al 1792. In Italia aderirono alla rete Palatina gli osservatori di Padova, Bologna e Roma (Pappert *et al.* 2021). Intanto sul finire del secolo la

concentrazione di CO<sub>2</sub> dedotta dai carotaggi dei ghiacci polari è intorno a 278 ppm (Cho 2014): con l'invenzione della macchina a vapore alimentata a carbone inizierà inesorabilmente a crescere fino alle 423 ppm del 2024, il valore più elevato degli ultimi 14 milioni di anni (CENCO<sub>2</sub>PIP Consortium 2023).

### *L'Ottocento: dal culmine al termine della Piccola età glaciale.*

Il progresso investe anche la climatologia: è il secolo della filosofia positiva, soprattutto nella seconda metà. Le reti di stazioni meteorologiche aumentano con l'Unità d'Italia, permettendo di affiancare i dati misurati alle cronache descrittive, dal canto loro sempre più numerose grazie alla diffusione dei giornali, del telegrafo e delle ferrovie. È un secolo di transizione, pienamente inserito nella Piccola età glaciale nei suoi primi decenni e in graduale normalizzazione verso la fine. Ci sono inverni crudi come quello nevosissimo del 1829-30: a Torino caddero 144 centimetri di neve (superati poi dai 172 del 1883), ma a Bologna se ne ebbero si dice, oltre 4 metri, come testimonia la *Raccolta di vedute di Bologna dopo la nevicata del 1830* custodita al Fondo Corsini, vedute che ritraggono le varie piazze della città dove vengono ammassati enormi cumuli di neve alti fino al secondo piano degli edifici, somiglianti a bianche ziggurat percorse da uomini e carriole. È un secolo di alluvioni, incluse quelle provocate dall'esercito sabaudo per combattere gli austriaci nelle guerre risorgimentali.

Il 29 aprile 1859 le truppe austriache del maresciallo Giulay attraversavano il Ticino nel tentativo di isolare l'esercito piemontese prima dell'arrivo dell'appoggio francese. Ma occupata Novara, dopo 17 giorni gli austriaci dovettero ritirarsi, vinti dall'acqua e dal fango in seguito all'allagamento programmato di 450 chilometri quadrati di risaie vercellesi coordinato dall'ingegner Carlo Noé, come narra lo stesso in *Delle artificiali inondazioni fra la Sesia e la Dora Baltea prodotte colle acque dei Canali, con strategico intendimento, nel rompersi guerra dell'Austria contro il Piemonte sul finir dell'aprile 1859*, e da Pier Carlo Boggio nella sua *Storia politico-militare della guerra dell'Indipendenza Italiana*. Perfino Cavour disse in parlamento il 22 giugno 1860: «Di questo avvenimento, mi sia lecito il dirlo, non si è tenuto conto abbastanza; se fosse accaduto in altri paesi se ne sarebbe parlato molto di più, e l'impressione all'estero ne sarebbe stata più viva. E invero, o signori, se coll'incendio della

città di Mosca l'impero russo ha potuto respingere l'invasione francese, io credo che a buon diritto noi possiamo affermare che mercé dell'allagamento della intera provincia Vercellese, noi abbiamo impedito all'invasione austriaca di estendersi fino alla Capitale. Senza questa risoluzione arditamente ordinata dal Governo e mirabilmente eseguita dal distintissimo Ingegnere Cavalier Noè, e alla quale cooperarono con esemplare abnegazione le popolazioni, certamente questa sala medesima sarebbe stata profanata dalle armi straniere» (Atti del Parlamento italiano, Fonti 3). Alla rotta artificiale dei canali, racconta il Noé (Fonti 3), «si aggiunsero a inaspettato concorso che ne ingrandí l'efficacia, dirotte e frequenti piogge» e ovviamente l'aiuto di sindaci e degli acquaioli dell'Associazione d'irrigazione Ovest Sesia. Gli Austriaci inseguiti e raggiunti dai Piemontesi furono vinti a Palestro il 30 maggio e il popolo cantava «El Giulay l'à turnà 'n dré cun la pauta tacà i pé» (Giulay è tornato indietro con il fango attaccato ai piedi).

*1816, quell'estate mancata di oltre due secoli fa.*

Nell'aprile 1815, una violenta eruzione squarcò il Tambora, un vulcano indonesiano alto piú di 4300 metri. La montagna, oggi ridotta a circa 2850 metri di quota, si trova nell'isola di Sumbawa ed è tuttora un vulcano attivo. Una massa enorme di pomici e ceneri piroclastiche, stimata in oltre 150 chilometri cubi, combinandosi con il vapore acqueo, produsse decine di milioni di tonnellate di acido solforico. Le vittime umane dirette e indirette (causa eruzione, maremoti anche a distanza di centinaia di chilometri nonché le successive carestie) vennero calcolate in almeno 90 000. Le polveri immesse in atmosfera raggiunsero la stratosfera e fecero da schermo alla radiazione solare. In realtà, la diminuzione di temperatura che seguí al parossistico fenomeno naturale era in corso già da qualche anno (Pessimum climatico che chiuse l'era napoleonica e individuabile, nelle serie storiche, fra il 1808 e il 1817) e si fece ancora piú acuta nel corso del 1816, universalmente noto come «l'anno senza estate» (Stoffel *et al.* 2015). Quanto accadde nei mesi estivi nell'Europa occidentale ebbe un impatto disastroso sulle popolazioni già provate da guerre, epidemie, carestie e stagioni avverse. In Italia, le poche osservazioni che si eseguivano danno conto di una situazione variegata, un po' meno pesante rispetto a quanto avvenne in Francia, Svizzera, Germania, Isole Britanniche e Nord Europa, ma comunque del

tutto inusuale per l'estate delle nostre latitudini. Intanto, va detto che il caldo estivo, fra il 1809 e il 1817, tolto l'anno 1811, fu assai moderato. Le osservazioni disponibili indicano per l'Italia situazioni già critiche nel 1812, 1813, agosto 1814, luglio 1815 senza dover aspettare la stagione del 1816, abominevole in particolare a ovest e a nord delle Alpi. Nella serie di Camaiore (Lucca), ad esempio, pur notandosi mesi estivi ancor più freschi di quelli del 1816 negli anni immediatamente precedenti, quello fu l'anno in media più freddo del periodo 1777-1831 (Ratti 2010). Lo stesso vale per Milano, mentre a Torino la temperatura media annua fu più bassa nel 1814 (Di Napoli e Mercalli 2008).

### *Il Pessimum climatico del 1812-16 in Versilia.*

Nel 1817, il canonico Pietrantonio Butori, dopo quarant'anni di osservazioni meteorologiche da lui eseguite a Camaiore, cittadina a pochi chilometri dalla costa versiliese (Lucca), diede alle stampe un resoconto dei dati raccolti. Si stava concludendo il periodo di annate fredde che contraddistinse il crepuscolo dell'età napoleonica e Butori descrisse gli effetti determinati da quella persistente anomalia climatica. Queste le note relative al 1815: «Resterà memorabile lo scarsissimo raccolto de' generi frumentacei del 1815 [...], l'enorme scarsezza de' raccolti fu generalmente attribuita alla frequenza, ed alla copia delle piogge cadute nel Giugno» [...]. Quest'anno 1815 ci presenta un altro fatto [...]. Gli olivi erano arrivati al mese di Novembre carichi di frutti [...]. Ma nel principio di Novembre presero a regnare i venti settentrionali. Le notti de' 6, e de' 7, il Termometro si abbassò al zero. [...] Questo danno ridusse a meno della metà lo sperato prodotto dell'olio» (Butori, Fonti 3). Scorrendo le osservazioni del canonico, si nota che nel giugno 1815 caddero 174 millimetri di pioggia (ma nel 1813 si arrivò a 222) e che il luglio 1815 fu tra i meno caldi del periodo 1777-1831; seguì l'agosto più fresco di quei 55 anni a cavallo tra XVIII e XIX secolo. Dieci anni prima, nel 1805, si era vissuto il novembre più rigido (quasi 3 °C sotto la norma di allora), ma quello del 1815 fu l'unico novembre in cui la neve imbiancò la cittadina versiliese, sempre in riferimento al periodo suddetto (Ratti 2010).

### *Il massimo glaciale del 1820.*

I primi decenni dell'Ottocento vedono dunque culminare la Piccola età glaciale con la massima estensione olocenica dei ghiacciai alpini: le eruzioni vulcaniche come quella del Tambora nel 1816, il minimo solare di Dalton (1790-1820) e le anomalie di circolazione oceanica e dei ghiacci artici, producono sull'Italia sequenze di annate fredde, inverni nevosi ed estati piovose, che accumulano e conservano enormi coltri nevose in alta montagna, spingendo le fronti glaciali nei punti più avanzati oggi noti attraverso lo studio degli edifici morenici. A Torino il 1810 è l'anno più piovoso dell'intera serie 1802-2024, con 1753 millimetri, il doppio del normale, e il 1814 è il secondo più freddo dal 1753, con una temperatura media di soli 10,8 °C (Di Napoli e Mercalli 2008). In molte vallate del monte Bianco, monte Rosa, Alpi centrali e orientali, i ghiacciai invadono i fondovalle minacciando pascoli, alpeggi e perfino centri abitati. Ovunque è un fiorire di processioni per scongiurarne l'ulteriore avanzata. A Gressoney-La-Trinité il grande ghiacciaio del Lys scende nel 1821 fino a sfiorare l'alpe Courtlys a quota 1992 metri (Mònterin 1932; Strada 1987). Per qualche decennio il ghiacciaio si ritirerà leggermente per poi riavanzare nuovamente nel 1860, ma rimanendo all'interno del limiti del 1821. Il ghiacciaio di Solda, nel gruppo dell'Ortles-Cevedale, avanzò di 1300 metri in un anno tra il 1817-18 (si trattò di un «surge», una sorta di piena glaciale): la sua gigantesca fronte, alta 57 metri e larga 277, occupava l'intero fondovalle invadendo i pascoli; la popolazione locale, spaventata, abbandonò i Masi dei Campi (Gampen). Oggi il ghiacciaio è arretrato di oltre 3 chilometri da quella posizione (Savi, Dinali e Comiti 2021).

Annate fredde e piovose, con imponente innevamento in montagna proseguirono anche nei decenni successivi: a Torino spicca il quadriennio freddo 1835-38, verosimilmente dovuto alle emissioni dell'esplosione del vulcano Cosegüina in Nicaragua, e l'anno più freddo nella serie dal 1753 si registrerà nel 1855, con una temperatura media di 10,6 °C; la temperatura media del 2022 è stata per confronto di 16 °C!

### *L'alluvione genovese del 25 ottobre 1822.*

Al Centro DocSAI - Collezione Topografica del Comune di Genova, sono conservate due vedute di Luigi Garibbo che ritraggono il crollo del ponte di Pila dopo la piena del torrente Bisagno del 25 ottobre 1822. Il nubifragio,

secondo misure raccolte da Antonio Pagani, totalizzò 30 pollici di pioggia, ovvero 812 millimetri, in sole 15 ore. La città venne inondata con livelli d'acqua fino a 12 palmi genovesi (circa 3 metri) con collasso di tutti i ponti della bassa val Bisagno, frane, distruzione di edifici e strade, vittime. Ne furono spettatori anche Lord Byron e Mary Shelley che scrisse: «una nube sovraccarica di elettricità e di acqua, esplose sopra le nostre teste...» (Rosso 2014). La portata del torrente fu probabilmente superiore ai 1000 m<sup>3</sup>/s ma la lezione del 1822 non fu recepita, e gli ingegneri che progettarono la copertura del Bisagno in era fascista si limitarono a garantire l'evacuazione di circa 600 m<sup>3</sup>/s, condannando la città a subire i danni delle piene successive (Rosso 2014).

### *Le grandi piene del Po: 1839, 1872 e 1879.*

L'epica delle alluvioni del Po è senza dubbio rappresentata nella grande saga narrata da Riccardo Bacchelli ne *Il mulino del Po* (1940). Anche se con stile letterario si evince da parte dell'autore bolognese una profonda conoscenza della Bassa padana ferrarese e dei costumi dei suoi contadini di fronte alle ricorrenti inondazioni, e quelle del 1839, 1872 e 1879 sono protagoniste indiscusse del racconto, proprio come dice Datei (1994): «la storia del fiume e della gente padana è una unica storia idraulica e sociale insieme». Ferrari e Pellegrini (2007) riassumono così: «il secolo XIX era cominciato male per la Pianura del Po, con una piena e allagamenti disastrosi nel 1801, in prosecuzione di una situazione che era stata già quasi insostenibile nel secolo precedente, quando per almeno otto volte (1705, 1719, 1729, 1733, 1755, 1772, 1777, 1799) il fiume aveva allagato estese aree della Pianura, dal Pavese sino al mare: le alluvioni del 1705 si estesero per circa 1000 km<sup>2</sup>, come quella che interesserà quasi 250 anni dopo il Polesine. Il secolo XIX era stato ancor peggio; dopo la piena del 1801, se n'erano registrate altre nel 1802, 1803, 1807, 1808, 1810, 1811, 1812, 1823, 1839, 1840, 1841, 1843, 1846 (primavera e autunno), 1857, 1868 e, infine, le due piene del 1872, le peggiori di tutte, che furono decisive per la costituzione della Commissione Brioschi (il 1872 fu l'anno più piovoso in alcune lunghe serie di dati del Nord-Ovest, tra cui Genova-Università e Domodossola, con rispettivamente 2753 mm e 2909 mm di precipitazioni). Tutte queste grandi piene del Po, con le relative rotte ed esondazioni, possedevano una

caratteristica preoccupante: ciascun evento tendeva a superare il precedente per intensità, per le altezze raggiunte dalle acque di piena all'interno delle arginature. Questa tendenza sarebbe in seguito continuata nel 1879 e poi nel 1917 e nel 1951. A questo proposito, invitiamo il lettore a visitare la città di Ferrara, non solo per essere stata il principale porto fluviale del Po sino al Rinascimento, ma soprattutto per il suo Padimetro, posto in Piazza Martiri della Libertà, sulla colonna d'angolo del Palazzo Comunale, che reca incisi, sulla pietra del Biancone di Verona, tutti i livelli delle acque del Po dal 1705 al 1951». I livelli di piena crescevano continuamente a causa della graduale formazione di un alveo pensile del grande fiume, via via che i detriti apportati, soprattutto dai fiumi appenninici, si sedimentavano nella sezione ristretta da argini sempre più alti. Il disboscamento delle regioni montane accresceva inoltre il trasporto solido ad ogni pioggia abbondante. Quella del 1839 è definita dal Bacchelli la «piena lunga», perché durò da ottobre a dicembre. Le piogge torrenziali iniziarono a metà ottobre in Piemonte e già il 17 Torino vide il Po raggiungere la più elevata altezza idrometrica in oltre due secoli: 88 centimetri al pilastro lungo il viale del Valentino, equivalenti a un livello fluviale di 6,20 metri nella serie omogenea dal 1791. E procedendo verso est le rotte degli argini e gli allagamenti non si contarono e si susseguirono con diversi colmi di piena anche in novembre, mantenendo molti territori sommersi fino a dicembre. Il Bottoni (Fonti 3) narra con dovizia di particolari gli eventi di piena nel Ferrarese:

mai, come nell'autunno del 1839, stazionò il Po per sì lungo tempo in guardia; giacché dai primi d'Ottobre alla metà di Dicembre potè mantenersi nella media di m. 2.50, toccando alcuni giorni, li metri 2.93. Sifatta persistenza nel pericolo non poteva terminare senza sventure. – Le piogge, accompagnate dalla più estesa elettricità, scendevano dí e notte a dirotto, e il sirocco dominando sul mare col tenerne alte le aque, s'opponeva al versarvisi di quelle dei fiumi. Panaro gonfio minacciava il Bondesano, e da tutte parti lavorando, ognun si sforzava di rafforzarne i ripari, e sostenerne i soprasuoli, che sugli argini già indeboliti erano già stati eretti. [...] Ad un tratto l'argine si scuote, traballa, si fende e sta per scoscendersi. L'operaio Nordi Silvestro di Bondeno pel primo da il grido *si salvi chi può* mentre imperterrita e solo rimane sul luogo per gettar sacchi di terra nella già grande spaccatura. Sforzi generosi, ma inutili! questa si dilata; l'argine rovina; e il Nordi giunge con grande stento a salvarsi.

Le terribili piene del 1872 furono due, una in maggio, una in ottobre.

## Sempre dal Bottoni, la cronaca della rottura del 28 maggio:

Gorgoglianti intanto e precipitose, come dall'alto di una cateratta, rovesciavansi sui campi le aque tremende, che le case isolate atterrando, e i paesi seppellendo, di sabbia e ghiaia ricopriva e seminava il terreno. La terra dell'abbattuto argine, ammonticchiata contro una casa vicina, le fu riparo contro l'improvvisato fiume. E quella casa fu ricetto ai primi scampati, che sotto i piedi loro volar via vedevano l'aqua, la quale, spezzata la strada di Ro Guarda, sen correva in quel di Fossadalbero, e nelle terre poste fra il Po e la fossa Lavezzola [...]. All'ira intanto della tremenda fiumana veniva ad aggiungersi pur quella del cielo. Pioggia, fitta gragnuola, e scatenati elementi percosse e fece molle di pioggia la mal salva moltitudine, che senza riparo, fra le piú terribili angoscie, priva per la piú parte di cibo, affranta dalle calamità che svolgevansi sotto i suoi occhi passò sugli argini ben terribili notti, adagiata sopra un bagnato terreno; coricata sotto i carri, o sotto improvvise tende; esposta all'infido cielo. Il bestiame in questo mentre errava disperso. – Poco era quello che aveva seguito i fuggenti; cacciato il restante sugli argini, o sulle strade, veniva ricettato nelle stalle dei salvi poderi. Non però, che smarrito pei campi, senza direzione, e sorpreso in parte dalle aque non venisse nei giorni successivi raccolto galleggiante cadavere sui confini dell'allagamento. Poveri campi! [...] Restarono sommersi circa 700 km<sup>2</sup> di territorio e dovettero essere evacuate 45 000 persone.

Passano appena quattro mesi ed ecco che

la piena dell'Ottobre 1872 incominciò il 9 del mese, salí gradualmente fino ad arrivare nel mattino (6 ant.) dell'11 a metri 1,88 sulla guardia di Pontelagoscuro; [...] giunta alle 10 ant. del 23 a m. 3,32 (!) a 28 centimetri cioè sulla massima che il fiume Po abbia mai sopportata, ci recò alla sventura! [furono allagati 830 km<sup>2</sup> e crollarono oltre 1000 edifici]. Questa però non si può dire giungesse imprevista; [...] Ed infatti alla sera del 21 Ottobre le aque ai Ronchi erano salite al colmo massimo del 1868 e pochi centimetri mancavano al sormonto, quando da Pavia vennero per telegrafo segnalate nuove aque. Poche centinaia d'uomini avrebbero allora potuto scongiurare il pericolo; attesoché le aque che discendono da quella città impiegano 30 ore ad arrivare a Revere. Ma sia colpa di un ingegnere allievo che avendo la sorveglianza dell'argine non seppe chiamare i lavoranti, o presenti ed in sciopero non obbligarli al lavoro, o checché altro, è certo che niun provvedimento fu preso atto ad allontanare il disastro.

Già allora le polemiche sulle responsabilità non mancavano...

E infine ancora la piena dell'inizio di giugno del 1879, che gravi danni

apportò nelle campagne del Mantovano, Modenese e Ferrarese devastando i raccolti di cereali in maturazione. Il giovane Stato italiano venne fortemente criticato di pensar solo a costruir ferrovie dimenticandosi dei piccoli paesi e delle campagne in ginocchio, come riporta «L'Indicatore Mirandolese» del 1879.

*E altre piene dell'Arno, del Tevere e dell'Adige.*

Per Firenze quello del 1844 sarà un altro inizio di novembre segnato dall'inondazione dell'Arno.

Testimoni oculari degli eventi che scrissero dettagliate relazioni furono Giuseppe Aiazzi e Filippo de' Boni. Il 3 novembre le acque invasero il centro cittadino, era domenica nelle ore della messa e ciò permise di lanciare l'allarme e limitare i danni (Cavina 1969). Dai giornali dell'epoca: il 21 settembre 1869 tocca a Parma, con 21 vittime (una simile alluvione si ripeterà il 13 ottobre 2014); il 19 agosto 1858 è la Liguria a essere colpita da un nubifragio, con almeno 10 vittime e danni da fulmini, inondazioni soprattutto a Savona, crolli di ponti, interruzioni di strade. Citiamo ancora la disastrosa piena del Tevere a Roma nel dicembre 1870, probabilmente la peggiore dopo quella del 1598: la città papale era stata da appena tre mesi dichiarata capitale d'Italia, allorché nel periodo natalizio forti piogge flagellarono la val Tiberina; all'Osservatorio del Collegio Romano l'ultima decade di dicembre totalizzò 127 millimetri di pioggia. Il fiume invase le strade della città tra il 27 e il 28 dicembre, raggiungendo all'idrometro di Ripetta l'altezza di 17,22 metri. L'esercito intervenne in soccorso della popolazione con le barche del genio pontieri e il giovane governo italiano istituì una commissione tecnica che portò dal 1875 alla realizzazione degli imponenti «muraglioni» che oggi contengono il fiume (Lelo e Palazzo 2006). A Verona oltre 50 lapidi ricordano il livello raggiunto dalle acque dell'Adige durante la catastrofica piena del 18 settembre 1882, probabilmente la peggiore della storia della città e del suo territorio limitrofo: vi furono 11 vittime, 85 000 sfollati, 540 abitazioni distrutte e 8200 danneggiate, 20 mulini natanti asportati, 40 ponti crollati tra cui il ponte Nuovo a Verona, dove la portata del fiume fu valutata in 5144 m<sup>3</sup>/s (Avesani 1997), ma pure Trento, Bressanone e Merano – allora austriache – furono allagate. Di pari portata fu in seguito la piena del novembre 1966, tuttavia mitigata dai

muraglioni costruiti in città dopo il 1882 (Biasillo e Armiero 2019) e dal gran numero di invasi idroelettrici realizzati nel bacino dal 1924 al 1968 nonché dal canale scolmatore in galleria a Mori che dirottò nel lago di Garda 500 m<sup>3</sup>/s per un totale di 64 milioni di m<sup>3</sup>, senza il quale a Verona il livello idrometrico sarebbe stato di 1,2 metri più elevato rispetto ai 2,52 registrati (Menna 1997).

### *Stoppani e il regresso glaciale del 1876.*

Stoppani nella prima edizione de *Il Bel Paese* (1876) narra che

era l'agosto del 1861. [...] L'estate di quell'anno fu eccessivamente calda. A memoria d'uomini il termometro non era mai montato sì alto nei nostri paesi [a Torino la temperatura massima estiva fu di 37,4 °C il 14 agosto]. Immaginatevi che fin la vetta del monte Bianco era spoglia di neve, [...] Nel 1861 il calore fu tale, che non rimase residuo delle nevi cadute in quell'anno, e i ghiacciai si ritirarono sensibilmente, come dimagrati per mancanza di nutrimento.

Nella terza edizione del 1881 Stoppani aggiunge in *Appendice* una nuova serata intitolata *Ricordi del Monte Rosa* dove racconta la sua sorpresa di fronte al rapido ritiro del ghiacciaio del Belvedere a Macugnaga nel periodo 1870-76:

Se aveste veduto come mi comparve innanzi il ghiacciajo del Monte Rosa nello scorso autunno [21 settembre 1876] narrandovi appunto la mia gita al monte Rosa, dove vi farò toccar con mano che i ghiacciai presentemente sono in ritirata per non dire in fuga. [...] Eccoci proprio sull'ultima cresta della morena. Oh disillusion! [...] Si sarebbe detto che un capriccioso genio avesse d'un tratto sostituito al ghiacciajo il letto sassoso di un gran torrente asciutto, profondamente infossato tra due argini ugualmente sassosi. [...] La è finita! [...] D'ora innanzi non bisognerà più parlare di un ghiacciajo di Macugnaga; Non m'aspettavo davvero che le cose fossero progredite tant'oltre in sei anni [dalla visita del 1870]. Il ghiacciajo di Macugnaga si era molto ritirato; cioè dimagrato, impoverito, che faceva pietà a vederlo. Non vi dicevo appunto che i ghiacciai sono in fuga, cioè diminuiscono da un pezzo su tutti i versanti delle Alpi? Questo periodo di regresso data su per giù dal 1860, e probabilmente da un'epoca ancora più lontana. I calori eccezionali, e più la diminuzione delle nevi, avvertita in quest'ultimo quindicennio, ne danno una

ragione piú che sufficiente. [...] Pare anzi, o per meglio dire è certo, che il periodo di regresso del ghiacciajo di Macugnaga sia cominciato da 50 anni piú [il che coincide con la massima espansione del 1820, *N. d. A.*]. Tutti i ghiacciai del monte Rosa da quella parte si sono ritirati centinaia di metri, lasciandosi addietro le rispettive morene e vaste superfici di rocce, lisce e striate; sicché era voce lassú che tra pochi anni i ghiacciai sarebbero scomparsi.

La sorpresa di Stoppani è giustificata, in quanto il regresso fu imponente, ma non tanto perché già allora fosse iniziato il riscaldamento globale antropogenico bensí perché si stava semplicemente concludendo la Piccola età glaciale, per cause ancora completamente naturali. L'apice di avanzata glaciale del 1820 è infatti un *unicum* in circa 10 000 anni per la maggior parte dei ghiacciai alpini, il frutto di un gruppo di annate con estati fredde e perturbate tra le piú rilevanti, occorso dal 1810 al 1816 con minimo termico nell'estate 1813 dove a Torino si misura una media trimestrale di 19,4 °C, simile alla temperatura normale per un mese di maggio. Nell'estate del 1861, che Stoppani definisce «eccessivamente calda», la temperatura media a Torino fu di 22,5 °C e la media del periodo 1860-76 fu di 21,8 °C, effettivamente 0,3 °C al di sopra della media 1800-20, ma ben 2,6 °C piú bassa del periodo 2000-24 che è di 24,4 °C, con massimi di 26,7 °C e 26,5 °C nelle stagioni 2003 e 2022, valori che sarebbero già caldi anche per Catania! In sostanza nel 1876 il clima si era semplicemente ripreso dalla drastica anomalia negativa di inizio secolo e i ghiacciai si erano sí ridimensionati ma rimanevano nel tipico assetto che avevano fin dalla fine del Medio Evo. Stoppani, che morirà nel 1891, avrebbe visto proprio in quegli anni nuovamente freddi e nevosi di fine Ottocento una ripresa delle avanzate glaciali alpine, poi un leggero ritiro e una nuova pulsazione avvenuta nel 1920 per effetto delle grandi nevicate dei primi decenni del Novecento. La vera e inedita ritirata dei ghiacciai alpini prenderà avvio dopo il 1989. Dunque Stoppani non riconoscerebbe piú il ghiacciaio del Belvedere come l'ho visto io nel 2002, durante l'emergenza del lago Effimero, tre milioni di metri cubi d'acqua che minacciavano di travolgere Macugnaga. La scintillante parete orientale del monte Rosa, conosciuta per il suo carattere “himalayano”, unico nelle Alpi, subiva già allora «una straordinaria attività geodinamica senza paragoni nelle Alpi. Fenomeni di varia natura ed intensità hanno drasticamente modificato la parete e l'intero apparato glaciale del Belvedere inducendo talora situazioni di rischio molto elevato» (Mercalli e Mortara

2002; Mortara e Tamburini 2009). Oggi la lingua serpeggiante del Belvedere è in agonia: in un ventennio ha perso oltre 50 metri di spessore ed è un deserto di massi e sfasciumi che si stende fino alla base della parete del Rosa, un tempo candida e luccicante di ghiacci, ora sempre più grigia e solcata da frane e detriti. Del resto, monte Rosa non viene dal colore rosato che la montagna assume con il sole dell'alba, ma dal termine *roese* che negli antichi idiomi locali vuol proprio dire ghiaccio. Gli dovremo cambiar nome?

*«Chi non ha visto la montagna nell'inverno del 1885, non conosce l'inverno alpino».*

Nei decenni finali della Piccola età glaciale gli inverni nevosi sono comuni, ma quelli del 1885 e del 1888 si distinguono per enormi nevicate e valanghe responsabili di centinaia di vittime sulle Alpi, eventi descritti dal barnabita Francesco Denza nel «Bollettino del Club Alpino Italiano». Da fine dicembre 1884 si susseguono perturbazioni a ripetizione che culminano nell'evento di metà gennaio 1885, quando un'intensa sciroccata seguita a giorni gelidi scarica ingenti quantità di neve fresca soprattutto sulle Alpi occidentali: in tre giorni, dal 16 al 18 gennaio, fino a 2-3 metri di neve cadono a quote di 1000-1500 metri nelle valli torinesi e cuneesi. Scrive Denza (1889, Fonti 3) che la neve «cadeva così fitta, così larga e così copiosa, che si assomigliava ai muri di neve che descrivono gl'inglesi per le loro regioni». Questa enorme precipitazione, inumidita dall'addolcimento delle temperature, e sotto l'azione del vento, «fece sì che in quest'ultimo giorno [18 gennaio] tutta la massa nevosa, depositatasi sul ghiaccio nei luoghi di maggiore pendenza e senza ripari di boschi, scivolasse in basso, sia pel suo peso, come per la poca aderenza allo strato sottostante, e l'effetto fu disastroso non poco nei luoghi più esposti». Le valanghe non si contano e percorrono traiettorie inusuali, travolgendo villaggi raramente raggiunti in precedenza, tanto che «alcune valli, specialmente nelle Alpi Cozie e Graie, erano addivenute quasi una serie non interrotta di enormi ammassi di nevai». Il bilancio finale è catastrofico: nelle sole province di Cuneo e Torino (quest'ultima, all'epoca, comprendeva anche la Valle d'Aosta), oltre 1300 edifici danneggiati e 242 morti, quasi metà dei quali sotto le due rovinose slavine che investono la frazione Deveys di Exilles in val di Susa (Mercalli e Cat Berro 2018) e alcune borgate di Frassino in val Varaita (36 e 70 vittime rispettivamente). Sul resto dell'arco alpino gli eventi sono meno severi, ma al triste bilancio si aggiungono altre cinque

vittime da valanga tra le province di Novara, Belluno e Udine. Passano solo tre anni, e a fine febbraio 1888 si ripropone un episodio analogo, stavolta esteso con effetti disastrosi a gran parte delle Alpi inclusi i versanti svizzero e austriaco, ma ancora una volta sono le valli del Piemonte e della bassa Valle d'Aosta, dal Sempione al Canavese, a subire il peggio. Nevicate di insolita intensità si verificano a più riprese già nei mesi precedenti, a fine dicembre 1887 nevica anche a Roma e Napoli e le pianure dell'Emilia sono sepolte da oltre un metro di neve che paralizza i trasporti ferroviari (nel mese, totale di 123 centimetri di neve fresca all'osservatorio di Modena, Lombroso e Quattrocchi 2008). Durante gli episodi di metà e fine febbraio, scrive Denza (1889, Fonti 3), «la neve cadde placidamente per più giorni di seguito ed andò congiunta a freddo intenso, così essa nella maggior parte dei luoghi si depositò polverulenta, e non già umida e a larghi fiocchi come nel 1885». Anche in questo caso la neve raggiunge altezze importanti, oltre 70 centimetri a Sondrio, un metro a Varese e a Susa, e tre metri e più in località alpine della Carnia, come del Torinese e del Cuneese. Denza si prodiga in pagine e pagine di descrizioni accurate dei disastri valanghivi occorsi da un capo all'altro dell'arco alpino italiano, segnalando un totale di 248 morti in tutto l'inverno 1887-88, di cui 145 nella sola provincia di Torino (a sua volta, 77 nel circondario d'Ivrea, il più colpito). Interi villaggi di montagna sono ridotti in macerie: Aviel in bassa Valle d'Aosta, Salzetto e Chiapetto in valle Soana, Lities in val Grande di Lanzo, per citarne alcuni. Le grandi valanghe del 1885, e in particolare quelle della valle Soana, furono di ispirazione per il drammaturgo Giuseppe Giacosa, che vi dedicò la novella *La neve* inclusa nella raccolta *Novelle e paesi valdostani* (1886). L'incipit è significativo dell'anomalia di quegli eventi: «Chi non ha visto la montagna nell'inverno del 1885, non conosce l'inverno alpino».

### *La travagliata nascita dei servizi meteorologici nazionali tra Ottocento e Novecento.*

Nel 1986 entrai per la prima volta nella biblioteca dell'Osservatorio del Real Collegio Carlo Alberto di Moncalieri, tra il Po e le colline a sud di Torino. L'impressione fu quella di varcare l'ingresso nascosto di una tomba etrusca. Una capsula del tempo scura e polverosa ferma a fine Ottocento. L'osservazione degli strumenti era ancora attiva ma appesa a un filo, limitata

a un minimo compito quotidiano a cura di un fratello della congregazione barnabita, invece l'attività di ricerca, la didattica, lo scambio di dati con altre istituzioni internazionali, la compilazione del glorioso «Bullettino meteorologico», tutto si era spento dopo la Seconda guerra mondiale. Tolsi la polvere, riattivai gli strumenti, inserii tutti i dati manoscritti di oltre cent'anni nel computer, mi immersi nella lettura del «Bullettino», che aveva cessato le pubblicazioni da oltre mezzo secolo e lo rifondai nel 1993 sotto la nuova denominazione di «Nimbus» (rivista che contiene oggi la «Cronaca meteorologica dell'Italia» degli ultimi trent'anni). Tra quelle antiche carte mi si svelava la storia dello studio del clima italiano. Dopo le prime e ancora isolate esperienze settecentesche, inquadrata in istituzioni scientifiche e universitarie, nella seconda metà dell'Ottocento i nuovi osservatori meteorologici si moltiplicano per iniziativa anche di privati e istituzioni locali, non solo nelle città ma finalmente anche su Alpi e Appennini, il cui clima fino a quel momento era in gran parte sconosciuto. Fatto nuovo e importante, gli osservatori iniziano anche a confluire e a diffondere i dati nel quadro di associazioni scientifiche quali la Corrispondenza meteorologica alpina-appennina dell'intraprendente padre barnabita fisico e meteorologo Francesco Denza (Napoli 1834 - Roma 1894), che nel 1865 aveva fondato proprio a Moncalieri l'osservatorio del Real Collegio Carlo Alberto e il primo nucleo della Società meteorologica italiana (SMI), incoraggiando la nascita di nuovi punti di misura da un capo all'altro del neonato Regno d'Italia, in competizione con le più lente iniziative del governo. Denza comincia la sua opera di instancabile coordinamento contattando i direttori di osservatori già attivi per iniziativa privata nel Nord-Ovest (Aosta, Ivrea, Torino, Pinerolo, Bra, Mondoví, Alessandria) e nel 1866 inizia a pubblicarne i dati nel «Bullettino Meteorologico dell'Osservatorio del Real Collegio Carlo Alberto in Moncalieri». Nel 1871 prende forma la collaborazione con il Club alpino italiano, che sostiene l'istituzione di osservatori di montagna. La rete allora comprendeva 16 stazioni in Piemonte e Valle d'Aosta nonché gli osservatori di Lodi e Piacenza, poi negli anni seguenti si estende rapidamente nel resto del Regno trasformandosi dunque in Corrispondenza meteorologica alpina-appennina nel 1873. Tra gli anni Ottanta e Novanta dell'Ottocento raggiunge l'apice del suo sviluppo con circa cinquecento osservatori posti non solo in Italia (spiccava quello di punta Arenas, stabilito nel 1887 in collaborazione con le missioni salesiane, allora il più meridionale della Terra), tuttavia la morte di Denza nel 1894, quando, all'apice della

carriera e ricco di riconoscimenti internazionali, era giunto a dirigere la Specola Vaticana su incarico di papa Leone XIII, rappresenta l'inizio di un declino che porterà alla soppressione di varie stazioni (Frigerio, Di Napoli e Mercalli 1995; Di Napoli e Mercalli 1996).

Molte altre proseguiranno comunque l'attività fino a oggi, inglobate in diverse reti di misura sorte nel frattempo, seppure con inevitabili cambiamenti di metodi, strumenti, e talora di posizione. Infatti quello promosso da Denza non è l'unico coordinamento di stazioni meteorologiche a sorgere dopo l'Unità d'Italia. Fin dal 1862, a seguito di contatti con l'astronomo francese Urbain Le Verrier che stava organizzando un servizio telegrafico di scambio di dati meteorologici in Europa, Carlo Matteucci – fisico, esperto di telegrafia e politico – costituisce una commissione per la creazione di un servizio meteorologico italiano. Tra il 1865 e il 1867 vengono istituiti il Servizio meteorico-statistico del ministero dell'Agricoltura, dell'industria e del commercio, a Firenze, il Servizio meteorologico-telegrafico del ministero della Marina, e il Servizio pluviometrico per l'idrografia fluviale del ministero dei Lavori pubblici, con l'obiettivo di prevedere le piene dei corsi d'acqua. Ma, soprattutto, nel 1876 viene fondato l'Ufficio centrale di meteorologia, operativo dal 1879 nella sede del Collegio Romano, il cui osservatorio è reduce dalla brillante direzione dell'astrofisico gesuita padre Angelo Secchi (1818-1878). L'ufficio, sotto la guida del geofisico e meteorologo Pietro Tacchini (1838-1905), inizia a pubblicare il «Bollettino Meteorologico Giornaliero», e data l'espansione degli interessi anche verso i terremoti e il magnetismo terrestre evolverà prendendo il nome di Ufficio centrale di meteorologia e geodinamica nel 1887, poi di Ufficio di meteorologia e di geofisica nel 1923. La rete governativa cresce in modo importante fino a contare svariate centinaia di stazioni all'inizio del Novecento. Nel 1941, sempre nella prestigiosa cornice del Collegio Romano, la sua eredità verrà colta dal Regio Ufficio centrale di meteorologia ed ecologia agraria (UCMEA), poi dal dopoguerra Ufficio centrale di ecologia agraria (UCEA), ente custode dell'archivio e della biblioteca con le vaste e preziose collezioni di schede manoscritte degli osservatori di tutta Italia, strumenti e volumi a tema meteorologico e climatico. A sua volta, nel nuovo millennio l'UCEA si modificherà ulteriormente nel CRA e infine, attualmente, nel CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, limitando via via le proprie attività alla raccolta ed elaborazione di dati meteorologici per applicazioni agronomiche, ma continuando a

custodire archivio e biblioteca storica nella nuova sede di via Ardeatina a Roma. Tornando però ai primi decenni del Novecento, nel 1907 e nel 1912 vengono istituiti rispettivamente anche l’Ufficio idrografico del Regio magistrato alle Acque a Venezia e l’Ufficio idrografico del Po a Parma, poi confluiti nel 1917 nel Servizio idrografico nazionale del ministero dei Lavori pubblici. Strutturato in compartimenti territoriali e forte di alcune migliaia di stazioni di rilevamento, fino al termine del secolo manterrà il compito della capillare registrazione dei dati di precipitazioni, temperatura, innevamento, livelli e portate fluviali, e della loro pubblicazione sugli *Annali idrologici*, da cui derivano molte delle informazioni a corredo delle prossime pagine. Intanto la disponibilità di dati cresceva vistosamente, e nel corso dei decenni alcuni studiosi affrontano i primi lavori sistematici di elaborazione dei medesimi, in particolare Filippo Eredia (1877-1948) curatore delle pubblicazioni *Osservazioni pluviometriche raccolte a tutto l’anno 1915* e *Osservazioni pluviometriche raccolte nel quinquennio 1916-1920*, nonché Cristofaro Mennella (1907-1976), con i tre poderosi volumi della sua opera omnia *Il clima d’Italia* usciti tra il 1967 e il 1973, frutto di ammirabili lavori di analisi condotti senza l’aiuto dei moderni computer. Le competenze del Servizio idrografico nazionale – la cui denominazione nel 1989 diviene Servizio idrografico e mareografico nazionale (SIMN) – con decreto del presidente del Consiglio dei ministri del 24 luglio 2002 vengono trasferite alle regioni, incorporandole nelle loro strutture già operative da alcuni anni in tema di rilevamento meteorologico, e provvedendo ad accordi interregionali per garantire la continuità storica dei monitoraggi e della pubblicazione dei dati alla scala dei grandi bacini idrografici. Il passaggio – avvenuto in modo frettoloso –, porterà però anche a una irrimediabile dispersione di documenti importanti: colpisce la mancanza di personalità competenti alla direzione di questi enti, lasciati nelle mani di burocrati insensibili all’importanza del patrimonio climatologico. Oggi sono dunque per lo più le agenzie per l’ambiente (ARPA) e i centri funzionali regionali a occuparsi della catena di misura meteorologica, previsione e allertamento, di concerto con il dipartimento della Protezione civile. In questa descrizione della complessa realtà meteorologica italiana c’è ancora un protagonista importante, che costituisce formalmente il servizio meteorologico nazionale e rappresenta il Paese presso l’Organizzazione meteorologica mondiale: è il Servizio meteorologico dell’Aeronautica, fondato nel 1923 dalla riorganizzazione del Regio ufficio di meteorologia, con il brillante meteorologo catanese Filippo

Eredia come primo direttore, che fu tra l'altro anche docente di fisica di Enrico Fermi al liceo. Tra varie evoluzioni organizzative, come la riunione dei suoi centri tecnici nel 1978 in un unico ente centrale con sede a Pratica di Mare (Centro nazionale di meteorologia e climatologia aeronautica), il servizio giunge fino a oggi con le sue funzioni di rilevamento delle condizioni del tempo per lo più presso le stazioni aeroportuali, facenti parte della rete sinottica internazionale (tuttavia quelle degli aeroporti civili spettano oggi all'ENAV, Ente per l'assistenza al volo), e la previsione meteorologica. Quella della meteorologia italiana degli ultimi due secoli è quindi una storia molto frammentata, priva fin dalla nascita di un progetto omogeneo e coordinato, frutto di iniziative di diverse istituzioni che agiscono ognuna per sé, e di continui caotici cambiamenti di denominazione e di organizzazione, un assetto estremamente nocivo alla ricerca scientifica sul clima che necessita viceversa di uniformità, continuità e stabilità. Una sovrapposizione di compiti inefficiente e inadatta a fornire agli utenti serie di dati omogenee e aggiornate, che si spera venga superata grazie alla nuova agenzia ItaliaMeteo, prevista dalla Legge 205/2017 ed entrata in attività dopo un lungo iter istitutivo nel 2022 sotto la guida di Carlo Cacciamani, già coordinatore del Centro funzionale centrale del dipartimento della Protezione civile. ItaliaMeteo ha il fondamentale obiettivo di aumentare l'efficienza del sistema meteorologico italiano, fungendo da raccordo con gli enti nazionali e regionali e creando una banca dati unitaria di tutto il patrimonio di dati meteorologici storici, obiettivi per ora soltanto sulla carta. D'altronde, a conferma dell'enorme valore scientifico delle esperienze meteorologiche italiane, con 22 osservatori secolari riconosciuti a oggi dall'Organizzazione meteorologica mondiale l'Italia detiene il titolo di Paese con il maggior numero di «centennial stations» al mondo (in tutto sono 406). Il progetto «Centennial Stations» nacque peraltro all'Osservatorio di Moncalieri, allorché durante l'International Weather Forum 2017 il capo ufficio comunicazione della World Meteorological Organization, Michael Williams, visitando l'antica torretta ottocentesca sotto la guida di chi scrive, rimase ammirato dal patrimonio scientifico disponibile e ideò il progetto mondiale di riconoscimento, una sorta di bene Unesco della meteorologia. Rilevare dati meteorologici significa essere dei buoni antenati nei confronti delle generazioni future e mai come ora le parole che Denza pronunciò nel 1876 (Fonti 3) hanno senso: «Noi prepareremo pei nostri posteri un materiale ben ordinato e prezioso per istabilire con ottimo fondamento il non facile

edifizio della climatologia».

## I due climi del xx secolo

*Il clima del Novecento: inizia sano, termina malato.*

La Piccola età glaciale si può dire conclusa in Italia con la fine dell'Ottocento. La Belle Époque segna anche il ritorno dopo oltre sei secoli di un clima che potremmo definire normale. Gli inverni sono freddi se confrontati con oggi, ma – tranne quello del 1929 – non più glaciali come in precedenza. Le estati calde ma non tropicali. La Prima guerra mondiale fa i conti con straordinarie nevicate che alimentano l'ultima significativa pulsazione glaciale del 1920, poi nel 1921 arriva una pronunciata siccità anche sulle Alpi, che limiterà la produzione della nascente industria idroelettrica. Ancora gli anni Trenta si potranno definire sostanzialmente liberi da fattori forzanti globali: niente eruzioni vulcaniche importanti, temperature in lenta ripresa. I primi incerti segni di riscaldamento si avvertono dopo la Seconda guerra mondiale, ma tra indugi e ripensamenti della temperatura che negli anni 1970 sembra tendere nuovamente alla discesa. Oggi sappiamo che questa temporanea asimmetria del trend termico rispetto a quello continuamente crescente della concentrazione di CO<sub>2</sub> fu causata dall'azione di opacizzazione atmosferica dei fumi del carbone e della nafta ad alto tenore di zolfo, massicciamente impiegati durante la ricostruzione post-bellica. I limiti imposti successivamente alle emissioni di solfati con l'introduzione del meno inquinante metano, eliminarono l'effetto raffreddante che mascherava l'incremento dell'effetto serra antropogenico, portando dal 1988 a una tendenza sempre più netta verso l'aumento termico globale. Anche in Italia pertanto gli ultimi vent'anni del Novecento sono già pienamente inseriti nel riscaldamento globale, i ghiacciai arretrano, gli inverni si contraggono, anticipando quanto diventerà più evidente al principio del XXI secolo.

*La «Guerra bianca» sulle Alpi: le valanghe degli inverni 1915-16 e 1916-17.*

Nell'Europa dilaniata dal primo conflitto mondiale, c'è una guerra nella guerra di cui nei libri scolastici di storia si parla ben che vada di sfuggita, e che fu in gran parte ignorata perfino dai giornali dell'epoca: è quella che i soldati italiani e austro-ungarici combattono nelle affollate trincee del fronte alpino contro il gelo, la neve e le valanghe di inverni 2 °C più freddi di quelli odierni. Atmosfere severe rese con maestria da Ermanno Olmi nel suo ultimo film *Torneranno i prati* (2014), in cui è rappresentato il dolore di un'algida notte di combattimenti sull'altipiano di Asiago nell'inverno 1917-18, e riportate con dovizia di dettagli desunti dalle lettere dei soldati nel saggio *La guerra verticale* di Diego Leoni (2015). È soprattutto nelle due stagioni 1915-16 e 1916-17 che sulle Alpi orientali, dallo Stelvio, alla Marmolada, alle Giulie, si consuma una delle più terribili tragedie di origine meteorologica degli ultimi secoli nel nostro continente. Nevicate considerate fuori dal comune anche in quei decenni ben più nevosi di oggi, unite a crude ondate di gelo, accumulano svariati metri di neve seppellendo trincee, avamposti, baracche e innescando innumerevoli valanghe responsabili di migliaia di vittime in prevalenza tra i militari che – nonostante nei periodi più ostili i combattimenti siano sospesi – restano a occupare posizioni particolarmente a rischio in alta quota lungo il fronte, impegnandosi nelle ardue operazioni di soccorso. Ma spesso le slavine colpiscono duramente anche paesi e vie di comunicazione a fondovalle. A marzo 1916 la situazione è drammatica, e nei giorni dall'8 al 10 solo sulla Marmolada periscono sotto le valanghe 245 uomini. Le ampie cronache contenute nella relazione *L'Esercito Italiano nella Grande Guerra* del Comando del Corpo di stato maggiore, riprese da Paolo Plini del CNR-IIA (2018), riferiscono che «nei primi mesi del 1916 la neve cadde così abbondante da fare scomparire le strade e spesso gli stessi corsi d'acqua, e da trasformare perfino la plastica del terreno, dando alla natura accidentata un aspetto uniforme. In taluni punti superava i cinque metri ed in alcuni altri essa era così alta da far emergere soltanto le cime degli alberi». Il peggio, però, si verifica tra tardo autunno e inverno 1916-17. Yuri Brugnara e colleghi dell'Università di Berna (2016), tramite i pochi dati osservativi disponibili e con l'aiuto di reanalisi modellistiche hanno ricostruito le configurazioni meteorologiche della fase valanghiva più acuta, ovvero la prima metà di dicembre 1916, quando depressioni stazionarie sull'Europa atlantica convogliano continue correnti umide da sud-ovest contro le Alpi determinando precipitazioni eccezionali, che proseguono poi anche a inizio 1917. Gli autori indicano un esorbitante totale di 1432 millimetri di pioggia e

neve fusa rilevati da una stazione meteorologica del Tarvisiano nel trimestre novembre 1916 - gennaio 1917, pari all'80 per cento della media annua. Un giorno particolarmente nefasto di quella stagione è il 13 dicembre 1916, noto come «Santa Lucia Nera»: dopo una settimana di nevicate incessanti che depositano oltre un metro e mezzo di neve fresca in alta montagna, l'arrivo di aria tiepida e il brusco rialzo del limite pioggia-neve scatenano innumerevoli valanghe il cui reale bilancio di vittime è tuttora ignoto soprattutto da parte italiana, mentre fonti austriache riportano una stima di 1300 morti in dieci giorni. Ancora una volta il gruppo della Marmolada è particolarmente colpito: circa 300 uomini restano uccisi da un'unica valanga che si abbatte sul campo austro-ungarico del Gran Poz. In alta quota il manto nevoso supera talora i 5-8 metri (come già a fine novembre sull'Adamello), ma l'innevamento è straordinario anche a valle: ai 656 metri di Cles, in val di Non, si supera di poco il metro, e con le ulteriori nevicate di gennaio 1917 si arriverà a uno spessore da primato di circa 195 centimetri; solo a metà aprile, lentamente, il suolo ne torna libero, mentre in alta montagna i soldati continuano a morire di freddo e valanghe. Ai 3111 metri dell'osservatorio del Sonnblick, negli Alti Tauri (Austria), stazione meteorologica centenaria più alta al mondo, aprile 1917, con una temperatura media mensile di -12,2 °C, è il terzo più rigido nella serie di dati avviata nel 1886. Anche in Valle d'Aosta gli accumuli nevosi dell'inverno 1916-17 sono imponenti: ben 292 centimetri di neve fresca ad Aosta, a quota 583 metri, di cui 181 nel solo dicembre 1916; addirittura 761 centimetri a Pré-St-Didier, quota 1000 metri. E le nevicate continuano anche nell'inverno successivo, tanto che a Gressoney-La-Trinité (monte Rosa, 1631 metri) il 30 dicembre 1917 cadono 198 centimetri di neve, un record mondiale per una nevicata giornaliera (Mercalli 2003).

### *L'ultimo grande inverno: 1929.*

Per durata, estensione e intensità, il periodo di gelo e nevicate del gennaio e febbraio 1929, in Italia e in Europa, è ricordato come il più importante del Novecento. A più riprese, per un paio di mesi intense irruzioni di aria artica invadono il continente scorrendo tra robusti anticlini sulla Fennoscandia e la Russia e depressioni sul Mediterraneo, interagendo con l'aria marittima più umida e temperata a determinare copiose nevicate da nord a sud, il cui

manto al suolo persiste per svariate settimane proprio a causa delle temperature ostinatamente rigide. Le temperature medie del trimestre invernale (dicembre-febbraio), inferiori di circa 3 °C alla norma di quei tempi e di oltre 5 °C rispetto ai miti inverni attuali, sono dunque le più basse dell'intervallo a partire dal 1900 nelle serie meteorologiche di Piacenza (media -2,2 °C), Modena (-0,7 °C), Venezia (0,6 °C), Roma - Collegio Romano (5,5 °C), e altrettanto lo sono le estreme minime giornaliere registrate a Venezia (-13,0 °C il 12 febbraio) e Piacenza (-21,0 °C il 16 febbraio), mentre i -14,2 °C e i -5,4 °C rilevati rispettivamente a Milano-Brera e Roma risultano secondi solo ai casi successivi del 20 dicembre 1933 e 16 febbraio 1956. Il 3 febbraio la neve imbianca il Sud e perfino le coste della Sicilia depositando 5 centimetri di manto a Palermo. Altrove le nevicate più notevoli, spesso sotto forma di bufere da bora e tramontana, si concentrano nei giorni verso metà febbraio, quando soprattutto la dorsale appenninica e i suoi versanti orientali fino ai litorali adriatici, più esposti alle gelide correnti da est-nord-est, sono sepolti da memorabili «nevoni» che nei paesi montani superano i due metri ma arrivano talora al metro anche in città costiere come Rimini, ispirando una celebre scena del film *Amarcord* di Fellini (1973). Le nevicate di metà mese sono straordinarie anche sulla Riviera dei Fiori: l'osservatorio meteo-sismico di Imperia rileva 10 centimetri di neve fresca il 12 febbraio e altri 15 il 14, causa di gravi danni agli uliveti (Podestà 2003). Congelano estesamente il Po, l'Adige, l'Arno e la laguna veneta, fenomeno relativamente comune nei freddi secoli della Piccola età glaciale e mai più avvenuto in tale entità dopo il 1929, nemmeno durante gli episodi del 1956, 1985 e 2012, intensi ma limitati a 2-3 settimane di durata. L'impatto dell'evento è estremamente severo sulla vita quotidiana, i trasporti, i commerci, in Italia come in gran parte d'Europa, soprattutto negli Stati centro-orientali: la circolazione stradale e ferroviaria è quasi ovunque paralizzata, ma il ghiaccio blocca anche la navigazione sul mar Baltico. In Italia le crude condizioni atmosferiche perturbano le celebrazioni della firma dei Patti lateranensi tra Stato e Chiesa, avvenute proprio l'11 febbraio a Roma sotto una debole pioggia che anticipa la nevicata di 5 centimetri dei giorni 13-14. «La Stampa» del 19 febbraio segnala che a Torino «molte damigiane di vino sono scoppiate nei treni merci in arrivo». Solo a metà marzo il lungo evento gelido può dirsi concluso.

### *Il disastro di Molare (Alessandria) del 13 agosto 1935.*

Uno dei piú rilevanti disastri italiani di origine meteorologica, oggi caduto in gran parte nell'oblio, avviene il 13 agosto 1935 nei dintorni di Ovada, sul versante padano dell'Appennino ligure in provincia di Alessandria. Sulla zona si abbatte quello che tuttora resta il nubifragio piú intenso di cui ci sia registrazione nel territorio nazionale, pari a 554 millimetri di pioggia in 8 ore alla centrale idroelettrica di Lavagnina, un terzo della precipitazione media annua. Pochi chilometri piú a ovest, il torrente Orba in piena eccezionale riversa al culmine dell'evento oltre duemila metri cubi d'acqua al secondo – portata considerata di ricorrenza millenaria – nel lago di Ortiglieto, sbarrato da due dighe ultimate nel 1925 dopo anni di polemiche e opposizione locale. Gli scaricatori si rivelano presto insufficienti a smaltire un deflusso fino a quel momento inimmaginabile, e il livello dell'invaso sale fino a sormontare di due metri i coronamenti di entrambe le dighe, posti alla medesima quota di 324 metri sul mare. Alle 13.15 la diga secondaria detta «di Sella Zerbino» crolla dando luogo a una colossale ondata che semina distruzione di strade, ponti, mulini e centri abitati per una cinquantina di chilometri giú fino a Molare, Ovada e oltre, verso Alessandria, causando 111 vittime, 97 delle quali nel solo comune di Ovada, nel cui borgo storico, riferiscono i testimoni, «le case si aprivano come libri». L'evento è descritto dal geologo Vittorio Bonaria (2013), e io stesso ne sentii accennare da Alessandra Arzone (1926-2024), mia docente di Entomologia agraria all'Università di Torino, scampata al disastro quando aveva 9 anni. A determinare la catastrofe concorrono diversi fattori: se l'innesto è certamente determinato da un nubifragio di portata storica, il resto lo fanno la cattiva progettazione degli sfioratori della diga principale, le irregolarità nei collaudi e la carenza di valutazioni delle mediocri caratteristiche geologico-strutturali della sella Zerbino su cui era stata incautamente realizzata la diga secondaria, che infatti (dopo che già negli anni precedenti si erano manifestate evidenti infiltrazioni d'acqua) collassa insieme a parte della stessa sella montuosa. Ciononostante una squadra di avvocati e consulenti tecnici sotto l'influenza del regime fascista (tra cui l'ingegnere idraulico Giulio De Marchi, già direttore del Servizio idrografico italiano, un maestro nelle strategie di gestione dei bacini fluviali che dal 1966 dirigerà la Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo, detta anche «Commissione De Marchi») salva progettisti e dirigenti delle Officine elettriche genovesi, cosí il

28 maggio 1938 la Regia Corte di Appello di Torino promulga la sentenza di assoluzione di tutti gli imputati, lasciando come unico responsabile un diluvio senza precedenti noti.

*1951: dalla Calabria al Polesine, un anno funestato dalle alluvioni.*

Il 1951 è un anno turbolento sotto il profilo meteo-idrologico in Italia. Anzitutto l'inverno si distingue per le nevicate eccezionali che tra gennaio e febbraio, a causa della straordinaria persistenza di correnti umide marittime, seppelliscono soprattutto le regioni nord-alpine ma anche le valli italiane al confine con Svizzera e Austria, isolando i paesi montani per settimane. Ai 1280 metri di Formazza, in alta val d'Ossola, la stagione invernale riceve – sommando tutti gli episodi – ben 879 centimetri di neve fresca da novembre 1950 a maggio 1951, e lo spessore della neve al suolo tocca un massimo di 390 centimetri il 13 febbraio, entrambi valori da record in una serie di dati cominciata nel 1933. Più a monte, nella frazione Riale (1718 metri), una tacca sulla facciata della chiesa ricorda l'altezza della neve raggiunta quell'anno, circa 5 metri. Centinaia di valanghe causano danni catastrofici e 279 vittime nell'insieme delle Alpi, 46 delle quali in Italia. Si ricordano in particolare le valanghe del 21 gennaio a Livigno e a Fundres, in val Pusteria, causa di 7 e 6 vittime rispettivamente, e quella dell'11 febbraio proprio a Formazza (frazione Canza), dove pure si contano 6 morti, mentre una bambina di sette mesi sopravvive per 22 ore tra le macerie di una casa prima di essere salvata, come ricorda la testimone locale Caterina Della Ferrera nel suo diario pubblicato nel libro *La valanga. Cronaca di un drammatico inverno, Val Formazza 1951* (Bacher 2001). Altre cronache dettagliate, provenienti da Livigno, sono contenute nella rivista «Neve e valanghe» (Silvestri 1991). Nei mesi seguenti, a più riprese si susseguono piogge alluvionali e frane con vittime e danni in diverse regioni, tra cui spicca il grave episodio che a metà ottobre determina ben 80 morti e oltre 9000 sfollati e senzatetto in Calabria, Sicilia e Sardegna. Proprio la Calabria è la regione più disastrata, e in particolare le province di Reggio e Catanzaro. Sull'Aspromonte e sulle Serre si abbattono quelle che ragionevolmente sono tra le piogge più estreme – per la durata di più giorni – mai rilevate sul territorio nazionale: da quanto riportato dal geologo Vincenzo Catenacci (1992), in tre giorni, dal 16 al 18 ottobre, ben 1495 millimetri d'acqua piovono a Santa Cristina, 1126 a San

Sostene, 1004 a Chiaravalle Centrale. È una catastrofe: le piene eccezionali di torrenti e fiumare e le frane devastano viabilità e centri abitati, in un centinaio di comuni colpiti si contano quasi 1800 case, 77 acquedotti e 26 ponti distrutti o lesionati, oltre a 70 vittime. Un altro evento particolarmente severo, con un centinaio di morti e circa 4000 sfollati e senzatetto, si verificherà in Calabria centro-meridionale il 21 ottobre 1953, a riprova della definizione che il meridionalista Giustino Fortunato (1848-1932) diede della Calabria: «Sfasciume geologico pendulo tra due mari» (Fortunato 1911). Sempre tra il 13 e il 19 ottobre 1951 anche la Sardegna orientale è devastata dalle alluvioni, in modo particolare il Nuorese, nel comune di Arzana, entroterra di Arbatax, dove il pluviometro raccoglie ben 1528 millimetri di pioggia in 96 ore. Rovinosi i danni, ma quanto meno il bilancio di vittime nell'insieme dell'isola (cinque) fu meno gravoso rispetto alla Calabria. Passano tre settimane, ed è la volta del Nord Italia. Già la terza decade di ottobre 1951 trascorre piovosa, poi, dopo una pausa, nel bacino del Po riprende a piovere ininterrottamente dal 7 al 14 novembre per effetto di correnti umide meridionali pilotate da una vasta bassa pressione stazionaria al largo del golfo di Biscaglia. Non tanto l'intensità, quanto la costanza, la durata e l'estensione delle precipitazioni abbondanti – che in otto giorni totalizzano 204 millimetri a Torino, 249 a Milano, 344 a Varese, 508 al santuario di Oropa, nel Biellese, fino a 521 millimetri a Rimagna, nell'alta valle dell'Enza (Parma) – determinano un'eccezionale onda di piena del Po, che si aggrava avvicinandosi al Delta a causa del simultaneo contributo, elemento raro e improbabile, da parte degli affluenti sia alpini sia appenninici. Allo storico idrometro di Piacenza la tacca di piena del 13 novembre 1951 è a 10,25 metri sullo zero idrometrico del fiume (Ratti 2023), corrispondenti a una portata di circa 12 800 metri cubi al secondo: a quei tempi figurava come la maggiore piena del Novecento, superando quelle già assai notevoli del 1º maggio 1917 (livello 9,00 metri) e del 18 maggio e 3 novembre 1926 (9,63 e 8,26 metri), e mezzo secolo dopo sarà di poco superata solo dall'episodio di metà ottobre 2000 (10,50 metri e circa 13 000 m<sup>3</sup>/s). Cedimenti di argini e vaste inondazioni di campagne, strade e abitati si verificano nelle golene del Parmense e del Cremonese, ma il disastro che consegnerà alla storia questo evento si verifica a poche decine di chilometri dalla foce in Adriatico, nelle terre del Polesine, tra Ferrara e Rovigo, dove peraltro il regolare deflusso della piena in mare è ostacolato dal forte scirocco e dagli elevati livelli di marea. La sera del 14 novembre l'argine

sinistro cede in tre punti nei comuni di Occhiobello e Canaro. Due terzi della portata del fiume in piena, ovvero circa 7000 m<sup>3</sup>/s, si riversano con violenza attraverso le tre rotte, e, sebbene con deflussi decrescenti, la fuoriuscita proseguirà per ben 37 giorni (fino alla prima chiusura delle brecce avvenuta il 20 dicembre grazie a lavori eseguiti in condizioni di estrema difficoltà), scaricando nelle campagne un volume d'acqua complessivo stimato fra tre e otto miliardi di metri cubi. Nelle ore e nei giorni successivi ai sedimenti arginali del 14 novembre l'inondazione del Polesine si estende su oltre 11 000 chilometri quadrati con altezze d'acqua fino a sei metri, in una drammatica catena di eventi cui contribuisce (a causa di carenze organizzative, incomprensioni tra autorità e contrasti politici e sociali) la mancata apertura di varchi negli argini della fossa Polesella che, se eseguita tempestivamente, avrebbe permesso un più rapido sfogo delle acque verso il mare. Invece queste si accumulano, superano l'argine della fossa, attraverso questa si riversano nel Canalbianco producendo ulteriori rotte che portano l'inondazione ad alluvionare Adria e a sfiorare Rovigo: sulla piazza della stazione un modesto monumento ricorda quei momenti. Il bilancio è catastrofico: 101 morti, gran parte dei quali per la sommersione di un camion carico di sfollati in fuga nella notte tra il 14 e il 15 novembre a Frassinelle Polesine, 180 000 senzatetto, quasi mille chilometri di strade, 4000 abitazioni e oltre 13 000 aziende agricole danneggiate o distrutte, danni per circa 400 miliardi di lire dell'epoca, equivalenti a circa 7 miliardi di euro di oggi. Ne consegue un esodo che porterà questa zona, in prevalenza agricola e già molto povera, in un Paese ancora lacerato a pochi anni dalla Seconda guerra mondiale, a perdere in breve tempo circa 80 000 abitanti con conseguenze che si faranno sentire per decenni. Svariate pubblicazioni descrivono il complesso contesto territoriale, politico e sociale in cui si è sviluppata la più estesa inondazione dei tempi recenti in Italia. Due tra queste: *L'alluvione. Il Polesine e l'Italia nel 1951* di Paolo Sorcinelli e Mihran Tchaprassian (2011) e *Cronache dell'alluvione. Polesine 1951* di Gian Antonio Cibotto (2001).

*Altre alluvioni meno note, dalle Langhe di Fenoglio alla Costiera amalfitana.*

Altre alluvioni severe funestano varie regioni d'Italia negli anni di metà Novecento. Ancora in piena guerra, il 2 novembre 1944, oltre all'Arno che

allaga piazza dei Mircoli a Pisa, va in piena il Tanaro in Piemonte. In verità non è un evento così memorabile, ma è stato immortalato da Beppe Fenoglio ne *I ventitre giorni della città di Alba*: «Ma verso la fine d'ottobre piove in montagna e piove in pianura, il fiume Tanaro parve rizzarsi in piedi tanto crebbe. La gente ci vide il dito di Dio, veniva in massa sugli argini nelle tregue di quel diluvio e studiava il livello delle acque consentendo col capo. Pioveva notte e giorno, le pattuglie notturne rientravano in caserma tossendo. Il fiume esagerò al punto che si smise d'aver paura della repubblica per cominciare ad averne di lui». Seppure in tempo di pace, andrà ben peggio esattamente cinquant'anni dopo, nel 1994.

Sempre tra Cuneese e Astigiano il nubifragio del 4 settembre 1948 (188 millimetri di pioggia a La Morra) e ulteriori precipitazioni intense a metà mese hanno conseguenze disastrose a causa delle piene del Tanaro e soprattutto dei suoi affluenti collinari che, tra Langhe e Monferrato, scendono verso Alba, Asti e Canelli (Talloria, Cherasca, Borbore, Belbo), risultando in una sequenza di eventi tra i peggiori del Novecento nella zona insieme al caso del novembre 1994, con 50 vittime, una decina di ponti crollati e un migliaio di famiglie senzatetto.

Pochi mesi dopo, tra fine aprile e inizio maggio 1949, appena terminata una lunga siccità invernale, piogge di durata e abbondanza eccezionale interessano le valli del Monviso (707 millimetri in otto giorni a Luserna San Giovanni, in val Pellice) e alimentano una piena del Po che – mentre a valle del Piemonte perde gradualmente importanza – ai Murazzi di Torino con un livello di 5,49 metri, pari a una portata di circa 2300 metri cubi al secondo, risulta all'epoca seconda, dal 1791, solo a quella 17 ottobre 1839 (6,20 metri); in seguito verrà superata anche da quelle del 16 ottobre 2000 (5,90 metri) e 26 novembre 2016 (5,70 metri). Vaste inondazioni sommergono soprattutto il margine sud della città, verso la foce del Sangone e Moncalieri (Di Napoli e Mercalli 2008). Ma proprio nelle ore di massima piena, nel pomeriggio-sera del 4 maggio, l'alluvione passa in secondo piano rispetto alla notizia ancor più tragica dello schianto, tra la nebbia della perturbazione, sul vicino colle di Superga, dell'aereo che trasporta la squadra del Torino di ritorno da una partita giocata a Lisbona (31 vittime).

Passando al Sud Italia, già provato dagli eventi catastrofici del 1951 e 1953 in Calabria, un altro dramma giunge a fine ottobre 1954. Stavolta tocca al Salernitano essere colpito dalla peggiore alluvione dell'ultimo secolo in Italia per numero di vittime, ben 325. Responsabile è un nubifragio di estrema

violenza che si accanisce tra la sera del 25 e le prime ore del 26 ottobre su un'area compresa tra Salerno, la Costiera amalfitana e Cava de' Tirreni, con centro di scroscio proprio sul capoluogo pari a 504 millimetri misurati in gran parte in sette ore dal pluviometro del Servizio idrografico nazionale. La furiosa precipitazione, il cui tempo di ritorno è stimato come più che millenario (Braca *et al.* 2007), dilava e denuda i versanti determinando frane e colate di fango e detriti che i piccoli torrenti Bonea a Vietri sul Mare, Rafastia, Fusandola e Canalone a Salerno prendono in carico trasportando enormi quantità di materiale fino agli sbocchi in mare, tanto da modificare perfino la geografia della costa e dei fondali antistanti. L'impeto delle piene talora è amplificato dal cedimento di temporanei sbarramenti al deflusso da parte di sedimenti e legname strappato ai pendii montuosi, e investe con severità zone abitate, strade e infrastrutture spesso costruite a spese di alvei torrentizi quasi sempre asciutti, ma necessari allo smaltimento dei deflussi durante eventi straordinari. E di questi, prima del 1954, in zona ce ne furono diversi, l'11-12 novembre 1773 con 160 vittime (Tranfaglia *et al.* 2013), il 7 ottobre 1899, il 24 ottobre 1910, il 26 marzo 1924 e, in seguito, il 26 ottobre 1966, per citare i principali.

### *Febbraio 1956: l'episodio di gelo e neve più importante dal dopoguerra.*

Dopo quella del 1929, l'altra memorabile ondata di gelo e neve del Novecento a scala nazionale si verifica nel febbraio 1956. La sua durata è più breve, poco più di tre settimane anziché due mesi, in ogni caso rimane tuttora l'episodio freddo più significativo dal secondo dopoguerra. Tutto comincia a fine gennaio con la formazione di una grande massa di aria gelida nella regione tra Russia, Finlandia e Paesi Baltici, che poi tra il 1° e il 2 febbraio raggiunge l'Italia richiamata da una depressione sul Tirreno. La bora rinforza, nevica sotto forma di tormenta sulle pianure del Nord-Est, dell'Emilia-Romagna, sulle coste adriatiche, ma si imbiancano lievemente anche la Riviera ligure di Ponente e il centro di Roma. Tornato il sereno, le temperature minime scendono intorno a -15 °C nelle zone padane più fredde. Ma l'apice dell'evento viene raggiunto verso metà febbraio a seguito di ulteriori irruzioni di venti nord-orientali. Il versante adriatico è abbondantemente innevato fino alle coste con spessori di 20-40 centimetri a Pescara, un metro e più sulle Murge, e (con il concorso di accumuli creati dal

vento) anche oltre 2-3 metri in località appenniniche di Abruzzo e Molise, come Capracotta in provincia di Isernia (1421 m), note per la loro estrema nevosità dovuta all'esposizione ai venti freddi balcanici. L'interruzione delle comunicazioni stradali e ferroviarie isola per molti giorni decine di paesi negli entroterra, non solo della Penisola, ma anche della Sardegna, lasciando gli abitanti a corto di viveri e combustibile. Il 7-8 febbraio alcuni centimetri di neve imbiancano località in cui il fenomeno è assai raro, come Cagliari, Palermo, Catania, Agrigento e perfino l'isola di Linosa, a metà distanza tra la Sicilia continentale e la Tunisia. Il giorno 9 l'osservatorio del Collegio Romano registra 10 centimetri di neve al suolo (Mangianti e Beltrano 1991), poi tra il 10 e l'11 ne cadono 35 a Torino e 46 a Modena, con temperature ampiamente sotto 0 °C anche nelle ore diurne (a Piacenza il termometro non sale mai sopra lo zero per ben 12 giorni consecutivi, dall'8 al 19 febbraio). I rasserenamenti nelle notti tra il 13 e il 16, fanno registrare in numerose località del Nord temperature che tutt'oggi sono in assoluto le più rigide del periodo successivo al gelo del gennaio 1947, se non a quello del febbraio 1929, con minime di -26,2 °C a Anzola dell'Emilia, tra Bologna e Modena (tuttora il valore più basso ufficialmente noto nella pianura dell'Emilia-Romagna), -26 °C a Lombriasco, nel Torinese, -23,4 °C all'Istituto di Risicoltura di Vercelli, -21,8 °C a Torino-Caselle, -17,3 °C al Collegio Alberoni di Piacenza, -15,6 °C a Milano-Linate, -14,6 °C a Trieste. Al Centro, costituiscono dei primati per il solo mese di febbraio i -12,6 °C di Pescara-aeroporto (stazione con dati dal 1947) e i -11,4 °C di Firenze-Peretola (dati dal 1931), mentre i -6,0 °C del Collegio Romano eguagliono il record ultrasecolare del 23 gennaio 1869. Al Sud e sulle isole già nella prima decade si erano stabiliti dei primati di freddo tuttora insuperati per febbraio (-3,2 °C a Cagliari-Elmas, la cui serie inizia nel 1932) o per qualunque mese dell'anno (0,0 °C a Pantelleria, stazione attiva dal 1951). Congelano tratti del Po, del Tanaro, dell'Arno, sebbene in modo meno esteso e duraturo rispetto al 1929. Se nelle campagne e in montagna le condizioni sono assai severe per la popolazione, in città non va molto meglio: «La Stampa» del 17 febbraio segnala che a Torino «migliaia di famiglie sono senz'acqua, senza gas e senza riscaldamento».

Dopo la metà del mese le temperature si fanno meno glaciali ma, con l'apporto di umidità marittima, si verificano nevicate. A Roma altri 8 centimetri di neve cadono tra il 17 e il 18 febbraio. Il freddo e la frequenza degli episodi nevosi di quel mese nella capitale rimarranno impressi nella

memoria collettiva, tanto che, a distanza di oltre un trentennio, li ritroviamo immortalati anche nel brano *La nevicata del '56* scritto dalla sceneggiatrice romana Carla Vistarini per Mia Martini, nel 1990. A Imperia copiose fioccate si susseguono quotidianamente dal 19 al 23 portando il totale mensile di neve fresca a 44 centimetri, valore che rende febbraio 1956 il mese più nevoso della serie di dati dal 1876 a oggi. Date le temperature rigide la pianura Padana rimane estesamente innevata per un mese intero (all'Istituto agrario Zanelli di Reggio Emilia, dal 31 gennaio al 29 febbraio), fino a che, a inizio marzo, la grande massa di aria fredda in Europa viene sostituita da correnti più tiepide che riportano le temperature diurne sopra i 10-15 °C in tutte le pianure e coste. Tuttavia un sussulto freddo notevole per la stagione si verifica ancora intorno al 10 marzo, sempre sotto venti da nord-est: nuove bufere di neve investono gli Appennini, tra l'11 e il 12 anche il centro di Roma torna a imbiancarsi (2 centimetri al Collegio Romano) e il derby Roma-Lazio allo stadio Olimpico viene rinviato. Per la capitale è una delle nevicate più tardive dell'ultimo secolo, superata solo dalla spruzzata avvenuta una settimana più avanti nel calendario il 18 marzo 1985, tra tuoni e lampi. Quello del 1956 risulta il febbraio più rigido del periodo successivo al 1900 a Torino (con temperatura media mensile di -3,0 °C), a Milano (-2,2 °C), Modena (-3,5 °C) e Roma (3,3 °C), mentre nelle serie storiche di Piacenza e Venezia primeggia il febbraio 1929. In ogni caso l'episodio di fine anni Venti lo supera ovunque per la sua maggiore durata che coinvolse anche gennaio.

### *Il disastro del Vajont.*

Sebbene di origine non direttamente meteorologica, merita un cenno il disastro del Vajont. La sera del 9 ottobre 1963 un'enorme frana da 270 milioni di metri cubi collassa dal versante settentrionale del monte Toc nel sottostante lago artificiale da poco realizzato. Si solleva un'onda pari a 50 milioni di metri cubi d'acqua che spazza via le frazioni basse di Erto, lambisce il borgo di Casso (comune di Erto e Casso); sormonta la diga, che resiste all'urto, e precipita nella stretta forra sottostante distruggendo in pochi minuti Longarone e i centri abitati immediatamente a valle. Terribile è il bilancio: 1917 vittime, quattrocento delle quali mai più ritrovate, cancellate circa novecento abitazioni, duecento aziende e stabilimenti, e alcuni chilometri della ferrovia Belluno - Calalzo di Cadore e della strada statale 51.

Le cause della catastrofe risiedono in origine nell'incompletezza delle indagini geotecniche sulla stabilità dei versanti montuosi limitrofi, che negli anni Cinquanta non erano previste in fase di realizzazione di una diga, e poi nella dolosa sottovalutazione del rischio emerso a partire dal 1959 quando, a lavori quasi ultimati, una commissione di geologi composta dall'austriaco Leopold Müller e dagli italiani Edoardo Semenza, figlio del progettista della diga, e Franco Giudici, segnala la presenza di un'antica frana preistorica incombente sul nascituro lago artificiale. Questa puntualmente si riattiva a ogni prova di invaso, tanto che una prima onda anomala da 10 metri si verifica nel novembre 1960, senza che le autorità competenti prendano la decisione di abbandonare completamente il progetto salvo temporanee operazioni di svaso e tentativi di stabilizzazione del versante, fino al drammatico epilogo. Un probabile contributo delle precipitazioni all'evoluzione della frana era stato segnalato già dalla commissione Müller, e poi variamente in studi successivi al disastro: per quanto non anomale, le piogge del mese precedente nella zona sono in effetti abbondanti: a Erto, 163 millimetri misurati in settembre, e altri 65 tra il 3 e l'8 ottobre, in prossimità dell'evento.

*4 novembre 1966: alluvione millenaria di Firenze, ma è sott'acqua anche il Nord-Est.*

Nel novembre 1966 avevo poco piú di otto mesi d'età. Mio padre da Torino fu inviato dall'azienda di macchine tipografiche per la quale lavorava a portare soccorso alle tipografie fiorentine invase dalle acque dell'Arno. Quando tornò raccontò del fango argilloso, della nafta e del creosoto che avevano avvolto ogni cosa con il loro untume e i loro miasmi, i bancali di carta infradiciati, i caratteri tipografici allora ancora in uso e le prime moderne rotative ricoperte di melma. Si spazzava, si lavava via la mota, si recuperava ciò che era possibile recuperare, si buttava in grandi montagne di rifiuti ciò che era danneggiato irrimediabilmente. Io ero troppo piccolo per capire, ma in seguito sentii piú volte narrare questi ricordi, entrati nella memoria collettiva nazionale grazie all'opera entusiasta dei giovani «angeli del fango». Meno nota ai piú, invece, la storica «acqua granda» di Venezia, tuttora – con +194 centimetri – la marea piú elevata registrata in laguna dal 1872 (inizio delle misure mareografiche), e la catastrofe che colpí le valli delle

Alpi orientali dal Trentino, al Veneto, al Friuli, nonché le pianure sottostanti fino ai litorali adriatici e al Delta del Po, dove si contarono 70 delle 106 vittime totali dell'evento. Tutto ebbe origine da un'intensa bassa pressione in movimento dall'Europa atlantica al Tirreno, che convogliava davanti a sé uno scirocco tiepido e gravido di umidità verso Alpi e Appennini. Sui suoli già saturi dopo un ottobre piovosissimo, in meno di 36 ore tra il 3 e il 4 novembre piogge furiose scaricarono da 100 a oltre 400 millimetri d'acqua su tutta la Toscana e l'Appennino tosco-emiliano (massimo di 437 millimetri a Badia Agnano, nell'alto bacino dell'Arno presso Arezzo) e su gran parte del Triveneto (qui con nuclei superiori a 400 millimetri tra le Prealpi venete e friulane, fino agli esorbitanti 751 millimetri di Barcis, in val Cellina, alle spalle di Pordenone). La colossale piena dell'Arno e degli affluenti (Sieve, Elsa, Era) non solo è la maggiore in un secolo di registrazioni di livelli e portate, ma anche in quasi un millennio di testimonianze immortalate dalle tacche di piena sui muri degli edifici fiorentini, superando di circa un metro gli eventi storici del 1333 (che comportò l'ultima distruzione del ponte Vecchio) e del 1557 descritti da Giuseppe Aiazzi (Fonti 3). Le analisi storiche riferiscono di 56 piene con allagamento più o meno rilevante dell'area urbana a partire dal 1177, di cui quella del 1966 è certamente tra le peggiori, se non la peggiore in assoluto. Senza preavviso, data la modesta affidabilità e lo scarso dettaglio che le previsioni meteorologiche avevano allora, quando peraltro ancora non esisteva un servizio organizzato di allerta e protezione civile, al mattino del 4 una massa d'acqua valutata dall'Autorità di Bacino del fiume Arno in oltre 4000 metri cubi al secondo (tra quella contenuta in alveo e quella straripata) raggiunse la città ed esondò per le vie con altezze fino a cinque metri mescolandosi al gasolio fuoriuscito dagli impianti di riscaldamento e irrompendo in abitazioni, chiese, palazzi e istituzioni storiche tra cui gli Uffizi e la Biblioteca nazionale, trascinando via 20 000 automobili e danneggiando oltre 18 000 tra esercizi commerciali e botteghe artigiane; 17 le vittime. Il danno al patrimonio culturale, simboleggiato dal Cristo di Cimabue in Santa Croce, fu inimmaginabile:

321 dipinti su tavola, 413 dipinti su tela, 11 cicli di affreschi, 39 affreschi singoli, 14 complessi di sculture, 144 sculture singole, di cui 22 in legno. [...] 55 000 volumi stipati nei 6 chilometri di scaffalature dell'Archivio di Stato, i 6000 faldoni con documenti storici sommersi all'Opera del Duomo, fra cui 55 corali miniati, i 250 000 volumi del Gabinetto Vieusseux e il prezioso patrimonio della Biblioteca del Conservatorio di musica

Cherubini, dove galleggiavano i libretti di opere liriche del Sei e Settecento, e le rarità conservate nella Biblioteca della Sinagoga ebraica, dove 14 000 volumi dal Seicento all’Ottocento e 90 rotoli di antica pergamena con l’Antico Testamento erano inondati di acqua sporca di nafta, e i 36 000 volumi custoditi nella Biblioteca dell’Accademia dei Gergofili (D’Angelis 2016).

Le dighe di Penna e Levane, a monte di Firenze, spesso accusate di aver contribuito all’alluvione a causa di manovre maldestre del personale di guardia posto di fronte a una situazione drammatica, semmai attenuarono un po’ l’impatto complessivo della piena dell’Arno a valle. Importanti inondazioni colpirono anche il Grossetano e l’Emilia-Romagna, mentre il resto dei disastri toccò al Nord-Est poche ore più tardi, tra la sera del 4 e il mattino del 5 novembre. Piene fluviali, frane e colate di fango devastarono le valli dal Trentino occidentale al Bellunese, sconvolgendo viabilità e centri abitati. Solo tra lo Zoldano, l’Agordino, il Feltrino, l’Alpago e il Cansiglio vennero lesionati o distrutti 334 ponti, oltre 4000 edifici e 60 chilometri di strade provinciali e statali. Cancellata e mai più ricostruita la frazione California di Gosaldo, ai piedi delle pale di San Martino: ne visita i resti Dino Buzzati, che sul «Corriere della Sera» del 29 dicembre 1966 descrisse il vecchio albergo come un «grottesco macabro involucro intasato a scoppiare dai detriti, fango, terra, sabbia, sassi, pietre e macigni». L’Adige a Trento toccò un livello di 6,3 metri superando di venti centimetri il precedente massimo del 17 settembre 1882, principale alluvione storica di confronto per il Nord-Est italiano. Il fiume invase la parte occidentale della città, e sarebbe andata ancor peggio se la diga di Santa Giustina non avesse ridotto la piena del tributario fiume Noce, inoltre la deviazione di parte delle acque verso il lago di Garda tramite l’apertura del tunnel scolmatore Mori-Torbole, terminato nel 1959 proprio per alleggerire le piene del secondo fiume italiano, risparmiò disastri peggiori lungo il basso corso, in primis a Verona. Più a est, gli impetuosi straripamenti del Piave, del Livenza e del Tagliamento inondarono quasi senza soluzione di continuità su un fronte di decine di chilometri – e talora per settimane – le pianure veneto-friulane fino alla costa, battuta da furiose mareggiate. Nella laguna veneta l’Adriatico in tempesta, sollevato di quasi due metri rispetto al livello consueto nonostante l’assenza del contributo di marea astronomico, travolse il cordone litoraneo del Cavallino e le isole di Sant’Erasmo e Burano, invase l’80 per cento di Venezia lasciando la città senza elettricità, telefono e gas, con enormi danni

alle attività commerciali, turistiche e al patrimonio artistico, architettonico e librario, un disastro da almeno 40 miliardi di lire dell'epoca. Protagonista non fu solo l'acqua, ma anche una tempesta di scirocco che, sempre a Venezia, sradicò alberi secolari, ma soprattutto devastò le foreste delle Alpi orientali con raffiche probabilmente prossime o superiori a 150 km/h, abbattendo nel solo Trentino - Alto Adige piante per oltre 670 000 metri cubi di legname che in parte fluí a valle insieme alle piene peggiorandone i danni. Una situazione analoga nelle stesse zone si verificò già durante la grande alluvione del settembre 1882, ma con effetti ancora piú estesi e gravi si ripeterà con la tempesta Vaia del 2018, di cui si tratterà oltre. Data la varietà e severità dei suoi impatti, corrispondenti a danni per circa mille miliardi di lire dell'epoca (10 miliardi di euro attuali), nei decenni successivi l'alluvione del 1966 è stata analizzata in decine di pubblicazioni, anche in occasione del cinquantennale nel 2016, testi a cui abbiamo attinto per allestire un compendio dell'evento (Cat Berro e Mercalli 2017).

### *L'alluvione di inizio novembre 1968 in Piemonte.*

Solo due anni dopo la storica alluvione del 4 novembre 1966 in Toscana e nel Nord-Est, un episodio molto severo colpisce l'alto Piemonte e in particolare il Biellese il 2-3 novembre 1968, confermando – come avverrà anche nel 1994 – la propensione di questo periodo dell'anno a sviluppare importanti eventi alluvionali. Alimentate da un vigoroso scirocco, piogge intense e persistenti, con totali fino a 682 millimetri nei primi tre giorni del mese a Marmo, alle spalle del lago d'Orta, determinano violente piene e dissesti con effetti piú rovinosi nelle valli dello Strona di Cossato e del Sessera, e secondariamente nell'Ossola. I numeri dell'evento sono impressionanti: 66 vittime (58 nel Biellese e 8 a Piedimulera, presso Domodossola), circa quattromila frane nella sola valle Strona, 250 case e 880 aziende danneggiate, 300 famiglie senzatetto. L'epicentro del disastro è Valle Mosso, il cui territorio la sera del 2 novembre è sfregiato da frane e colate di fango e detriti che incrementano il potere distruttivo della piena del torrente Strona, lungo il quale infatti vengono devastate decine di industrie, non solo gli storici lanifici, ma anche piccole filature, falegnamerie e officine, che d'altra parte, in piú casi, rappresentano esse stesse restringimenti d'alveo e ostacoli al deflusso moltiplicando le distruzioni. Il fiume Sesia, che drena le

acque dei monti da Biella al monte Rosa, vive la sua piena del secolo, abbatte il ponte ferroviario di Romagnano e a Vercelli scorre con deflusso di 3900 metri cubi al secondo, inondando estesamente la pianura così come i vicini torrenti Agogna e Terdoppio, nel Novarese. La testimonianza di Danilo Macchietto, dipendente del lanificio Botto Albino & figli di Valle Mosso, è eloquente: «Per me l'alluvione è esattamente contenuta in un quarto d'ora, dalle 19 alle 19.15 [del 2 novembre], quando sono cedute le pendici della Rovella e lo Strona è arrivato dentro lo stabilimento. Contro i ponti sono arrivate automobili, gru di imprese edili, tronchi d'albero, fino a che hanno ceduto, e quando hanno ceduto è stato lo sfacelo. Tra l'altro non era una pioggia come si può immaginare già autunnale, no, c'erano lampi e tuoni e per fortuna che c'erano perché ci permettevano di intravedere qualcosa di quello che stava succedendo intorno». Sebbene con esiti meno drammatici rispetto al Biellese, è colpito anche il Monferrato e in particolare la valle Belbo, dove sono alluvionati i centri di Nizza Monferrato e Canelli (Cat Berro e Mercalli 2018).

*Alcuni violenti tornado italiani e l'evento dell'11 settembre 1970 a Venezia.*

Sebbene con intensità ed estensioni di territorio coinvolto inferiori rispetto a quanto avviene negli Stati Uniti, anche in Europa e in Italia i tornado si verificano con una certa frequenza soprattutto nei mesi estivi e autunnali, quando è più probabile la formazione dei temporali severi che li generano. Secondo le statistiche di Pretemp, gruppo italiano di monitoraggio e ricerca sui fenomeni temporaleschi, ogni anno se ne contano in media una dozzina sul territorio nazionale, ma si sale a circa cinquanta considerando anche le trombe d'aria e marine cosiddette «non mesocicloniche», ovvero non derivanti da temporali a «supercella». Caratteristica comune è la presenza di una nube a imbuto, rotante a velocità talora superiori a 200 km/h, che dalla base delle nubi si protende fino alla superficie terrestre o del mare. Molte volte vengono erroneamente attribuiti al passaggio di tornado danni in realtà dovuti alle più comuni, ma spesso ugualmente rovinose, raffiche di vento discendente dai cumulonembi temporaleschi (downburst). Il caso più impressionante di raffica temporalesca erroneamente attribuita a un tornado fu quella che alle 19.30 del 23 maggio 1953 durante uno spaventoso nubifragio, abbatté 47 metri della guglia della Mole Antonelliana a Torino, alta in totale

167,5 m. Si trattò di un fronte temporalesco causato da una irruzione di aria fredda da est, dopo giornate precocemente calde. «La Domenica del Corriere» dedicò una copertina alla Mole stroncata. In Italia è particolarmente esposta ai tornado la pianura Padano-veneta, dove si generano condizioni favorevoli al loro sviluppo lungo zone di convergenza tra aria secca in discesa dall'Appennino, aria umida in risalita dall'Adriatico, e aria fredda in uscita da temporali attivi sulla fascia pedemontana delle Alpi, secondo un modello concettuale detto «del punto triplo» proposto di recente da De Martin e colleghi (2024). Altri «hot spot» dei tornado italiani sono la Puglia, la Calabria e le regioni centrali tirreniche (Avolio e Miglietta 2022). Sebbene rappresentino una minoranza rispetto al totale, in più occasioni nel corso degli ultimi due secoli si sono abbattuti tornado con effetti catastrofici. Ricordiamo i due vortici che l'8 dicembre 1851 fecero oltre 500 vittime intorno a Marsala in Sicilia occidentale, ritenuti tra i più distruttivi noti in Europa insieme a quello del 24 luglio 1930 a Volpago del Montello (Treviso), classificato al livello massimo (F5) nella scala Fujita e causa di 24 morti. Rovinoso fu anche il tornado del 16 giugno 1957 a Robecco Pavese e Vallescuropasso, centri abitati dell'Oltrepò che un testimone riferì essere ridotti a «un deserto di macerie» (6 morti). Qui ci soffermiamo però su quanto accaduto la sera dell'11 settembre 1970 in Veneto. Un tornado sviluppatosi sui colli Euganei provoca nell'arco di un'ora gravi devastazioni lungo un percorso verso est-nord-est di ben 70 chilometri attraverso la pianura fino a Venezia, toccando località quali Teolo, Selvazzano Dentro, Albignasego e Ponte San Nicolò alla periferia sud di Padova, Vigo, Camponogara, prima di entrare in laguna alle 21.30 toccando severamente le isole delle Grazie e di San Servolo, il bacino di San Marco e i cordoni lagunari del Lido e del Cavallino; a Venezia San Nicolò la massima raffica raggiunge i 115 km/h. I morti sono 36 in totale, 21 dei quali nel rovesciamento di un motoscafo in fase di attracco all'isola di Sant'Elena, e 12 nella distruzione del campeggio di Cà Savio. In seguito, almeno finora, nessun altro tornado ha più generato così tanti danni e vittime nel nostro Paese, tuttavia non si possono dimenticare i casi del 3 luglio 1995 a Cividino, nel Bresciano, quello del 7 luglio 2001 in Brianza, con gravi guasti e 92 feriti tra Vimercate, Concorezzo, Arcore, Usmate con Velate, e quello dell'8 luglio 2015 di nuovo nell'immediato entroterra veneziano, che sconvolge la riviera del Brenta (Mira, Dolo) causando danni per circa cento milioni di euro, una vittima e una novantina di feriti. Infine, il furioso temporale – non è chiaro

se con un tornado associato – che nella notte del 19 agosto 2024 affonda lo yacht Bayesian nel mare di fronte a Porticello (Palermo) facendo 7 vittime tra le 22 persone a bordo.

### *Le ricorrenti alluvioni genovesi e l'evento dell'ottobre 1970.*

La città di Genova è tra le più esposte del Mediterraneo ad alluvioni-lampo. In quasi due secoli, a partire dal 1835, il CNR-IRPI ha censito 84 eventi di inondazione e frana, responsabili fino a oggi di 86 morti e dispersi, e di più di 3000 tra sfollati e senza tetto. A rendere la città ligure estremamente vulnerabile sotto il profilo geo-idrologico è un insieme di fattori di origine naturale e antropica:

1. Quella di Genova è tra le zone mediterranee più soggette a violenti nubifragi autorigeneranti, ovvero persistenti per svariate ore sulle stesse località con intensità di precipitazione talora superiori a 100 mm/h, a causa della sua posizione sotto un arco di montagne subito a ridosso del mare, frequentemente raggiunte da intensi flussi di correnti caldumide meridionali sbarrati dai rilievi con conseguente esaltazione delle precipitazioni (sbarramento orografico). Convergenze locali tra lo scirocco dal mare e la tramontana in discesa dai passi appenninici incentivano la formazione e il mantenimento di tali strutture temporalesche. Questi nubifragi sono più frequenti tra settembre e novembre, quando perturbazioni atlantiche giungono sopra la superficie del Mediterraneo ancora calda dopo l'estate.
2. Enormi quantità d'acqua vengono convogliate in brevissimo tempo dai pendii montuosi verso una fascia costiera distante solo pochi chilometri e su cui si concentrano 600 000 abitanti, diffusamente cementificata, con i torrenti costretti oggi a scorrere in alvei ben più stretti rispetto alle loro dimensioni originarie.
3. La «tombinatura» dei corsi d'acqua sotto l'area urbana avviene attraverso sezioni evidentemente insufficienti.

L'episodio più drammatico dell'ultimo secolo, responsabile di 43 morti (di cui 8 rimasti dispersi) e un centinaio di feriti risale al 7-8 ottobre 1970. Il pluviometro di Bolzaneto, quartiere periferico di Ponente posto lungo la val

Polcevera, registra in 24 ore ben 948 millimetri di pioggia, un record nazionale tuttora insuperato, e tutti i principali corsi d'acqua straripano sommergendo interi quartieri: da ovest a est, il Leira a Voltri, il Polcevera, il Bisagno e il suo affluente Fereggiano, nonché lo Sturla, nel capoluogo. Crollano due delle cinque arcate del ponte medievale di Sant'Agata sul Bisagno, a 150 metri dall'inizio del tratto tombato del fiume presso la stazione Brignole: queste a loro volta erano solo una piccola porzione dell'opera originaria, che fino a un paio di secoli fa di arcate ne contava ben ventotto, a testimonianza della massiccia espansione urbanistica avvenuta a spese della capacità del fiume di smaltire le piene senza compromettere zone abitate (Rosso 2014). L'evento ha segnato per decenni la memoria collettiva dei genovesi, e fa da sfondo al celebre brano *Dolcenera* di Fabrizio De André. Piú di recente, altre alluvioni rovinose sono avvenute il 27 settembre 1992 (2 morti nell'esondazione dello Sturla), il 23 settembre 1993, il 4 novembre 2011 (450 millimetri di pioggia in 5 ore, 6 vittime nell'impetuoso straripamento del Fereggiano, evento preceduto il 25 ottobre da quello delle Cinque Terre, con 13 vittime) e il 9-10 ottobre 2014 (piogge fino a 550 millimetri in 24 ore, nuovamente colpiti i bacini del Bisagno-Fereggiano con un morto, Faccini *et al.* 2015). L'intensità della pioggia nella zona di Genova appare in aumento sugli intervalli di 3 e 6 ore negli ultimi decenni (Acquaotta *et al.* 2018).

### *Gelo e neve del gennaio 1985.*

Proprio negli anni in cui il clima imbocca la rampa del riscaldamento globale antropogenico, il gennaio 1985 riserva uno degli ultimi episodi di grande gelo e neve. A partire dal giorno 5 e per oltre una settimana una serie di intense irruzioni di aria fredda da nord fa scendere le temperature a valori glaciali, spesso i piú bassi dagli episodi del febbraio 1929 o del febbraio 1956, e in genere tuttora ineguagliati. I suoli innevati amplificano il raffreddamento nelle notti serene tra una perturbazione e l'altra, e le minime piombano cosí fino a -24,8 °C a San Pietro Capofiume, alle porte di Bologna, -23,0 °C all'aeroporto di Firenze e a Alfonsine (Ravenna), -19,0 °C al Collegio Alberoni di Piacenza, -14,6 °C a Udine-Rivoltto, -7,8 °C a Roma-Fiumicino, ma – specie al Settentrione e in Toscana – i termometri rimangono ampiamente sotto zero anche di giorno favorendo talora il congelamento dei corsi d'acqua. Lastre di ghiaccio scorrono lungo il Po a Torino, mentre a

Firenze l'Arno congela da una sponda all'altra. Sotto impetuose raffiche di bora anche da 100 km/h e più sulle coste adriatiche, dapprima è la Romagna a ricevere le nevicate più abbondanti in forma di vere e proprie bufere che in due riprese depositano oltre mezzo metro di neve, ma – pur senza arrivare a tanto – tutto il Centro-Nord Italia è imbiancato, Roma inclusa, dove a intervalli nevica ogni giorno dal 6 al 9 e all'osservatorio del Collegio Romano se ne accumulano 15 centimetri. Anche Napoli è sotto la neve. A metà mese il grande freddo si attenua, ma l'aria umida marittima, scorrendo sopra quella gelida ancora tenacemente presente al suolo al Nord Italia, produce una nevicata memorabile stavolta sul resto della Valpadana. Dal 13 al 16 gennaio la «nevicata del secolo» paralizza soprattutto la Lombardia: Milano riceve 70 centimetri di neve fresca, quantità di cui non risultano altre testimonianze nella serie di misure di neve avviata nel 1881 all'osservatorio di Brera (Meda, Ricciardi e Asnaghi 2005), auto e tram sono intrappolati nella coltre nevosa, crollano le coperture del velodromo Vigorelli e del Palasport di San Siro. Il 17 gennaio si misurano spessori di 92 centimetri all'aeroporto della Malpensa, 85 a Brescia Ghedi, 82 a Novara Cameri, 73 a Bergamo Orio al Serio. Anche a Genova Sestri ci sono 23 centimetri di manto il 15 gennaio. Ma è Trento il capoluogo del Nord maggiormente sommerso dalla neve, con ben 161 centimetri di neve fresca totale al convento di San Bernardino, in centro città, nei giorni di metà mese (ma, data la progressiva compattazione del manto nevoso, l'altezza massima del manto al suolo è di 84 centimetri il 16-17 gennaio), mentre a Torino la nevicata, pur abbondante, è meno straordinaria, e negli stessi giorni deposita 42 centimetri totali. Nel capoluogo subalpino saranno più copiose quelle del 29-31 gennaio 1986 (55 centimetri di neve fresca) e del 13-16 gennaio 1987 (63 centimetri), causa di crolli di coperture di edifici e paralisi della circolazione stradale, e a oggi mai più egualiate. Freddo e neve del 1985 si sono impressi nella memoria collettiva nazionale e rimangono un ricordo nostalgico ora che il riscaldamento globale ha drasticamente ridotto le incursioni siberiane sull'Italia (Greco e Palmieri 2024).

*Luglio 1987: l'alluvione in Valtellina e l'enorme frana di val Pola.*

Lungo le Alpi non mancano casi di alluvioni in piena estate, e quella del luglio 1987 in Valtellina e valli bergamasche è tra gli esempi più notevoli. A

metà mese una bassa pressione stazionaria per alcuni giorni intorno alla Gran Bretagna indirizza un ostinato flusso di aria caldo-umida da sud-ovest verso la regione alpina. Sulle Alpi centrali le piogge, che cadono anche sulle vette più elevate a 3500-4000 metri, si fanno intense e forti temporali investono a ripetizione l'alta Lombardia. In tre giorni, dal 17 al 19 luglio, i pluviometri registrano 128 millimetri d'acqua a Bormio, 210 a Sondrio, 307 a Foppolo, 363 a Madesimo e 479 al lago di Scais, sulle Alpi Orobie valtellinesi, di cui 305 in 24 ore. Proprio la Valtellina è il territorio più colpito: l'Adda inonda estesamente il fondovalle, mentre i versanti montuosi sono sconvolti da frane e colate di fango. Una di queste investe un condominio e un albergo a Tartano, in una valle laterale in sinistra orografica nei pressi di Morbegno, causando 19 delle 28 vittime totali dell'evento; gli sfollati in varie località sono oltre mille. Le interruzioni stradali e della ferrovia rendono difficili i soccorsi, e l'emergenza si prolunga ben oltre la fine delle piogge più violente. Infatti alle 7.18 del 28 luglio una colossale frana da 32 milioni di metri cubi – detta «di val Pola» – si stacca dal monte Zandila, in sponda destra della Valtellina tra Sondalo e Bormio, impatta con estrema violenza sul fondovalle e risale anche il versante opposto per alcune centinaia di metri investendo alcune frazioni tra cui Sant'Antonio Morignone; la loro evacuazione preventiva a seguito di segnali di instabilità della montagna scongiura un'ecatombe, tuttavia si contano altri 29 morti tra abitanti di località erroneamente ritenute al sicuro e non abbandonate, e operai al lavoro sulla strada statale 38. Non solo: la frana ostruisce il corso dell'Adda generando a monte un grande lago dal volume di 20 milioni di metri cubi, fonte di grande preoccupazione anche alla luce di nuove piogge. Nelle settimane e nei mesi seguenti – tra aspre polemiche e confronti politici e tecnici sul da farsi – si intraprende lo svuotamento del lago tramite impianti di pompaggio e la tracimazione controllata con lo scavo di un nuovo alveo del fiume attraverso il grande deposito di frana (evento trasmesso in diretta televisiva Rai a fine agosto 1987). La grande nicchia di distacco della frana di val Pola è tuttora visibile a chi risale la Valtellina, e il sito è costantemente monitorato con una rete di sensori geotecnici e idro-meteorologici da ARPA Lombardia (Platz e Zala 2007).

*Settembre 1993, novembre 1994 e ottobre 2000: tre grandi alluvioni al Nord-Ovest.*

Una sequenza di gravi eventi alluvionali ravvicinati colpisce il bacino del Po e in particolare il Nord-Ovest italiano in prossimità del cambio di millennio. L'episodio del 23-25 settembre 1993 è in prevalenza alpino, ma nelle fasi iniziali colpisce anche il Piemonte orientale, la Lombardia e la Liguria. Il 23 furiosi nubifragi autogeneranti investono il Ponente genovese, dove si contano due morti e tre dispersi (solo un anno prima, il 27 settembre 1992, fu il Levante della città e specie il quartiere Sturla a essere penalizzato, con due vittime); sotto piogge che nel capoluogo scaricano 351 millimetri straripano con impeto il Leira e il Cerusa a Voltri, il Branega e il Foce a Prà, il Varenna a Pegli, ma gli effetti si fanno sentire anche nelle valli Polcevera e Bisagno, nonché nelle corrispettive valli del versante padano dell'Appennino (Stura di Ovada, Scrivia), allagamenti pure nel Novarese e a Milano. Il giorno seguente, 24 settembre, i disastri si concentrano dalle montagne torinesi, al monte Rosa, al Sempione, dove piove fino a 3000 metri con apporti che in tutto l'evento, dal 22 al 25, culminano nei 614 millimetri di Piampalto, nel massiccio del Gran Paradiso. Tra le piene e i dissesti che devastano strade, ponti e centri abitati spicca il collasso della morena del Ghiacciaio meridionale del Mulinet in val Grande di Lanzo, a ridosso del confine italo-francese: il sottostante paese di Forno Alpi Graie è invaso da detriti per spessori fino a 5 metri (Mercalli e Mortara 1996) e due anziani annegano nelle acque esondate dalla Dora Baltea presso Ivrea. Ulteriori diluvi si ripetono nelle settimane seguenti, tanto che il lago Maggiore straripa toccando un massimo di 197,61 metri sul livello del mare a Verbania il 14 ottobre 1993, valore che non si era più raggiunto dall'alluvione ben più imponente del 1868 (200,42 metri); nel suo bacino imbrifero la stazione meteorologica di Camedo, nel canton Ticino, regista un totale di ben 2136 millimetri di pioggia nel bimestre settembre-ottobre (Blanchet *et al.* 1994; Luino 1994). Solo tredici mesi dopo, a inizio novembre 1994 il Piemonte è funestato da un'alluvione tra le peggiori del Novecento. Le piogge raggiungono il culmine tra il 5 e il 6, mentre l'imponente perturbazione atlantico-mediterranea fatica a spostarsi verso est, rallentata dal blocco di un anticiclone sui Balcani. In cinque giorni, ma per lo più in 48 ore, le nubi rovesciano oltre 200 millimetri d'acqua su gran parte del Nord-Ovest italiano e 400-600 tra le valli di Lanzo e il Biellese (693 millimetri presso Lanzo Torinese), da un quarto a metà della precipitazione media annua, record in quasi un secolo di misure in molte località. A soffrire le conseguenze peggiori è il bacino del Tanaro, fiume che sommerge tutti gli

abitati lungo il suo corso da Garessio, a Ceva, Alba, Asti, Alessandria, con altezze d'acqua talora di tre-quattro metri che colgono di sorpresa la popolazione in un tempo in cui le procedure di allertamento sono appena agli albori, mentre le adiacenti colline delle Langhe sono ferite da centinaia di frane e colate di fango. Il bilancio è drammatico, nell'insieme della regione si contano 70 vittime, 2200 senzatetto, 150 ponti crollati o lesionati, e oltre a migliaia di abitazioni, negozi e aziende vanno sott'acqua biblioteche e archivi storici da Canelli, a Santo Stefano Belbo, a Alessandria. La severa lezione darà impulso negli anni successivi al miglioramento della catena di previsione meteorologica, allerta e protezione civile. Nei giorni seguenti la piena del Po si propaga verso il Delta ponendosi tra le maggiori dell'ultimo secolo: a Piacenza, da quanto pubblicato sugli *Annali idrologici* del ministero dei Lavori pubblici, il 7 novembre defluiscono circa 11 000 metri cubi d'acqua al secondo, portata superata solo negli eventi del maggio 1926, novembre 1951 e, in seguito, dell'ottobre 2000 (Tropeano 1995; Mercalli, Paludi e Dutto 1995). Proprio quest'ultima si può considerare come l'alluvione complessivamente più gravosa in almeno cent'anni nel bacino padano, sebbene con un bilancio in termini di vite umane, per quanto molto grave (40 vittime in territorio italiano), inferiore agli eventi del 1951 e 1994. Al Nord Italia i dissesti riguardano un'area di 10 000 km<sup>2</sup>, con almeno 32 000 persone evacuate e danni per 11 000 miliardi di lire. La configurazione meteorologica ha come protagonista la depressione battezzata Josefina dall'Istituto di meteorologia dell'Università di Berlino collocata tra il golfo del Leone e la Corsica. In sette giorni, dall'11 al 17 ottobre 2000, piogge colossali riversano più di 300 millimetri d'acqua dal Monviso al cantone Ticino, con una punta di 864 millimetri a Rosone, in valle Orco, sul versante piemontese del Gran Paradiso, tuttora la precipitazione più elevata nota sulle Alpi occidentali su una durata di una settimana e in oltre un secolo di osservazioni, e lo scirocco tiepido confina la neve ben sopra i 3000 metri. Eccezionali piene dei corsi d'acqua e dissesti sconvolgono e isolano dal resto del mondo le valli alpine del Torinese, della Valle d'Aosta e dell'Ossola fin dal mattino del 14 ottobre. Alcune frane e colate detritiche si distinguono per l'elevato numero di morti, 7 a Pollein e 6 a Fénis, in Valle d'Aosta, e 13 a Gondo, in Svizzera appena oltre il confine lungo la strada del Sempione. L'onda di piena si propaga alle pianure entro la notte seguente. Torino è assediata dal Po e dalla Dora Riparia, che sommerge l'area della Pellerina e il quartiere Borgo Dora come non avveniva dal 1901, e 300 000 abitanti sono senz'acqua potabile. L'Orco e

la Dora Baltea interrompono le autostrade per Aosta e Milano. Mentre le prime schiarite illuminano i disastri, il 17-18 ottobre la piena del Po defluisce verso la Lombardia e l'Emilia mantenendo portate eccezionali dell'ordine di 12 000 m<sup>3</sup>/s da Pavia, a Piacenza, a Cremona, per poi laminarsi a 9600 m<sup>3</sup>/s alla stazione idrometrica di Pontelagoscuro (Ferrara) a causa della vasta fuoriuscita di acque nelle golene del basso corso, prima di approdare al Delta il 20 ottobre (Mercalli e Cat Berro 2001; Tropeano e Turconi 2001). Ma non è finita. Anche novembre 2000 si rivela tempestoso e alluvionale soprattutto al Nord-Est, in Liguria e alta Toscana, e in generale l'autunno 2000 risulta il più piovoso in svariate serie secolari o quasi, con 504 millimetri totali a Aosta (dati dal 1841), 824 a Belluno (dal 1912) e 1468 a Pontremoli, in Lunigiana (dal 1920).

### *L'alluvione del 19 giugno 1996 sulle Alpi Apuane.*

Un nubifragio stazionario colpisce le Alpi Apuane il 19 giugno 1996: rovesci da 401 millimetri a Retignano, 407 a Fornovolasco, 478 a Pomezana di Stazzema (Lucca), concentrati in poche ore, sono troppi da smaltire senza far disastri anche per i torrenti apuani abituati a drenare le piogge di montagne che, insieme alle Prealpi Giulie, sono le più piovose d'Italia con medie annue che superano i 3000 millimetri. Il loro violento straripamento travolge centri abitati, ponti, strade, interrompe la ferrovia nel tratto Pisa - La Spezia e, soprattutto, causa 14 morti (Mazzoni, Olivieri e Ratti 1998). Il centro più devastato è Cardoso, investito dal torrente Vezza. L'evento è localizzato: a pochi chilometri di distanza, Lucca e Viareggio non ricevono che 4 e 11 millimetri di precipitazione. Altre alluvioni rovinose colpirono la stessa zona il 27 settembre 1774, il 25-26 settembre 1885 e l'11 ottobre 1902. Nel 1885, riferisce un articolo su «L'Illustrazione Italiana» del 15 novembre del medesimo anno

L'imponente fumana [dei torrenti Serra e Vezza] così repentinamente formatasi, abbatté alberi, trasse seco per molti chilometri massi e blocchi di marmo pesantissimi e, travolgendolo tutto con sé, diroccò quaranta case, devastò o danneggiò gravemente trenta opifici, fra segherie, mulini e frantoi, portò via tutti i ponti [...] distrusse molti chilometri di strada: e così nel breve giro di due ore tolse il lavoro e arrecò la miseria a molte centinaia di operai.

### *5 maggio 1998, la dolorosa lezione di Sarno.*

L'evento geo-idrologico dall'esito più drammatico nell'ultimo mezzo secolo in Italia in termini di perdite umane si sviluppa nel pomeriggio-sera del 5 maggio 1998 nell'entroterra campano tra le province di Avellino, Salerno e Caserta. A seguito di un aprile già molto piovoso, un'ulteriore precipitazione di 100-150 millimetri in due giorni tra il 4 e il 5 maggio determina l'innesto di ben 227 colate rapide di fango in prevalenza lungo i pendii del pizzo d'Alvano (1133 m), a causa della saturazione e fluidificazione della coltre di materiali piroclastici depositati da antiche eruzioni del Vesuvio. Queste colate investono con violenza gli abitati di Quindici (sul versante nord della montagna), Bracigliano, Siano (sul versante est), ma soprattutto Sarno e in particolare la sua frazione Episcopio (lato sud), località in cui si contano 136 delle 160 vittime dell'episodio in Campania. Venti chilometri a nord-ovest, ai margini del massiccio del monte Partenio, è colpito anche il territorio di San Felice a Cancello (un morto). A Sarno, teatro del disastro più gravoso, i primi dissesti avvengono intorno alle ore 16 e, annunciati da sinistri boati, proseguono nelle ore seguenti in un drammatico crescendo di gravità di fronte al quale, tuttavia, le autorità locali non emettono ordinanze di evacuazione che avrebbero permesso di salvare svariate decine di persone: per questa evidente sottovalutazione del rischio, nel 2013 il sindaco in carica al momento del disastro verrà condannato a cinque anni di carcere (Bianchi e Esposito 2021). L'ondata peggiore si verifica attorno a mezzanotte, quando nuove e imponenti colate di fango sventrano ulteriormente la cittadina e si spingono a valle fino a travolgere l'ospedale causando, da sole, 86 morti. La tragedia, che oltre alle vittime determina anche cinquecento feriti e quattromila senzatetto, ha una vasta risonanza mediatica che dall'Italia si estende all'estero, e la dolorosa lezione porterà alla promulgazione della Legge Sarno (L. 267/98) contenente nuove norme per la classificazione delle zone a rischio geo-idrologico e la definizione di opportune strategie di salvaguardia e mitigazione. La naturale propensione di questi pendii montuosi a sviluppare dissesti e alluvioni era nota da secoli: nel *Sul fiume Sarno: discorso storico-idraulico* (Fonti 3), Vincenzo Degli Uberti scrive delle «continue alterazioni cui sono state e van soggette quelle terre per le alluvioni montane», territori in cui «non si vedono che aride e scarne coste di monti insufficienti a ritenere le acque. E siccome facilmente franano per fragile loro natura, perché composte da strati lapillosi e calcarei, rovinose

scendono e si spandono sui terreni». Diodato, Mazza e Amendola (2000) segnalano 68 episodi alluvionali più o meno gravi dal 1801 al 1999 a Sarno, i cui effetti negli ultimi decenni sono stati esacerbati dalla massiccia e incauta edificazione in zone storicamente a rischio che inevitabilmente ha moltiplicato la vulnerabilità di persone e beni.

## Nuovo millennio, nuovo clima: il riscaldamento globale cambia l'Italia

### *Gli anni Duemila: il secolo caldo.*

Il primo quarto del XXI secolo è ormai climaticamente patologico: la febbre del clima si evidenzia, portandosi nel 2024 a circa 1,5 °C oltre il valore preindustriale, anno più caldo a livello globale da quando esistono le misure. I record termopluviométrici incalzano anche in Italia e superano in molti casi ogni altro valore noto in millenni di storia climatica. È l'ingresso in un territorio climatico inesplorato.

### *Estate 2003: la prima vera ondata di caldo africano.*

Per il clima italiano ed europeo il 2003 è un anno di confine, di quelli che segnano un prima e un dopo. Fin da maggio su gran parte del continente si sviluppa un lungo periodo di caldo estremo, senza precedenti noti nelle più lunghe serie di misure meteorologiche strumentali con inizio nel Settecento, e con massime anomalie termiche concentrate in giugno e agosto. Cassardo *et al.* (2007) riportano che la causa più diretta dell'evento è una lunga situazione di blocco atmosferico con anticlroni subtropicali persistenti e centrati tra Francia, Germania, Svizzera e Nord Italia, zone che registrano le massime anomalie di temperatura media estiva, fino a 4-5 °C sopra la norma del trentennio di riferimento 1961-90 allora in vigore, vale a dire almeno cinque volte l'entità dell'ordinaria variabilità climatica intorno ai valori medi trentennali (deviazione standard): in sostanza, un evento estremamente raro e del tutto fuori scala rispetto alla distribuzione statistica dei dati disponibili fino a quel momento, nonché sintomo della rapida transizione verso un clima «nuovo» a seguito del riscaldamento globale. A innescare e amplificare il caldo estremo si ritiene abbia contribuito la siccità di primavera e inizio estate su vasti territori europei, responsabile della riduzione

dell'evapotraspirazione da suoli e vegetazione e del relativo raffrescamento dell'aria che il passaggio di stato da acqua liquida a vapore comporta (incremento del flusso di calore sensibile a scapito del calore latente). I precedenti record secolari di temperatura media del trimestre giugno-agosto vengono superati di oltre 2 °C, fatto che sarebbe sorprendente già nel caso di temperature di singole giornate, figurarsi per medie su tre mesi: gli osservatori di Torino-centro, Modena e Collegio Romano registrano medie stagionali di 26,7 °C, 28,0 °C e 28,2 °C, ovvero 4,4 °C, 4,9 °C e 4,1 °C sopra la norma 1961-90, battendo rispettivamente di 2,6 °C, 2,4 °C e 1,9 °C i vecchi record delle già calde estati 1994, 1998 e 1928. Il culmine della canicola viene raggiunto nella prima metà di agosto, e anche nel caso delle temperature massime giornaliere vengono stabiliti nuovi record a lungo termine in molte città, a oggi ancora insuperati: mai prima di allora erano stati misurati 38,3 °C a Milano-Brera (escludendo per palese sovrastima i 38,3 °C del 9 luglio 1902 a causa di una mancata schermatura solare del termometro), 39,0 °C a Verona-Villafranca, 39,7 °C a Torino - Ufficio Idrografico, fino al massimo padano di 42,8 °C di Isola Sant'Antonio, nell'Alessandrino, mentre in Emilia rimangono per poco imbattuti i picchi di calore di fine luglio 1983 (37,9 °C a Modena, mentre vent'anni prima si arrivò a 38,5 °C). In Svizzera, i 41,3 °C di Grono, nei Grigioni italiani a pochi chilometri da Bellinzona, rappresentano un nuovo record di caldo nazionale, e il primato tedesco viene eguagliato con 40,2 °C a Karlsruhe e Freiburg im Breisgau. L'intensità, la durata e l'estensione del caldo, unite alla marcata siccità, hanno impatti severi sui deflussi fluviali, l'agricoltura e la salute dei cittadini in gran parte d'Europa, determinando un drammatico aumento della mortalità. Le stime dei decessi imputabili alla calura sono state via via riviste al rialzo fino alle oltre 71 000 unità riportate da Robine *et al.* (2008), almeno 20 000 delle quali in Italia. L'inatteso e inedito shock sanitario negli anni successivi porterà molti Paesi europei a sviluppare nuove procedure di allerta per le ondate di caldo con particolare attenzione ai soggetti fragili ed esposti (anziani, malati, lavoratori), come il «Plan National Canicule» francese del 2017 e l'analogo «Piano Caldo» del ministero italiano della Salute. Le altre vittime dell'estate 2003 sono i ghiacciai alpini, che già da un quindicennio avevano imboccato una strada di crescente regresso, ma che in quella stagione soffrono perdite di massa all'epoca senza precedenti, equivalenti a uno spessore d'acqua medio di 1,8 metri al ghiacciaio della Sforzellina (alta Valtellina), 3 metri al Ciardoney (Gran Paradiso) e 3,3 metri al Careser (Cevedale). In circa tre mesi

la Svizzera perde il 3,5 per cento del suo volume di ghiaccio nazionale, secondo le analisi della Commissione svizzera per l'osservazione della criosfera, afferente all'Accademia di scienze naturali (SCNAT), riduzione che tuttavia verrà ulteriormente superata nel 2022 (-5,9 per cento) e 2023 (-4,4 per cento), biennio estremamente caldo e secco di cui si tratterà più avanti. Infatti l'estate 2003 ha rappresentato solo l'inizio di una netta escalation degli episodi caldi. Se per ora, considerando le statistiche del CNR-ISAC di Bologna, a scala nazionale l'anomalia termica di quella estate (+2,6 °C rispetto all'attuale trentennio di riferimento 1991-2020) resta insuperata, nove stagioni successive hanno raggiunto temperature medie che prima del 2003 non si erano mai registrate, e dopo soli 19 anni l'estate 2022 ha raggiunto livelli di anomalia comunque molto vicini (+2,1 °C). Inoltre tutte e dieci le estati più calde della serie termometrica nazionale avente inizio nel 1800 (CNR-ISAC) si sono concentrate proprio dal 2003 in poi. Nel 2017 spiccherà la straordinaria ondata di calore di inizio agosto con nuovi record assoluti di 41,0 °C a Pescara, 42,8 °C a Frosinone e 43,0 °C a Forlì, nel 2019 quella di fine giugno con inediti valori di 40 °C a quote di 700-800 metri in Valle d'Aosta, poi ancora gli incalzanti estremi del 2021, 2022 e 2023, di cui parleremo più avanti. Ricordo inoltre che tra il 1° e il 12 dicembre 2003 si tenne a Milano la COP9 (Conferenza delle Parti delle Nazioni Unite sui Cambiamenti climatici), l'unica ad aver avuto luogo in Italia. Vi presi parte come spettatore di uno dei tanti incontri di burocrazia climatica dalle decisioni lente e dagli effetti assai modesti. Oggi siamo giunti alla COP29, tenutasi a Baku nel novembre 2024, senza che vi siano stati sostanziali progressi da allora.

### *1° ottobre 2009: nubifragio alluvionale sul Messinese.*

Un violento nubifragio autorigenerante colpisce il Messinese tra pomeriggio e sera del 1° ottobre 2009, investendo il versante ionico dei monti Peloritani. A breve distanza dall'area più colpita, quella di Giampilieri (frazione di Messina) e Scaletta Zanclea, il pluviometro dell'Osservatorio regionale delle acque di Santo Stefano di Briga misura 225 millimetri di pioggia in otto ore, apporto valutato come eccezionale con tempi di ritorno ultrasecolari, e che cade su suoli già saturi per le piogge copiose di settembre. A partire dalle 19 circa, numerose colate rapide di fango e detriti (*mud-flow* e

*debris-flow*) si generano sugli acclivi versanti sovrastanti l'abitato di Giampilieri Superiore, travolgendo la parte storica del paese con depositi alluvionali spessi fino a 3-4 metri. Analoghi dissesti si verificano lungo il torrente Racinazzo, nel sottostante centro di Scaletta Zanclea Marina, in riva allo Ionio, con alluvionamenti e crollo di edifici. Tragico il bilancio: 31 vittime accertate, 6 dispersi, un migliaio di sfollati. Interrotte l'autostrada A18 Messina-Catania, la statale 114 e la ferrovia all'altezza di Giampilieri-Scaletta. La sconsiderata occupazione del territorio, come la trasformazione di alvei in strade e l'edificazione in aree di pertinenza fluviale, ha indubbiamente esacerbato gli effetti delle piogge straordinarie. Peraltra le medesime località erano già state interessate da episodi simili, benché con esiti meno drammatici, il 29 settembre 1964, il 13 ottobre 1974, il 1º novembre 1985, il 4 ottobre 1996 e il 25 ottobre 2007 (Foti 2012).

### *Gelo e neve del febbraio 2012.*

Anche in un mondo in rapido riscaldamento, benché più raramente rispetto a un tempo, possono ancora presentarsi periodi di freddo estremo. Un esempio significativo è l'ondata di gelo e neve del febbraio 2012, che in Italia come in gran parte d'Europa è la più rilevante da quella del gennaio 1985 (Acordon e Cat Berro 2017). La configurazione meteorologica è analoga a quelle del 1929, 1956, 1985: irruzioni di aria gelida scorrono da nord-est tra un potente anticiclone russo-scandinavo e depressioni mediterranee, e interagendo con aria marittima più temperata e umida producono a varie riprese copiose nevicate. L'episodio dura poco meno di tre settimane, da fine gennaio a metà febbraio, e si distingue per gli impetuosi venti di bora che a Trieste soffiano con raffiche oltre 100 km/h per 15 giorni consecutivi, fino ai 183 km/h registrati il 10 febbraio, sollevando spruzzi d'acqua marina che corazzano i moli di ghiaccio, per le nevicate di estrema abbondanza che interessano le coste adriatiche e seppelliscono con spessori nevosi di due metri le colline tra Romagna e Marche, e per le temperature glaciali nelle pianure extraurbane del Piemonte. Tra il 6 e il 7 febbraio infatti si toccano minime di -24,4 °C a Romano Canavese e -23,9 °C a Candiolo (Torino), e -23,8 °C a Villanova Solare (Cuneo), valori che ragionevolmente in queste zone non venivano raggiunti dal 1956. Altrove nella prima metà del mese si misurano minime fino a -15,4 °C al Collegio Alberoni di Piacenza, -13,0 °C a

Belluno, -9,4 °C a Pesaro, -5,3 °C all'osservatorio dell'Università di Genova e nell'agro di Foggia, -2,5 °C all'aeroporto di Napoli; solo le coste dell'estremo Sud restano esenti dalle gelate (minima di 3,0 °C all'osservatorio di Palermo). Congelano alcuni tratti della laguna e dei canali di Venezia. La neve al suolo raggiunge spessori massimi di 61 centimetri a Frosinone, 68 a Cervia, 127 a Campobasso e ben 202 a Urbino, dove – sotto il prolungato sbarramento dei venti balcanici caricatisi di umidità sopra l'Adriatico – l'osservatorio Serpieri registra un sorprendente totale mensile di 327 centimetri di neve fresca, primato nella serie nivometrica secolare avviata nel 1900 che supera i già notevolissimi 198 centimetri totalizzati nel gennaio 1940 e i 210 del febbraio 1901. Sulle colline tra Romagna, Repubblica di San Marino e Marche la viabilità è paralizzata e si lavora per alleggerire i tetti dal soverchio carico, soccorrere ed evadere le comunità isolate, riparare le linee elettriche interrotte. Nevica in abbondanza anche a Roma: al Collegio Romano 18 centimetri di neve fresca cadono il 3-4 febbraio, e altri 3 il 10-11, quantità che non si erano più viste dalla memorabile fioccata del 10-11 febbraio 1986 (23 centimetri). Gelo e neve allentano la morsa nella terza decade del mese, quando un anticiclone nord-africano porta teppori precoci che fondono rapidamente il manto nevoso anche nelle zone più colpite dai «nevoni»: a Urbino i due metri presenti il 12 febbraio si esauriscono completamente in due settimane, entro il 26! Considerando un periodo di 15 giorni consecutivi, il freddo del 2012 appare insolito nei decenni recenti di riscaldamento atmosferico, trovando come unico paragone (ancora più rigido) il caso del 1985 al Nord Italia, tuttavia prima degli anni Settanta del Novecento la frequenza di eventi anche più intensi di questo era decisamente superiore: a Torino se ne sono contati sedici tra il 1901 e il 1963, in media uno ogni quattro anni.

*18 gennaio 2017, la grande valanga sull'hotel Rigopiano (Gran Sasso).*

Anche gennaio 2017 è insolitamente freddo, pur nel contesto dei decenni recenti di accelerato riscaldamento atmosferico. Secondo il CNR-ISAC la temperatura media mensile a scala nazionale è 1,7 °C sotto la norma del trentennio 1981-2010, il gelo danneggia gli agrumeti in Puglia, e i venti balcanici producono intense nevicate sugli Appennini mettendo in difficoltà le popolazioni colpite dai terremoti di agosto e ottobre 2016 tra Lazio,

Abruzzo, Umbria e Marche. L'evento che rende memorabile questo periodo è la grande valanga che verso le ore 17 del 18 gennaio, dopo una caduta di due metri di neve fresca in 72 ore, si stacca dal monte Siella, nel gruppo del Gran Sasso, e investe l'hotel Rigopiano, a quota 1118 metri nel comune di Farindola (Pescara), con una massa di neve e detriti di circa centomila metri cubi. La struttura ospita quaranta persone ed è isolata, non essendo ancora stata liberata la strada di accesso sommersa dalla nevicata: i soccorritori arriveranno con gli sci solo alle 4 del mattino successivo, e con mezzi motorizzati solamente a mezzogiorno, complici ritardi per le difficoltà di comunicazione, fraintendimenti e sottovalutazioni dell'allarme tra le autorità. Le ricerche proseguono febbrilmente per giorni in condizioni ostili, e il bilancio finale sarà di 29 vittime e 11 feriti, facendone l'evento valanghivo dall'impatto peggiore in Europa da quelli del febbraio 1999 a Galtür, sulle Alpi austriache (Rohr 2009). La slavina è di dimensioni eccezionali, ma testimonianze storiche e segni sul territorio avrebbero indicato evidenze di eventi precedenti (Acordon 2021). La Cassazione il 3 dicembre 2024 ha disposto un nuovo processo per i sei dirigenti della Protezione civile della Regione Abruzzo, per il sindaco di Farindola, per un tecnico comunale e due dirigenti della Provincia. Confermata invece la condanna per l'ex prefetto Francesco Provolo a un anno e 8 mesi per omissione di atti d'ufficio e di falso ideologico in atto pubblico.

### *29 ottobre 2018: la tempesta Vaia spazza l'Italia.*

Di tutte le tempeste che hanno attraversato l'Italia negli ultimi anni, Vaia – così battezzata dall'Università di Berlino – è quella che più è rimasta scolpita nella memoria collettiva, essendo stata tra le più distruttive. Approfonditasi con sorprendente rapidità fino a 975 ettopascal sui mari intorno alla Sardegna al mattino del 29 ottobre 2018 (ciclogenesi «esplosiva», con un calo di pressione atmosferica di ben 25 ettopascal in 18 ore, oltre la soglia di -24 hPa / 24 ore), spazza tutto il Paese con fenomeni rovinosi e un bilancio di 16 vittime, gran parte delle quali per la caduta di alberi. Il vento è infatti l'elemento più eccezionale, con gravi danni per raffiche di scirocco spesso sopra i 100 km/h e perfino 200 km/h durante il violentissimo rinforzo serale che devasta 38 000 ettari di foreste sulle Alpi centro-orientali, soprattutto intorno alle Dolomiti, alle pale di San Martino e in Carnia.

Piogge torrenziali, già cominciate il 27 ottobre e proseguite fino al 30, in quattro giorni scaricano fin oltre 500 millimetri d'acqua sull'alto Piemonte e più estesamente sui rilievi del Nord-Est (817 millimetri a Malga Chiampuz, Dolomiti friulane). Le precipitazioni sono più copiose di quanto osservato in precedenti episodi storici dalle analoghe dinamiche meteorologiche: in Trentino, media provinciale di 274 millimetri in tre giorni, superiore ai 233 millimetri del 15-17 settembre 1882 e ai 185 del 4-6 novembre 1966; tuttavia piene e dissesti geo-idrologici, pur gravi nelle valli alpine orientali e nelle sottostanti pianure delle Venezie (bacini dell'Adige, Brenta, Piave e Tagliamento), in generale non raggiungono i livelli del 1966, quando si arrivava da un mese già molto piovoso, inoltre stavolta la Toscana viene risparmiata dalle inondazioni. Al contrario, i danni inferti dal vento alle foreste dolomitiche paiono senza precedenti, rappresentando il più rilevante evento di disturbo storicamente subito dal patrimonio boschivo italiano. Inoltre, onde da dieci metri e potenti mareggiate – superiori a quelle già rovinose del 6 novembre 2000 e 30 ottobre 2008 – percuotono le coste liguri devastando strade e ferrovie litoranee, strutture turistiche, porti e imbarcazioni, specie a Rapallo e Portofino. Il resto lo fa una notevole acqua alta a Venezia, che sale a 156 centimetri sullo zero mareografico di punta della Salute, valore che – prima degli eventi ancora più elevati dell'autunno 2019 – è quarto in classifica tra i più rilevanti dall'inizio delle misure nel 1872, dopo quelli del 4 novembre 1966 (194 centimetri), 22 dicembre 1979 (166) e 1º febbraio 1986 (158). La conta dei danni di Vaia è salatissima, 3 miliardi di euro a livello nazionale, e le conseguenze si sentono tuttora: nell'enorme massa di legname abbattuto sulle Alpi orientali (16,5 milioni di metri cubi) divampa un'infestazione di bostrico (*Ips typographus*), coleottero fitofago che si estende negli anni successivi anche alle foreste rimaste in piedi, portandole a deperimento e facendo, nel tempo, più danni della tempesta stessa (Cat Berro, Acordon e Castellano 2022; Cavaleri, Davolio e Magnusson 2022).

*L'acqua alta minaccia Venezia e l'alto Adriatico: i casi del 2019 e la crescita del livello marino.*

Il novembre 2019, sciroccale e piovosissimo, si distingue per una straordinaria frequenza di episodi di acqua alta a Venezia, e in particolare la sera del 12 novembre la città viene sommersa da una delle peggiori maree mai

registerate (Cat Berro 2023). Il forzante astronomico si combina sfavorevolmente con quelli meteorologici (forte vento e passaggio di una profonda bassa pressione) nel determinare un picco di 187 centimetri sullo zero di punta della Salute, secondo nella serie mareografica veneziana iniziata nel 1872 dopo la disastrosa «aqua granda» di 194 centimetri del 4 novembre 1966. Oltre a due vittime nell'isola di Pellestrina, la mareggiata e l'inondazione costiera causano gravi danni al patrimonio edilizio, colpendo anche le zone da Rimini, a Chioggia, a Trieste. L'acqua alta è un fenomeno normale per Venezia, tuttavia la sua frequenza sta rapidamente aumentando, mettendo a rischio la vita quotidiana. Analizzando le statistiche del Centro previsioni e segnalazioni maree del Comune di Venezia si nota che i casi con livello di almeno 110 centimetri, che determinano l'allagamento del 12 per cento (o più) della città, sono passati da 2-8 episodi al decennio tra fine Ottocento e la prima metà del Novecento, a oltre 50 al decennio negli anni Duemila. In particolare, il decennio 2010-19 ne ha contati ben 95, di cui 26 proprio nel 2019, record annuale. L'infittirsi degli eventi di acqua alta procede parallelamente all'aumento del livello marino medio rispetto alla città, determinato dalla somma di due fattori: l'incremento delle acque marine dovuto ai cambiamenti climatici (eustatismo), tramite la fusione dei ghiacciai e la dilatazione termica dell'acqua divenuta più calda di circa 1 °C nell'ultimo secolo nell'alto Adriatico (Raicich e Colucci 2019); la subsidenza (abbassamento) del suolo lagunare per cause naturali (lenta compattazione di sedimenti) e antropiche (forte prelievo di acqua dalle falde per scopi industriali nella zona di Marghera, culminato negli anni Cinquanta-Sessanta del Novecento). Secondo le misure mareografiche, oggi coordinate da Ispra - Area Maree e Laguna, dal 1900 a Venezia il mare ha guadagnato circa 35 centimetri in altezza rispetto al suolo cittadino, aumento attribuibile per circa il 60 per cento alla subsidenza e per il rimanente 40 circa al contributo climatico. Seppure attenuata rispetto ai decenni centrali del Novecento, la subsidenza del suolo è tuttora un fattore importante, quantificato con misure GPS in 3,3 mm/anno nella zona di Venezia (Vecchio *et al.* 2019). A ciò va aggiunto un incremento eustatico (cause climatiche) dell'ordine di 4,5 mm/anno nell'alto Adriatico nell'ultimo trentennio (ARPA Friuli - Venezia Giulia 2018). Dunque se oggi dovesse ripetersi l'eccezionale concorso di fattori meteorologici del 4 novembre 1966, quando invece il contributo astronomico fu marginale, si avrebbe una marea superiore a 2 metri, con effetti ancora più drammatici. Scenari che potranno avverarsi nel corso di

questo secolo con l'inesorabile aumento dei livelli oceanici dovuto al riscaldamento globale, che con l'applicazione delle attuali politiche climatiche potrebbe raggiungere – se non superare – il metro entro il 2100 (Iccì 2022; Antonioli *et al.* 2017; Marsico *et al.* 2017). Il patrimonio storico, artistico e architettonico del nostro Paese è particolarmente esposto: nel 2018 ha fatto notizia lo studio di Lena Riemann dell'Università di Kiel e collaboratori, sui rischi di inondazione costiera dei 49 siti Unesco posti sulle rive del Mediterraneo. Nell'elenco dei 15 italiani, i più vulnerabili sono Ravenna con i suoi monumenti paleocristiani, Ferrara e il delta del Po, Venezia e la sua laguna, la basilica patriarcale di Aquileia con la sua suggestiva area archeologica. Se a Venezia contro le acque alte c'è ora il temporaneo aiuto delle dighe mobili del Mose, ad Aquileia è impressionante rendersi conto che già oggi il terreno e i monumenti sono tenuti all'asciutto da un'imponente opera idraulica di bonifica, con pompe costantemente in funzione. Il 9 dicembre 2020, dopo piogge prolungate che apportarono 232 millimetri a Cervignano, di cui 104 l'8, nonostante le idrovore al massimo, l'acqua di falda sommerse una parte dei preziosi mosaici. I consorzi di bonifica garantiscono già oggi la salvezza di migliaia di chilometri quadrati di territorio tra Grado e Rimini, a fronte di grandi costi di manutenzione e di energia elettrica. E se per qualsiasi motivo la loro attività dovesse interrompersi? Quale futuro avrebbero queste terre con un Adriatico più alto? Verso il 2100, maree come quella del 12 novembre 2019 a Venezia potranno verificarsi decine di volte all'anno fino a divenire la normalità (il nuovo livello marino medio), inondando pressoché in permanenza zone oggi abitate da centinaia di migliaia di persone lungo l'alto Adriatico (Ferrarin 2022). Il Mose, testato operativamente il 3 ottobre 2020 con la tempesta Alex e in seguito azionato per maree superiori a 130 centimetri, permette di limitare l'inondazione della città lagunare, ma non protegge i restanti litorali dell'alto Adriatico, e la sua efficacia resta dubbia di fronte alla necessità di sollevamento delle paratie pressoché quotidiana che si avrà, anche in assenza di maree di tempesta, dalla seconda metà del XXI secolo.

*11 agosto 2021: 48,8 °C a Siracusa, record italiano ed europeo.*

Tra le ondate di caldo nord-africano che si susseguono sempre più intense, frequenti e durature, spicca quella che l'11 agosto 2021 fa registrare

ben 48,8 °C a Siracusa-Floridia, stazione del Servizio informativo agrometeorologico siciliano a quota 90 metri e a circa 10 chilometri dalla costa ionica. Fin da subito lo straordinario valore, 15 °C sopra media, appare come un potenziale primato di caldo non solo italiano, ma europeo, superando i 48,0 °C del 10 luglio 1977 ad Atene. Come è prassi ormai da alcuni anni in caso di misure di variabili meteorologiche potenzialmente record, l'Organizzazione meteorologica mondiale (World Meteorological Organization, WMO) avvia un processo di validazione. A occuparsi dei test sul sensore termometrico di Siracusa è l'Istituto nazionale di ricerca metrologica (INRIM) nei suoi laboratori di Torino, tramite procedure internazionalmente consolidate anche in occasione di altri casi (validazione dei record asiatici di caldo di 53,9 °C e 53,7 °C registrati in Kuwait e Pakistan il 21 luglio 2016 e il 28 maggio 2017). L'analisi stabilisce che la stazione di Siracusa ha fornito dati accurati, inoltre la commissione per gli estremi WMO valuta positivamente le caratteristiche d'insieme della stazione, la sua manutenzione e sua collocazione, validando i 48,8 °C come nuovo record di caldo continentale (Merlone *et al.* 2024).

### *Combinazione senza precedenti di caldo e siccità nel 2022-23.*

Il 2022 è entrato nella storia del clima italiano come l'anno più caldo e secco della serie climatica nazionale aggiornata dal CNR-ISAC dal 1800 (il 2022 sarà peraltro superato dal 2024 secondo i dati satellitari Copernicus). Nel 2022 anticloni subtropicali in continua rigenerazione sul Centro-Sud europeo delineano una situazione di blocco atmosferico straordinaria per intensità, durata ed estensione. La carenza di precipitazioni inizia a dicembre 2021 e si protrae fino ad aprile 2023 con pesanti ripercussioni sulle portate fluviali (il deflusso del Po a fine luglio 2022 tocca un minimo storico di circa 100 m<sup>3</sup>/s a Ferrara invece dei 1100 normali), sulla salute delle foreste, l'agricoltura e la produzione idroelettrica. Gli effetti della siccità sono esacerbati dalla maggiore evaporazione dovuta al caldo eccezionale: l'estate 2022, esordita precocemente a metà maggio, è infatti molto lunga e canicolare (anomalia media nazionale +2,1 °C rispetto al trentennio 1991-2020), confrontabile solo con quella del 2003 (+2,6 °C), e le perdite di massa glaciale sono le peggiori mai documentate sulle Alpi, con bilanci di massa fino a -4 metri di acqua equivalente a quota 3000 metri per l'effetto

combinato delle misere nevicate dell'inverno 2021-22 e della fusione estiva senza precedenti, che sarà pure causa del collasso di un settore frontale del ghiacciaio della Marmolada il 3 luglio 2022, responsabile della morte di 11 alpinisti. Solo marzo e aprile 2022 sono un po' più freschi del consueto. Numerosi sono i nuovi record mensili di temperatura massima giornaliera, a giugno punte di 38,0 °C a Napoli, 40,4 °C ad Alghero, 41,0 °C a Firenze, a luglio 37,5 °C a Genova-Sestri, 40,0 °C a Grosseto, 40,2 °C a Treviso-Istrana, ma è soprattutto la lunga durata del caldo a essere sorprendente: all'osservatorio di Rovereto si superano i 30 °C per 45 giorni consecutivi dal 23 giugno al 6 agosto, mai accaduto prima nella serie di dati dal 1882. Rousi e colleghi (2022) indica che le grandi ondate di caldo in Europa sono aumentate tre-quattro volte più rapidamente che nelle altre zone temperate boreali nell'ultimo quarantennio. Tutti gli osservatori meteorologici del Nord Italia stabiliscono nuovi record di temperatura media annua, superando di gran lunga i primati precedenti, anche di 0,5-1 °C, tanto che città padane come Torino e Milano registrano valori (rispettivamente 16,0 °C e 17,0 °C) simili a quelli che sarebbero normali in località come Roma e Napoli. A scala italiana l'anomalia annua delle temperature è di +1,15 °C rispetto al 1991-2020, e supera di 0,4 °C il record precedente del 2018. Il Nord-Ovest è la zona più penalizzata dalla siccità: Torino misura nel corso del 2022 appena 310 millimetri di pioggia e neve fusa, minimo assoluto nella serie dal 1802, pari a un terzo della norma (35 per cento), tanto che nei parchi urbani ingialliti in piena estate un migliaio di alberi deperisce, mentre la situazione è meno anomala lungo l'Adriatico. Tuttavia l'eccezionale magra del Po, che il 24 luglio 2022 a Pontelagoscuro raggiunge per la prima volta i 104 m<sup>3</sup>/s, fa emergere resti di ponti medievali e residuati della Seconda guerra mondiale, ispirando il romanzo *Gli uomini pesce* di Wu Ming 1. Pur nel quadro di un anno estremamente secco non mancano precipitazioni estreme e localizzate, come i nubifragi alluvionali del 15 settembre nell'entroterra di Senigallia (Ancona) e del 26 novembre a Ischia, entrambi con un bilancio di 12 vittime. Anche il successivo inverno 2022-23 è molto asciutto, e secondo la Fondazione Cima ad aprile 2023, prima del ritorno di precipitazioni abbondanti a fine primavera, il volume di acqua immagazzinato sotto forma di neve è fin più scarso che nel medesimo periodo del 2022, con deficit rispetto al normale di -67 per cento sulle Alpi e -64 per cento nell'insieme del Paese. La scarsità di neve lungo l'arco alpino italiano nei primi anni Duemila è inedita in almeno un novantennio di osservazioni (Colombo

*et al.* 2023), e costituisce un esempio di quanto con maggiore frequenza potrà verificarsi nel corso del XXI secolo alla luce degli scenari di ulteriore aumento di temperatura e riduzione dell’innevamento medio, richiedendo urgenti azioni di adattamento nell’economia montana oggi dominata dagli sport invernali. A guidare la riduzione della nevosità a lungo termine è soprattutto l’aumento delle temperature, che innalza la quota delle nevicate trasformandole sempre più spesso in pioggia sotto i 1000-1500 metri, e accelera la fusione del manto nevoso in primavera, mentre le precipitazioni invernali a scala secolare sulle Alpi sono quasi invariate, semmai in lieve aumento. Secondo Matiu *et al.* (2021) l’85 per cento delle località alpine – italiane ed estere – ha mostrato riduzioni complessive dell’innevamento nel periodo 1971-2019, più evidenti in primavera, sotto i 2000 metri e al Sud delle Alpi, dove la stagione con suolo coperto di neve si è accorciata in media di 34 giorni tra 1000 e 2000 metri, ovvero oltre un mese (all’anno) di suolo innevato in meno. Tramite l’analisi degli anelli di accrescimento dei ginepri, arbusti longevi d’alta montagna, Carrer *et al.* (2023) hanno inquadrato in prospettiva plurisecolare il recente declino della durata di innevamento sulle Alpi centrali, trovando che dal 1400 questa non è mai stata così breve come nel primo ventennio del XXI secolo. Infine, l’analisi di 46 serie nivometriche secolari raccolte lungo tutto l’arco alpino e le pianure adiacenti ha rivelato che la quantità annua di neve fresca è calata complessivamente di un terzo (-34 per cento) nel periodo 1920-2020, perfino dimezzandosi (-49 per cento) su gran parte del Nord Italia (Bozzoli *et al.* 2024). A Torino la lunga serie di misure di neve mostra che nel periodo 1787-1989 cadevano in media ogni inverno 50 centimetri mentre nel periodo 1990-2024 l’accumulo annuo crolla a 16 centimetri, una drammatica perdita del 68 per cento.

### *Le quattro alluvioni del 2023-24 in Emilia-Romagna e l'estremizzazione delle piogge.*

Come dimostrato da queste fitte cronache, l’Italia soffre di una storica esposizione al dissesto per cause sia naturali sia antropiche (Rosso 2017). L’IRPI si occupa della catalogazione degli eventi affinché su questi si possa valutare la vulnerabilità dei territori. La sua banca dati <https://polaris.irpi.cnr.it> raccoglie informazioni su 3921 frane e 3011 alluvioni avvenute tra il 68 d. C. e il 2015, responsabili rispettivamente di 17 643 e 38

737 morti (Guzzetti 2015). Tra le alluvioni piú recenti, spiccano quelle rovinose in Emilia-Romagna. La storica siccità centrata nel 2022 termina bruscamente a fine aprile 2023, e soprattutto la Romagna è colpita da due gravi inondazioni ravvicinate il 2-3 e 16-17 maggio. Nel primo episodio sui rilievi appenninici tra le province di Modena, Bologna, Ravenna e Forlí-Cesena, per effetto dello sbarramento orografico di venti umidi da est-nord-est, cadono diffusamente 150-250 millimetri d'acqua in circa 36 ore, e secondo l'Agenzia regionale per la prevenzione e l'ambiente (ARPAE) in 62 anni di misure non era mai piovuto tanto in due giorni in primavera a scala regionale. Si verificano centinaia di frane con danni a strade ed edifici in Appennino, mentre in pianura le piene fluviali causano rotte di argini lungo il Sillaro, il Senio e il Lamone, inondando Faenza, Bagnacavallo e dintorni, si contano circa cinquecento evacuati e due vittime. Il secondo episodio, a sole due settimane di distanza, interessa con modalità analoghe le stesse zone ma con effetti ancora piú gravosi. Altri 100-250 millimetri di pioggia si riversano tra la pedemontana e l'Appennino dall'Emilia orientale al Montefeltro, su un territorio fragile e con suoli saturi dopo la prima alluvione di inizio mese. Si sviluppa una nuova piena repentina ed eccezionale dei corsi d'acqua, con sormonti e rotture di argini lungo pressoché tutti i fiumi da Bologna a Rimini. In particolare il Lamone e il Savio inondano gravemente Faenza e Cesena, ma le zone sommerse sono vaste in tutti i territori della Bassa bolognese, del Ravennate e del Cesenate, con pesante coinvolgimento di zone abitate, strade, autostrada A14 e ferrovie. Oltre 80 000 frane sconvolgono i versanti collinari e montani tra le province di Reggio Emilia e Rimini coinvolgendo piú di 3000 edifici e 300 chilometri di viabilità. Ma soprattutto ci sono 17 vittime, decine di migliaia gli evacuati, e 10 miliardi di euro di danni, e il bilancio sarebbe stato ancora piú grave se entrambi gli eventi non fossero stati correttamente anticipati da un'allerta rossa della Protezione civile. Il pluviometro ARPAE di Casola Valsenio (Ravenna) registra 536 millimetri di pioggia dal 1º al 18 maggio 2023, pari al 58 per cento della precipitazione media annua. Solo nel maggio 1939 si verificò una situazione paragonabile con due alluvioni gravi a pochi giorni di distanza, tuttavia all'epoca le precipitazioni, per quanto straordinarie (totali mensili oltre 400-500 millimetri sull'Appennino romagnolo), furono meno intense e concentrate. La bonifica e la ricostruzione nei territori sinistrati durano piú di un anno, e nessuno immaginava che una terza alluvione si sarebbe sviluppata dopo appena sedici mesi, il 18-19 settembre 2024, innescata dalla

depressione Boris con piogge ancora piú estreme e concentrate, fino a 355 millimetri in sessanta ore a San Cassiano sul Lamone, sempre in provincia di Ravenna. Ecco nuove frane sui rilievi, grandi piene e rotture di argini lungo i fiumi Idice, Quaderna, Senio, Lamone e Montone; l'estensione territoriale colpita è inferiore al 2023 ma ci sono comunque 2500 evacuati per inondazioni di centri abitati specie nel Bolognese e intorno a Faenza, Lugo e Forlí, e Traversara di Bagnacavallo è devastata dalla rotta del Lamone, ma quanto meno stavolta non ci sono vittime. Però la surreale sequenza alluvionale non è finita: passa appena un mese e il 19-20 ottobre 2024 il torrente Ravone esonda allagando le strade di Bologna: dopo giorni di pioggia che avevano saturato i suoli, uno scroscio di 140 millimetri in meno di 24 ore – la pioggia piú intensa sulla città almeno dal 1951 – manda in crisi tutto il reticolo idrografico dei colli bolognesi, travolgendone anche un ragazzo in un'autostrada nel comune di Pianoro. Inondazioni anche presso Reggio Emilia per la rottura dell'argine del torrente Crostolo. Gli eventi alluvionali recenti in Emilia-Romagna, e non solo quelli, sono il risultato di complesse interazioni tra cause naturali e antropiche: precipitazioni eccezionali, ai massimi noti in un secolo; elevata pericolosità idraulica di territori un tempo palustri e poi resi abitabili e coltivabili da bonifiche susseguitesi nei secoli, ma pur sempre esposti a inondazioni improvvise in occasione di piene straordinarie con rotture o sormonti degli argini di corsi d'acqua con alveo pensile (sopraelevato rispetto al piano campagna); amplificazione dei danni alluvionali a causa della forte urbanizzazione intervenuta dal secondo dopoguerra. La cura del territorio montano (gestione sostenibile di boschi, coltivazioni, muretti a secco) è necessaria e importante per molte ragioni – economiche, culturali, paesaggistiche, oltre che per ridurre il trasporto di legname a valle che durante le piene può ostacolare il deflusso e peggiorare i danni – ma non basta a scongiurare disastri geo-idrologici a seguito di piogge cosí intense e concentrate. Inoltre, azioni puntualmente invocate come salvifiche dai non addetti ai lavori, quali la rimozione della vegetazione dalle rive dei fiumi, il «dragaggio» di sabbia e ghiaia dagli alvei, la pulizia dei boschi, sono in realtà dannose poiché compromettono la stabilità delle sponde non piú trattenute dalle radici delle piante, alterano il profilo idrodinamico dei corsi d'acqua innescando pericolosi processi erosivi a monte che fanno crollare i pilastri dei ponti, e aumentano la velocità di scorrimento delle acque, rallentate invece dalla intricata vegetazione del sottobosco. Insomma, problemi complessi di fronte ai quali non ci sono soluzioni semplici come

spesso invoca la piazza: non basta pulire il tombino dalle foglie secche per evitare esondazioni da milioni di metri cubi d'acqua fangosa, e non è vero che i vecchi avevano sempre ragione e sapevano dove costruire, quello che vediamo oggi è soltanto ciò che è sopravvissuto alle alluvioni del passato, che hanno spazzato via interi paesi! Al contrario, l'attuale conoscenza tecnica di ingegneri idraulici, idrologi, geomorfologi fluviali, meteorologi e climatologi permetterebbe di mettere in atto una grandiosa e articolata opera di gestione dei bacini idrografici volta all'adeguamento delle infrastrutture alle precipitazioni divenute più estreme. La regola principe è costruire di meno e lasciare ai fiumi maggiori spazi per l'esondazione in zone a bassa vulnerabilità (casse di espansione, bacini di laminazione delle piene, aree agricole); talora bisognerebbe anche avere il coraggio di abbattere e rilocalizzare edifici da zone a rischio eccessivo ad aree più sicure. Tutto ciò era già stato proposto a fine anni Sessanta dalla Commissione De Marchi, una strategia di contenimento urbanistico che è stata però ignorata, oggi resa più difficile in un territorio ormai capillarmente antropizzato e artificializzato come quello italiano. Le conoscenze ci sono – come le dettagliate cartografie ISPRA sulla pericolosità idraulica e da frane a scala comunale – i soldi andrebbero trovati con la consapevolezza che la prevenzione ne farebbe risparmiare molti di più in termini di danni evitati in futuro, mancano però una reale volontà politica e la cultura diffusa del territorio che servono per impostare tali lungimiranti provvedimenti. A peggiorare le cose ci sono dunque i recenti cambiamenti climatici antropogenici, a causa dei quali precipitazioni straordinarie che già accadevano in passato (e quante ne abbiamo viste nelle scorse pagine!) diventano più probabili, frequenti e intense attraverso una più marcata evaporazione dai mari divenuti più caldi e una maggiore capacità dell'aria calda di contenere vapore acqueo, ovvero acqua precipitabile (+7 per cento di vapore contenuto nell'aria per ogni grado Celsius di aumento di temperatura, secondo la legge di Clausius-Clapeyron). Sia il Mediterraneo sia gli oceani globali, oggi sorvegliati dal servizio di monitoraggio satellitare Copernicus Marine Service, nel biennio 2023-24 hanno raggiunto temperature inedite con molteplici ondate di calore marine, e il 15 agosto 2024 la temperatura media del Mediterraneo in superficie ha raggiunto un nuovo record di 28,56 °C, ben 3 °C sopra la norma e massimo in almeno 42 anni di rilievi satellitari, con punte di 30 °C anche intorno all'Italia. Il gruppo di ricerca internazionale World Weather Attribution, specializzato in studi di attribuzione dei fenomeni meteorologici basati su simulazioni modellistiche,

ha ormai accertato per decine di casi recenti da un capo all'altro del mondo il ruolo significativo dei cambiamenti climatici antropogenici nell'aumento degli eventi meteo-ambientali estremi, tra cui piogge alluvionali, tempeste, siccità, ondate di caldo e incendi forestali. Ad esempio, per i diluvi di metà settembre 2024 in Europa centro-orientale, responsabili di 24 vittime, si è attestato un raddoppio di probabilità e un aumento del 6 per cento della loro intensità rispetto a quanto sarebbe avvenuto in un mondo più freddo di 1,3 °C, come era alla metà dell'Ottocento (Kimutai *et al.* 2024). Analogamente, lo stesso team di ricercatori ha concluso che la siccità del 2023-24 in Sicilia e Sardegna è stata aggravata dall'evapotraspirazione da suoli e vegetazione incentivata dal caldo anomalo, a sua volta intensificato dall'aumento dei gas serra nell'aria. Inoltre l'incremento di origine umana dell'effetto serra oggi rende più probabile del 50 per cento una siccità come quella sperimentata dalle due isole (Zachariah *et al.* 2024). Non solo. Se anche in passato non mancavano passaggi da un estremo di precipitazioni a quello opposto nel giro di poche settimane o mesi (da siccità ad alluvioni e viceversa), nel maggio 2023, proprio mentre il Nord Italia passava rapidamente dalla siccità estrema alle inondazioni dell'Emilia-Romagna, uno studio di ricercatori cinesi (Tan *et al.* 2023) attestava il ruolo dei cambiamenti climatici antropogenici nel rendere più rapide, frequenti e intense queste transizioni, veri "colpi di frusta" climatici, prevedendo in uno scenario a elevate emissioni serra un aumento del 55 per cento di tali episodi a livello mondiale verso il 2080.

### *Luglio 2023: tra caldo estremo al Sud e grandine gigante al Nord.*

Il luglio 2023 si è distinto sia per caldo estremo sia per ripetute tempeste di vento e grandine. Una lunga e straordinaria ondata di calore comincia a metà mese per culminare il 23-25 luglio tra Sardegna e Meridione, dove numerosi record di temperatura massima per qualunque mese dell'anno vengono stabiliti in serie di misura anche di 70-80 anni, superando talora di 2-3 °C i primati precedenti. Anzitutto i 48,2 °C di Jerzu e Lotzorai in provincia di Nuoro (dati ARPA Sardegna - Rete Unica Regionale), nuovi primati assoluti per l'intera regione, rendono surreale e soffocante la giornata del 24 luglio nell'Est dell'isola, sottoposta a venti di caduta dall'interno montuoso (foehn). L'aria rovente, segnala Coldiretti, determina estese scottature e deperimento delle produzioni di uva, frutta e ortaggi, ma gli

agricoltori segnalano anche morie di animali domestici e api. Altrove, record di 47,2 °C a Noto (Siracusa), 47,0 °C all'osservatorio Vaiana di Palermo, 46,6 °C a Bovalino Marina (Reggio Calabria), 45,7 °C a Catania. Vasti incendi divampano in Sicilia interessando anche Palermo, chiuso l'aeroporto di Punta Raisi e tre vittime in provincia. Da uno studio del gruppo di ricerca World Weather Attribution, emerge che un caldo come quello di luglio 2023 «sarebbe stato virtualmente impossibile da registrare tra Stati Uniti e Messico e in Europa meridionale, se gli umani non avessero riscaldato il pianeta bruciando combustibili fossili» (Zachariah *et al.* 2023).

Al Nord Italia, dove sono piú accesi i contrasti di temperatura e umidità rispetto ad aria piú fresca sull'Europa centrale, si sviluppano violenti temporali che talora percorrono l'intera pianura Padano-veneta producendo danni gravi ed estesi per vento e grandine grossa, con diametri di 5-10 centimetri e oltre, numerosi feriti e anche due vittime colpite da alberi caduti (il 24 luglio in Brianza e il 25 in val Camonica). Alcuni tra i molteplici episodi: la sera del 19 luglio grandine con chicchi fino a 10 centimetri di diametro distrugge auto, tetti e pannelli solari e provoca un centinaio di feriti nelle province di Treviso, Vicenza, Padova e Venezia; il 22, tempesta di vento e grandine tra le piú intense da decenni in Romagna, e rovinoso tornado tra Voltana e Alfonsine (Ravenna); nella notte tra il 24 e il 25 vento tempestoso scoperchia edifici e abbatte oltre cinquemila alberi a Milano, evento unico nella storia recente della città, e in Friuli decine di comuni sono colpiti da grandine di dimensioni eccezionali con danni disastrosi a vetture, edifici e coltivazioni, il paese di Mortegliano (Udine) pare bombardato con i tetti sbriciolati, e un chicco di forma schiacciata largo 19 centimetri e pesante circa un chilogrammo, rinvenuto a Azzano Decimo (Pordenone) risulta il piú grosso di cui esista documentazione certa in Europa secondo lo European Severe Storm Laboratory (ESSL); colpita nella notte anche la zona di Crema, dove al mattino del 25 è rivenuto e pesato un altro chicco, in questo caso sferico, di 980 grammi, forse superiore a 1 chilogrammo al momento della caduta. L'ESSL è un'organizzazione che si occupa di ricerca sulla previsione e gli impatti degli eventi temporaleschi severi in Europa (temporali violenti, grandinate, tempeste di vento e tornado), e alimenta un archivio di segnalazioni degli episodi dannosi dal quale pare ormai evidente un incremento di frequenza delle grandinate con chicchi di grosse dimensioni in Europa, valutato in una triplicazione degli eventi nel periodo 2012-21 rispetto agli anni Cinquanta. A guidare la tendenza è proprio il Nord

Italia, regione che – a causa di condizioni termodinamiche particolarmente favorevoli tra cui l'accumulo di aria caldo-umida in estate – mostra i più forti incrementi di grandinate con elementi dal diametro superiore a 2 e 5 centimetri (Battaglioli *et al.* 2023). In tempi più antichi, il più massiccio chicco di grandine citato nelle cronache storiche italiane è probabilmente quello che cadde nell'agosto 1537 sul territorio di Bologna: Francesco Resta, nel trattato *Meteorologia de igneis aereis aqueisque corporibus* (1644), afferma che pesasse 28 libbre italiane (1 libbra circa 300 grammi), cioè oltre 8 chilogrammi, un valore che tuttavia sembra improbabile in quanto corrisponderebbe a una sfera di circa 25 centimetri di diametro, più di un pallone da calcio. Potrebbe essersi trattato di un ammasso di chicchi compattatisi a terra. Più realistico quello da circa 900 grammi caduto a Cremona nel lontano luglio 1293 (*Annales Parmenses*), che risulterebbe del medesimo ordine di grandezza di quelli documentati nel luglio 2023 al Nord Italia; un'altra segnalazione di grandine da tre libbre (950 grammi) proviene da Parma nel 1466 (*Chronica civitatis Placentiae*).

### *E il resto del XXI secolo?*

I processi già in corso si intensificheranno più o meno rapidamente in base agli scenari di sviluppo economico, tecnologico e demografico – dunque di emissioni di gas serra – che la nostra società imboccherà. Roberto Mezzalama (2021) ha raccontato l'Italia di oggi alle prese con l'emergenza climatica, mentre il filosofo ed evoluzionista Telmo Pievani e il geografo Mauro Varotto (2021) hanno immaginato come si trasformerà lo Stivale nell'anno 2786, cioè 1000 anni dopo il viaggio in Italia di Goethe: la pianura Padana sarà quasi completamente allagata; i milanesi potranno andare al mare ai Lidi di Lodi; Padova e tantissime altre città saranno interamente sommerse; le coste di Marche, Abruzzo e Molise assumeranno l'aspetto dei fiordi; Roma sarà una metropoli tropicale; la Sicilia un deserto roccioso simile a quello libico! Ma limitiamoci al 2100: le traiettorie del clima futuro si biforcheranno amplificando i divari tra loro soprattutto nella seconda metà del secolo. Cominciamo dallo scenario peggiore, quello di fallimento delle politiche climatiche ed emissioni-serra inalterate, il pericoloso «business-as-usual» (IPCC AR6 2021, scenario RCP 8.5). Le temperature globali a fine XXI secolo aumenterebbero di 4-5 °C rispetto all'era preindustriale (compreso

l'incremento di 1,4 °C già osservato), fino a toccare livelli inediti da milioni di anni (IPCC 2021). Ma le estati dell'Italia settentrionale, Alpi incluse, potrebbero surriscaldarsi di ben 8-9 °C secondo le modellizzazioni regionali (Bucchignani *et al.* 2015; Ribes *et al.* 2022) il che significherebbe avere a 1500 metri di quota le attuali temperature della Valpadana e le temperature estive di Milano diventerebbero pari a quelle di Karachi in Pakistan, con estremi dell'ordine di 50 °C! La neve coprirebbe le montagne solo in poche settimane centrali dell'inverno e per lo più sopra i 2000 metri, il 95 per cento dei ghiacciai alpini attuali fonderebbe (Zekollari, Huss e Farinotti 2019) lasciando valli e pianure in balia di un'estrema siccità estiva, e gli ecosistemi naturali – dalle foreste, ai pascoli, alle zone umide – ne uscirebbero stravolti, con collasso del manto boschivo per deperimento da stress termico, idrico e incendi fuori controllo, agricoltura in crisi e migrazioni diffuse della popolazione. Sarebbe una catastrofe su tutti i fronti senza credibili possibilità di adattamento anche per le comunità di montagna, pure esse penalizzate (per quanto in vantaggio sulle pianure in termini di minore esposizione al caldo estremo) dal crollo dell'economia e della società globali che deriverebbe da un tale caos climatico: pensiamo alle ripercussioni di un aumento del livello marino dell'ordine di 1 metro a fine secolo sugli oltre 5500 chilometri quadrati del Delta del Po e laguna veneta, a seguito della fusione delle calotte polari (ICCI 2022; Antonioli *et al.* 2017, Marsico *et al.* 2017). L'estrema vulnerabilità della costa dell'alto Adriatico e del Delta del Po di fronte all'aumento del livello marino, zone già oggi mantenute asciutte dalle idrovore dei consorzi di bonifica, è una questione del tutto rimossa dalla consapevolezza collettiva: in una conferenza a Migliarino nel settembre 2018 ho definito questi territori «il canarino nella miniera». Il tema è stato oggetto nel 2020 del romanzo di Moira Dal Sito, pseudonimo originato dal collettivo Wu Ming, *Quando qui sarà tornato il mare. Storie dal clima che ci attende*, ma continua a rimanere nell'oblio. In un pianeta più caldo gli eventi pluviometrici estremi aumenterebbero in frequenza e intensità mettendo in crisi tutti i settori della società e portando all'abbandono delle aree più esposte alle inondazioni: non basteranno a proteggerci le statue di san Giovanni Nepomuceno, venerato a protezione dalle alluvioni e per questo spesso poste a guardia dei ponti d'Italia. Nonostante a causa di continui indugi la finestra per agire con efficacia si stia chiudendo, questo inferno si può ancora e si deve evitare a ogni costo, e ciò dipende da noi. I programmi di riduzione delle emissioni delineati dai governi a seguito dell'Accordo di

Parigi (2015), qualora applicati, ci porterebbero a uno scenario intermedio di circa +2,8 °C al 2100 rispetto all'era preindustriale. Nemmeno questa è una prospettiva gentile, in quanto un tale livello di riscaldamento sarebbe già in grado di far superare punti di non-ritorno nel sistema climatico (*tipping points*) capaci di mettere in grave pericolo gli ambienti terrestri e l'umanità, come la morte della foresta amazzonica o la fusione accelerata della calotta glaciale della Groenlandia (McKay *et al.* 2022) e, per quanto concerne l'arco alpino, di spazzare via l'80 per cento dell'odierno volume di ghiaccio, ma certo sarebbe già una situazione un po' migliore di quella descritta sopra. Quello a cui dovremmo puntare è lo scenario a basse emissioni, che richiede – oltre all'applicazione degli attuali piani climatici nazionali – un rafforzamento dell'ambizione climatica fino alla sostanziale decarbonizzazione dell'economia attorno alla metà di questo secolo, anche con il contributo delle energie rinnovabili. L'impresa è titanica, da intraprendere subito – già abbiamo perso decenni preziosi – con il coinvolgimento radicale di ogni ambito della società, ma solo in questo modo si può sperare di contenere il riscaldamento globale a livelli più tollerabili (meno di 2 °C), ancorché comunque comprensivi di importanti alterazioni degli equilibri del sistema Terra a cui si cercherà di far fronte con strategie di adattamento (McKay *et al.* 2022). Obiettivo: evitare l'ingestibile e gestire l'inevitabile.

## Conclusioni. Verso un clima sconosciuto.

Il 14 settembre 2024, alle 8 del mattino, un elicottero mi scarica frettolosamente, tra raffiche di vento ostili, sulla superficie annerita del ghiacciaio Ciardoney, nel Parco nazionale del Gran Paradiso. Dal 1986, ogni autunno, questo è l'appuntamento per misurare, insieme alla mia squadra di colleghi glaciologi, lo stato di salute del ghiacciaio, uno dei sorvegliati speciali del World Glacier Monitoring Service. Rispetto a 38 anni fa stento a riconoscerlo: cammino circa 50 metri più in basso, cioè sotto i miei piedi se n'è andato uno spessore di ghiaccio pari a un condominio di quindici piani, le pietraie, gli sfasciumi, i massi erratici e le rocce mordonate hanno preso il sopravvento mentre il ghiaccio è sempre di meno e destinato a scomparire nei prossimi decenni (Mercalli *et al.* 2016). Dopo anni di magra nivale, la primavera 2024 era stata molto nevosa e a inizio giugno il ghiacciaio era coperto da cinque metri di manto, un buon auspicio. Ma niente da fare, il caldo di luglio e agosto ha divorato tutta la neve e pure un altro metro di ghiaccio antico. Probabilmente le rocce che sto calpestando non vedevano la luce del sole almeno dall'Optimum termico olocenico di seimila anni fa. Qualcosa di grosso sta capitando. Cambiamenti rapidi, grandiosi e inquietanti stanno avvenendo sotto i nostri occhi, nel tempo di una vita umana. Mentre questi pensieri si affollano nella mente, la nebbia invade il vallone, non si vede più niente, l'elicottero non potrà venire a recuperare il nostro gruppo e gli strumenti di misura, ci tocca dunque iniziare una lunga discesa verso il fondovalle della val Soana, duemila metri più in basso. Nelle sei ore di sentiero, calcando il piede prima sulle morene del 1820, poi sulle grandi rocce lisce dalla glaciazione di 20 000 anni fa, e più giù nei boschi che hanno accompagnato la nostra civiltà, inizio a pensare alle conclusioni di queste pagine: è un esercizio utile a ingannare la fatica e il dolore ai piedi.

1. Le variazioni climatiche sono state una potente forza evolutiva nell'antichità glaciale, quando i nostri antenati non avevano protezioni

tecnologiche ma dovevano confrontarsi con un'estrema severità ambientale. In seguito, per tutta la storia della civiltà basata sull'agricoltura, hanno sempre rappresentato un elemento di influenza più o meno decisiva delle vicende umane, anche se a fronte di anomalie termo-pluviometriche modeste: mezzo grado poteva far la differenza tra prosperità e carestia. Una lezione importante, ora che il riscaldamento globale promette scenari inediti con variazioni mai sperimentate prima dalla società umana.

2. La stabilità climatica dell'Olocene è stata probabilmente un importante fattore di successo della civiltà, soprattutto europea, con due periodi particolarmente felici per le attività umane: l'Optimum climatico romano e l'anomalia climatica medievale, clima tiepido (ma meno caldo di oggigiorno) e soprattutto costante. L'equazione clima caldo = prosperità economica e sociale (contrapposta ai periodi freddi di miseria e carestia) vale soltanto entro certi limiti. Il troppo caldo, soprattutto se associato a siccità e a maggior frequenza di tempeste, può penalizzare la produzione alimentare e generare problemi sanitari, energetici e instabilità sociale.
3. Due periodi freddi e tempestosi hanno segnato gli ultimi due millenni di clima mediterraneo producendo carestie e problemi sociali e sanitari: la Piccola età glaciale della Tarda Antichità (LALIA) e la Piccola età glaciale moderna (LIA/PEG). Il riscaldamento verso cui stiamo andando non è però una buona notizia, in quanto è eccessivo e ci porterà all'estremo opposto. Dovevamo fermarci al clima del Novecento. Invece la serie termica italiana 1800-2023 (CNR-ISAC) mostra già ora un trend complessivo biscolare di +2,5 °C, un riscaldamento quasi doppio rispetto alla media globale.
4. I periodi caldi o freddi preindustriali sono anomalie che non hanno mai interessato in modo sincrono l'intero globo ma hanno avuto carattere locale con molti sfasamenti temporali, a differenza dell'attuale riscaldamento globale che è invece omogeneo e inequivocabile su tutto il pianeta (Neukom *et al.* 2019).
5. Il clima – italiano e globale – è sempre cambiato, più o meno rapidamente e intensamente e per cause naturali, attività solare, vulcani, interazione oceani-atmosfera e questo è spesso assunto come alibi per minimizzare o ignorare l'attuale cambiamento climatico antropogenico. La differenza sta nel fatto che la causa dell'attuale riscaldamento non è

piú naturale ma risiede nelle enormi emissioni di gas climalteranti da parte dell'umanità e che l'aumento di temperatura attuale e previsto in futuro non ha eguali nella storia degli ultimi 100 000 anni e ci sta portando in un territorio climatico «inesplorato» e potenzialmente ostile (Ripple *et al.* 2023 e 2024). La concentrazione attuale di CO<sub>2</sub>, pari a 423 ppm, è al massimo valore da almeno 14 milioni di anni (CENCO<sub>2</sub>PIP Consortium 2023), cioè da ben prima della comparsa della specie umana. L'attuale struttura sociale dell'umanità, pur dotata di una tecnologia mai vista in precedenza, è inoltre molto piú vulnerabile rispetto al passato, nel senso che ha molte cose in piú da perdere.

6. Abbiamo bisogno di considerare prioritario il problema climatico in Italia: proprio perché il passato ci dimostra che siamo già molto vulnerabili sotto i colpi di un clima «normale», a maggior ragione, entrando ora in un clima «malato» e sconosciuto dovremmo intraprendere un programma di adattamento radicale per migliorare la nostra resilienza agli eventi meteo estremi, considerati anche dal Global Risks Report del World Economic Forum (WEF 2024) come il primo piú grave rischio che incombe sul futuro dell'umanità. Il Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (PNACC 2023) attende invece in un cassetto del ministero dell'Ambiente di essere finanziato, spiegato ai cittadini e messo in atto prima possibile.

Le tue grondaie e le fognature comunali sono in grado di smaltire l'acqua dei nuovi nubifragi? Le linee elettriche sono al sicuro dalle nuove tempeste? Il verde pubblico è sufficiente a temperare i nuovi picchi di caldo estivo? Il tuo tetto è progettato per resistere a grandine del peso di 1 chilogrammo? Le pompe sono sufficienti a tenere asciutta la tua cantina? Sono domande che non ci poniamo, abituati come siamo a un certo clima del passato di cui conosciamo piú o meno la frequenza e l'intensità degli eventi meteorologici. Ma gli estremi meteo di domani non saranno soltanto come quelli di ieri, ci faranno vedere rischi nuovi e inimmaginabili che condizioneranno pesantemente le nostre vite.

Lucrezio, nel *De rerum natura* (II 1-4) dipinge un suggestivo quadretto interiore:

Dolce, quando i venti sul grande mare turbano le acque,

è guardare da terra il grande travaglio di un altro;  
non perché dia gioia e piacere che uno s'affanni,  
ma perché dolce è vedere da che tormenti sei immune.

Anno dopo anno le tempeste del futuro diventeranno pervasive e non lasceranno luoghi sicuri. La Terra diventerà un luogo meteorologicamente e socialmente instabile, pericoloso per la specie umana (Ripple *et al.* 2024). Ma c'è ancora uno spazio di manovra per evitare il peggio.

Chiediti: quante volte nella tua vita potresti sopportare un'alluvione che riempie di fango la tua casa, una grandinata che ti sbriciola il tetto, una siccità che brucia il tuo cibo, una piena che travolge la tua automobile, una tempesta che stronca i tuoi alberi?

Termino queste pagine con ancora negli occhi le immagini delle alluvioni che hanno colpito Liguria e Sardegna e che a Valencia hanno causato una catastrofe da 230 vittime.

Caro lettore, ti auguro un buon clima.

## *Ringraziamenti.*

A Daniele Cat Berro, climatologo e glaciologo presso la Società meteorologica italiana, che da sempre mi affianca nello studio del clima italiano ed è stato di fondamentale aiuto nella ricerca di dati e informazioni, così come Gennaro Di Napoli, collaboratore di lunga data nello studio delle serie di osservazioni meteorologiche, e Maurizio Ratti, direttore dell'Osservatorio meteorologico di Pontremoli. Fosco Spinedi, già meteorologo a Meteosvizzera Locarno, ha riletto il testo fornendo utili consigli.

Sono grato inoltre a Marina Schembri, redattrice per Einaudi, per il paziente e scrupoloso lavoro di verifica delle fonti bibliografiche.

## Elenco delle fonti

### 1. *Fonti antiche*.

- Agostino, *La città di Dio*, trad. it. e cura di C. Carena, Einaudi, Torino 1992.
- Dionigi di Alicarnasso, *Le antichità romane*, a cura di F. Donadi e G. Pedullà, trad. it. di E. Guzzi, Einaudi, Torino 2010.
- Livio, Tito, *Storie*, a cura di L. Perelli, 3 voll., UTET, Torino 2013.
- Lucrezio Caro, Tito, *De rerum natura*, a cura di A. Schiesaro, trad. it. di R. Raccanelli, Einaudi, Torino 2023.
- Orazio Flacco, Quinto, *Le odi*, in Id., *Tutte le poesie*, a cura di P. Fedeli, trad. it. di C. Carena, Einaudi, Torino 2009.
- Orosio, Paolo, *Le storie contro i pagani*, a cura di A. Lippold, 2<sup>a</sup> ed., Fondazione Lorenzo Valla, Roma 1993.
- Plinio Cecilio Secondo, Gaio, *Le lettere di Plinio il Giovane tradotte in italiano da Giovanni Tedeschi*, per Nicolò Bettoni, Milano 1827.
- Plutarco, *Vita di Cesare*, trad. it. e note di A. Inglese, Studio Tesi, Pordenone 1994.
- Polibio, *Le storie*, trad. it., introduzione e note a cura di C. Schick, Arnoldo Mondadori Editore, Milano 1955.
- Rutilio Namaziano, Claudio, *Il ritorno*, trad. it. e cura di A. Fo, Einaudi, Torino 1992.
- Tacito, Publio Cornelio, *Annali*, a cura di R. Oniga, trad. it. di C. Franco, G. Baldo, A. Franzoi e L. Lenaz, Einaudi, Torino 2024.
- Virgilio Marone, Publio, *Le Georgiche*, trad. it. e cura di A. Richelmy, Einaudi, Torino 1955.
- *Eneide*, trad. it. e cura di A. Fo, Einaudi, Torino 2013.

### 2. *Fonti medievali*<sup>a</sup>.

- Albertus Miliolus, *Liber de temporibus et aetatibus* (1-1286), a cura di O. Holder-Egger, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. XXXI.
- Annales et chronica Italica aevi Suevici*, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. XXXI.
- Annales et notae Parmenses et Ferrarienses*, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. XVIII.
- Annales Mediolanenses*, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. XVIII.
- Annales Piacentini*, a cura di O. Holder-Egger, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. XIII.
- Annales Quedlinburgenses*, a cura di M. Giese, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. LXXII.
- Berthold von Reichenau, *Annales*, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. V.
- Cassiodoro Senatore, Flavio Magno Aurelio, *Chronica*, in MGH, *Auctorum antiquissimorum*, vol. XI.
- Chronica civitatis Placentiae Johannis Agazzari et Antonii Francisci Villa*, in *Monumenta historica ad provincias Parmensem et Placentinam pertinentia*, Editore Fiaccadori, Parma 1862.
- Chronicon Parmense ab anno mxxxviii usque ad annum mcccxxxviii*, a cura di G. Bonazzi, in RIS, serie II, vol. IX, parte IX.
- Dante Alighieri, *Inferno*, a cura di R. Mercuri, Einaudi, Torino 2021.
- *Purgatorio*, a cura di R. Mercuri, Einaudi, Torino 2021.
- Francesco di Andrea da Viterbo, *Cronaca inedita di Frate Francesco di Andrea da Viterbo dei Minori trascritta dal manoscritto originale del sec. XV. della Biblioteca Angelica di Roma e pubblicata dal Conte Cav. Francesco Cristofori: Mss. segnato 7. (VII.) B. 23*, Stab. Poligrafico F. Salviati, Foligno (PG) 1888.
- Gesta Federici I imperatoris in Lombardia auct. cive mediolanensi (Annales mediolanenses maiores)*, a cura di O. Holder-Egger, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. XXVII.
- Gregorio Magno, *Storie di santi e di diavoli. Dialoghi*, 2 voll., Fondazione Lorenzo Valla - Arnoldo Mondadori, Milano 2005-2006.
- Historiae aevi salici*, a cura di G. H. Pertz, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. XI.
- Lamperti monachi Hersfeldensis Opera. Recognovit Oswaldus Holder-Egger. Accedunt Annales weissenburgenses*, a cura di O. Holder-Egger, in MGH,

- Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, vol. XXXVIII.
- Landulphi Junioris sive de Sancto Paulo Historia Mediolanensis ab anno MXCV usque ad annum MCXXXVII*, a cura di C. Castiglioni, in RIS, serie II, vol. V, parte III.
- Lanzi, Tommaso, *Cronica dal 20 gennaio 1704 al 5 giugno 1749*, Biblioteca Civica Bertoliana di Vicenza, Manoscritti Gonzati, 23.10.6 (=1762).
- Memorale historicum rerum Bononiensium ab anno MCIX usque ad MCCCCXXVIII*, auctore Mattheo de Griffonibus, in RIS, serie II, vol. XVIII.
- Paolo Diacono, *Storia dei Longobardi*, introduzione di B. Luiselli, trad. it. e note di A. Zanella, Rizzoli, Milano 1991.
- Petri Cantinelli *Chronicon* (aa. 1228-1306), a cura di F. Torraca, in RIS, serie II, vol. XXVIII.
- Pietro e Floriano da Villola, *Cronaca Bolognese*, in *Corpus chronicorum Bononiensium*, in RIS, serie II, vol. XVIII, parte I.
- Salimbene de Adam, *Cronaca*, volgarizzata da C. Cantarelli, Luigi Battei editore, Parma 1882.
- Schiavina, G., *Annali di Alessandria*, tradotti, annotati, abbreviati, continuati da C. A. Valle, Stamperia Barnabe e Borsalino, Alessandria 1861.
- Villani, G., *Cronica. Con le continuazioni di Matteo e Filippo*, scelta, introduzione e note di G. Aquilecchia, Einaudi, Torino 1979.
- Vita Theoderici abbatis Andaginensis* (1087), a cura di W. Wattenbach, in MGH, *Scriptores rerum Germanicarum in usu scholarum*, a cura di G. H. Pertz, vol. XII.

### 3. Fonti moderne.

- Adamollo, G. A. e Grossi, L., *Cronaca di Varese. Memorie cronologiche scritte da Gio. Antonio Adamollo e Luigi Grossi, pubblicate per la prima volta da A. Mantegazza*, tipografia arcivescovile dell'Addolorata, Varese 1931.
- Aiazzi, G., *Narrazioni istoriche delle più considerevoli inondazioni dell'Arno e notizie scientifiche sul medesimo*, Tipografia Piatti, Firenze 1845 (rist. anast., con appendice sull'alluvione del 4 novembre 1966, L'Arco dei Gavi, Verona 1967).
- Aleotti, G., *Dell'interrimento del Po di Ferrara e divergenza delle sue acque nel ramo di Ficarolo*, dai tipi di Domenico Taddei, Ferrara, 1598.

- Amiani, P. M., *Memorie istoriche della città di Fano, raccolte e pubblicate da Pietro Maria Amiani*, stamp. di G. Leonardi, Fano 1751.
- Ariosto, L., *Orlando furioso*, a cura di T. Matarrese e M. Praloran, Einaudi, Torino 2016.
- Ascoli, G. I. (a cura di) *Archivio Glottologico Italiano*, vol. II, Loescher, Roma-Torino-Firenze 1876.
- Atti del Parlamento italiano, *Sessione del 1860*, Tipografia Eredi Botta, Torino 1861.
- Baretti, M., Il *Lago del Rutor (Alpi Graje Settentrionali)*, in «Bollettino del Club Alpino Italiano», XIV (1880), n. 41, pp. 43-98.
- Boggio, P. C., *Storia politico-militare della guerra dell'Indipendenza Italiana (1859-1860)*, Sebastiano Franco e figli e comp., Torino 1860-67.
- Bonini, F., *Il Tevere incatenato, overo l'Arte di frenar l'acque correnti*, stamp. Francesco Moneta, Roma 1663.
- Bottoni, A., *Appunti storici sulle rotte del basso Po, dai tempi romani a tutto il 1839 e relazione di quelle di Guarda e di Revere nel 1872*, Tip. Sociale, Ferrara 1873.
- Butori, P., *Resultati meteorologici di anni quaranta offerti e dedicati all'Accademia lucchese delle scienze, e delle belle lettere ed arti dal collega Pietrantonio Butori canonico della insigne collegiata chiesa di Camajore*, dalla tipografia di Francesco Bertini, Lucca 1817.
- Cambi, G., *Istorie di Giovanni Cambi cittadino fiorentino pubblicate, e di annotazioni, e di antichi munimenti accresciute, ed illustrate da fr. Ildefonso di San Luigi*, in Firenze per Gaet. Cambiagi stampator granducale, 1768.
- Cobelli, L., *Cronache Forlivesi di Leone Cobelli. Dalla fondazione della città sino all'anno 1498*, in *Dei monumenti istorici pertinenti alle provincie della Romagna*, vol. I. *Cronache*, Regia Tipografia, Bologna 1874.
- Condivi, Ascanio, *Vita di Michelagnolo Buonarroti raccolta per Ascanio Condivi da la Ripa Transone*, In Roma appresso Antonio Blado Stampatore Camerale, 1553.
- Corradi, A., *Annali delle epidemie occorse in Italia dalle prime memorie fino al 1850*, Tipografia Gamberini e Parmeggiani, Bologna 1865-94.
- De Bartolomeis, L., *Notizie topografiche e statistiche sugli Stati Sardi*, Stamperia Reale, Torino 1840-47.
- Degli Uberti, V., *Sul fiume Sarno: discorso storico-idraulico*, Tipografia Fernandes, Napoli 1844.
- Denza, F., «Bollettino Meteorologico dell'Osservatorio del Real Collegio Carlo Alberto in Moncalieri», XI (1876), n. 1.

- *Le valanghe degli inverni 1885 e 1888*, in «Bollettino del Club Alpino Italiano», XXII (1889), n. 55.
- Fazello, T., *De rebus Siculis decades duae, nunc primum in lucem editae. His accessit totius operis index locupletissimus*, Panormi, apud Ioannem Matthaeum Maidam et Franciscum Carraram 1558.
- *Della storia di Sicilia deche due del r.p.m. Tommaso Fazello siciliano tradotte in lingua toscana dal p.m. Remigio fiorentino*, dalla tipografia di Giuseppe Assenzio, Palermo 1817.
- Fuster, J.-J.-N., *Des Changements dans le climat de la France*, Capelle, Paris 1845.
- Gennari, G. e Fossati, G., *Lettera ad un amico lontano intorno alle rovine causate al Palazzo della Ragione di Padova dal turbine del dì 17. d'agosto 1756*, Stamperia Conzatti, Padova 1756 (ristampa Tipografia Crescini, Padova 1861).
- Ghirardacci, C., *Della historia di Bologna*, vol. II, per Giacomo Monti, in Bologna 1657.
- Goethe, J. W., *Gli anni di apprendistato di Wilhelm Meister*, trad. it. di I. Bellingacci, Mondadori, Milano 2013.
- Landucci, L., *Diario fiorentino dal 1450 al 1516*, G. C. Sansoni, Firenze 1883.
- Lorgna, A. M., *Discorso intorno al riparare dalle inondazioni dell'Adige la città di Verona*, nella stamperia Moroni, Verona 1768.
- Machiavelli, N., *Istorie Fiorentine*, in Id., *Opere*, a cura di C. Vivanti, vol. III, Einaudi, Torino 2005.
- Mainati, G., *Memorie storiche sacro profane di Trieste*, nella tipografia Picotti, Venezia 1817.
- Manzoni, A., *I promessi sposi. Storia della colonna infame*, introduzione a cura di S. S. Nigro, Einaudi, Torino 2015.
- Masi, B., *Ricordanze di Bartolomeo Masi calderai fiorentino, dal 1478 al 1526; per la prima volta pubblicate da Gius. Odoardo Corazzini*, G. C. Sansoni, Firenze 1906.
- Mongitore, A., *Diari della città di Palermo delle cose più memorabili accadute nella città di Palermo dal 1 gennaio del 1720 al 23 dicembre 1736*, in G. di Marzo (a cura di), *Diari della città di Palermo dal secolo XVI al XIX*, Biblioteca Storica e Litteraria di Sicilia, voll. VII-IX, Luigi Pedone Lauriel, Palermo 1869-77.
- Muratori, L. A., *Antiquitates Italicae Medii Aevi, sive Dissertationes*, tomo VI, Mediolani, ex Typographia Societatis Palatinae in Regia Curia 1742.
- Noé, C., *Delle artificiali inondazioni fra la Sesia e la Dora Baltea prodotte colle acque dei Canali, con strategico intendimento, nel rompersi guerra dell'Austria contro il Piemonte sul finir dell'aprile 1859*, s. e., s. l. 1859 [?].

- Nubilonio, C., *La cronaca di Vigevano scritta nel 1584 dal canonico cantore Cesare Nubilonio; e ora pubblicata per cura di Carlo Negroni*, Stamp. Reale della Ditta G. B. Paravia e C., Torino 1891.
- Resta, F., *Meteorologia de igneis, aereis aqueisque corporibus*, Romae, apud F. Monetam 1644.
- Sigismondo, G., *Descrizione della città di Napoli e suoi borghi*, tomo III, presso i fratelli Terres, Napoli 1789.
- Stoppani, A., *Il bel paese. Conversazioni sulle bellezze naturali, la geologia e la geografia fisica d'Italia*, tipografia e libreria ed. Giacomo Agnelli, Milano 1876.
- *Il bel paese. Conversazioni sulle bellezze naturali, la geologia e la geografia fisica d'Italia*, 3<sup>a</sup> ed. arricchita di molte nuove incisioni nel testo e di un Appendice di cinque serate inedite, tipografia e libreria ed. Giacomo Agnelli, Milano 1881.
- Targioni Tozzetti, G., *Cronica meteorologica della Toscana per il tratto degli ultimi sei Secoli, relativa principalmente all'Agricoltura*, in Id., *Alimurgia o sia modo di render meno gravi le carestie proposto per sollievo de' poveri*, per il Moücke, a spese di Giuseppe Bouchard libraio in Mercato nuovo, Firenze 1767.
- Tiraboschi, G., *Storia dell'augusta Badia di S. Silvestro di Nonantola aggiuntovi il codice diplomatico della medesima illustrato con note opera del cavaliere ab. Girolamo Tiraboschi*, 2 voll., In Modena presso la Società Tipografica, 1784-85.
- Toaldo, G., *Della vera influenza degli astri, delle stagioni e mutazioni di tempo. Saggio meteorologico*, nella stamperia del Seminario, apresso Gio. Manfrè, Padova 1770.
- *Completa raccolta di opuscoli osservazioni e notizie diverse contenute nei giornali astro-meteorologici*, presso Francesco Andreola, Venezia 1802.
- Tribaldo de' Rossi, *Ricordanze*, in Ildefonso di San Luigi, *Delizie degli eruditi toscani*, vol. XXIII, nella stamperia di S. A. R. per Gaetano Cambiagi, Firenze 1786.
- Vivaldi, A., *Il Cimento dell'Armonia e dell'Invenzione*, Michel-Charles Le Cène, Amsterdam 1725.

a. Tutti i testi in latino sono editi nei *Monumenta Germaniae Historica*, MGH, e nei *Rerum Italicarum*

*scriptores*, RIS.

## Bibliografia

Acordon, V.

2021 *Gelo e grandi nevicate di gennaio 2017 sull'Appennino centrale: la valanga di Rigopiano*, in «Nimbus», n. 85.

Acordon, V. e Cat Berro, D.

2017 *Febbraio 2012: straordinaria ondata di gelo e neve in Italia*, in «Nimbus», n. 77.

Acquaotta, F., Faccini, F., Fratianni, S., Paliaga, G. e Sacchini, A.

2018 *Rainfall intensity in the Genoa Metropolitan Area: secular variations and consequences*, in «Weather», vol. LXXIII, n. 11, novembre, pp. 356-62.

Albini, G.

2019 *Carestie in area lombarda tra fine duecento e metà Trecento*, in P. Grillo e F. Menant (a cura di), *La congiuntura del primo Trecento in Lombardia (1290-1360)*, École française de Rome, Roma.

Aldrete, G. S.

2006 *Floods of the Tiber in Ancient Rome*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Alexandre, P.

1987 *Le Climat en Europe au Moyen âge. Contribution à l'histoire des variations climatiques de 1000 à 1425, d'après les sources narratives de l'Europe occidentale*, Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales, Paris.

Alfani, G.

2010 *Climate, population and famine in Northern Italy: general tendencies and malthusian crisis, ca. 1450-1800*, in «Annales de Démographie Historique», vol. CXX, n. 2, pp. 23-54.

Andres, H. J. e Peltier, W. R.

2016 *Regional influences of natural external forcings on the transition from the Medieval climate anomaly to the Little Ice Age*, in «Journal of Climate», American Meteorological Society, vol. XXIX, n. 16, pp. 5779-800.

Annan, J. D. e Hargreaves, J. C.

- 2013 *A new global reconstruction of temperature changes at the Last Glacial Maximum*, in «Climate of the Past», vol. IX, n. 1, pp. 367-76.
- Antonioli, F. et al.
- 2017 *Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains. Flooding risk scenarios for 2100*, in «Quaternary Science Reviews», vol. CLVIII, pp. 29-43.
- Armiero, M. e Barca, S.
- 2004 *Storia dell'ambiente. Una introduzione*, Carocci, Roma.
- Aroba, D., Brugiapaglia, E., Gianotti, F., Siniscalco, C., Caramiello, R., Mercalli, L. e Cat Berro, D.
- 2016 *Cambiamenti climatici e della vegetazione sulla base di analisi lito- e biostratigrafiche della Torbiera di Pian Pessey (Parco Naturale del Mont Avic, Valle d'Aosta)*, in «Nimbus», n. 75.
- ARPA Friuli - Venezia Giulia
- 2018 *Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli - Venezia Giulia*.
- Avesani, B.
- 1997 *L'Adige malefico. Le rotte*, in E. Turri e S. Ruffo (a cura di), *L'Adige, il fiume, gli uomini, la storia*, Cierre, Verona.
- Avolio, E. e Miglietta, M.
- 2022 *Tornadoes in the Tyrrhenian regions of the Italian peninsula. The case study of 28 July 2019*, in «Atmospheric Research», vol. CCLXXVIII, novembre.
- Bacher, A. M.
- 2001 (a cura di), *La valanga. Cronaca di un drammatico inverno, Val Formazza 1951*, Fondazione Enrico Monti, Anzola d'Ossola.
- Badino, F.
- 2016 *Holocene vegetation and climate variability as recorded in high altitude mires (western Italian Alps)*, tesi di dottorato, Università Milano-Bicocca.
- Badino, F. et al.
- 2018 *8800 years of high-altitude vegetation and climate history at the Rutor Glacier forefield, Italian Alps. Evidence of middle Holocene timberline rise and glacier contraction*, in «Quaternary Science Reviews», vol. CLXXXV, 1° aprile, pp. 41-68.
- Baiada, E.
- 1986 *Da Beccari a Ranuzzi. La meteorologia nell'Accademia Bolognese nel XVIII secolo*, in Finzi.
- Baldini, J. U. L. et al.
- 2018 *Evaluating the link between the sulfur-rich Laacher See volcanic eruption and*

- the Younger Dryas climate anomaly*, in «Climate of the Past», vol. XIV, n. 7, pp. 969-90.
- Battaglioli, F., Groenemeijer, P., Púčik, T., Taszarek, M., Ulbrich, U. e Rust, H.
- 2023 *Modeled multidecadal trends of lightning and (very) large hail in Europe and North America (1950-2021)*, in «Journal of Applied Meteorology and Climatology», vol. LXII, n. 11, pp. 1627-53.
- Bauch, M.
- 2016 *The day the sun turned blue. A volcanic eruption in the early 1460s and its possible climatic impact – a natural disaster perceived globally in the late Middle Ages?*, in G. J. Schenk (a cura di), *Historical Disaster Experiences. A comparative and transcultural survey between Asia and Europe*, Springer, Heidelberg.
- 2018a *The Dantean anomaly (1309-1321). Rapid climate change in Late Medieval Europe with a global perspective*, in «Mittelalter. Interdisziplinäre Forschung und Rezeptionsgeschichte», n. 1.
- 2018b *Bologna and Siena during the Dantean Anomaly (1309-1321)*, in «Mittelalter. Interdisziplinäre Forschung und Rezeptionsgeschichte», n. 1.
- Bauch, M. et al.
- 2020 *A prequel to the Dantean Anomaly: the precipitation seesaw and droughts of 1302 to 1307 in Europe*, in «Climate of the Past», vol. XVI, n. 6, pp. 2343-58.
- Bellosta, R.
- 2012 «*Per le gran neve che quest'anno sono venute...» Il terribile inverno del 1570-1571 nei territori di Intra e Vallintrasca*, in «Vallintrasche, Magazzeno Storico Verbanese», pp. 7-13.
- Bersani, P. e Bencivenga, M.
- 2001 *Le piene del Tevere a Roma dal V secolo a. C. all'anno 2000*, Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, Roma.
- Bertotti, M.
- 1980 *Le vicende storiche del Canavese negli anni 1733 e 1734 descritte dal M. R. Padre Arcangelo da San Giorgio*, Progetto Orco - Corsac, Torino-Cuorgn .
- Bianchi, C. e Esposito, G.
- 2021 *Le vittime delle colate rapide del 5 maggio 1998 in Campania*, <https://polaris.irpi.cnr.it/le-vittime-delle-colate-rapide-del-5-maggio-1998-in-campania/>
- Biasillo, R. e Armiero, M.
- 2019 *The transformative potential of a disaster. A contextual analysis of the 1882*

- flood in Verona, Italy*, in «Journal of Historical Geography», vol. LXVI, agosto, pp. 69-80.
- Bini, M. *et al.*
- 2019 *The 4.2 ka BP Event in the Mediterranean region. An overview*, in «Climate of the Past», vol. XV, n. 2, pp. 555-77.
- Blanchet, G., Mercalli, L., Spanna, F. e Pellegrino, L.
- 1994 *Caratteri pluviometrici di settembre-ottobre 1993 sulle Alpi occidentali*, in «Nimbus», n. 2.
- Bohleber, P., Schwikowski, M., Stocker-Waldhuber, M., Fang, L. e Fischer, A.
- 2020 *New glacier evidence for icefree summits during the life of the Tyrolean Iceman*, in «Nature Scientific Reports», vol. X, art. 20513.
- Bollati, I. M. e Zerboni, A.
- 2021 *The Po plain loess basin (Northern Italy). Scientific values, threats, and promotion opportunities*, in «Geoheritage», vol. XIII, art. 74.
- Bonardi L.,
- 2004 *Dalla storia naturale alla storia umana. Il ruolo del clima e delle sue variazioni nella storia delle Alpi*, in Id. (a cura di), *Che tempo faceva?*, FrancoAngeli, Milano.
- 2006 «*Terre e cieli Grigi*», *Storia del clima valtellinese dal 1512 al 1798*, in G. Scaramellini e D. Zoia (a cura di), *Economia e società in Valtellina e contadi nell'Età moderna*, Fondazione Gruppo Credito Valtellinese, Sondrio.
- Bonaria, V.
- 2013 *Storia della diga di Molare. Il Vajont dimenticato*, Erga, Genova, [www.molare.net](http://www.molare.net)
- Boxleitner, M. *et al.*
- 2019 *The 10Be deglaciation chronology of the Goschenental, central Swiss Alps, and new insights into the Goschenen Cold Phases*, in «Boreas», vol. XLVIII, n. 4.
- Bozzoli, M., Crespi, A., Matiu, M., Majone, B., Giovannini, L., Zardi, D., Brugnara, Y., Bozzo, S., Cat Berro, D., Mercalli, L. e Bertoldi, G.
- 2024 *Long-term snowfall trends and variability in the Alps*, in «International Journal of Climatology», vol. XLIV, n. 13, pp. 4571-91.
- Braca, G., Tranfaglia, G., Esposito, E., Porfido, S., Violante, C. e Mazzarella, A.
- 2007 *Analisi meteorologica e idro-geologica dell'alluvione di Salerno del 25-26 ottobre 1954*, in *Le alluvioni in Italia*, Associazione idrotecnica italiana - Sigea, Società italiana di geologia ambientale, Roma.

- Bradley, R., Wanner, H. e Diaz, H. F.  
2016 *The Medieval quiet period*, in «The Holocene», vol. XXVI, n. 6.
- Braudel, F.  
1998 *Memorie del Mediterraneo*, trad. it. di E. Z. Merlo, Rizzoli, Milano.
- Braumann, S. *et al.*  
2021 *Early Holocene cold snaps and their expression in the moraine record of the eastern European Alps*, in «Climate of the Past», vol. XVII, n. 6, pp. 2451-79.
- Brogliolo, G. P.  
2015 *Flooding in Northern Italy during the Early Middle Ages. Resilience and adaptation*, in «European Journal of Post-Classical Archaeologies», vol. V, pp. 47-68.
- Brown, N.  
2001 *History and Climate Change. A Eurocentric perspective*, Routledge, New York.
- Brugnara, Y., Brönnimann, S., Zamuriano, M., Schild, J., Rohr, C. e Segesser, D. M.  
2016 *Dicembre 1916. Il mese della morte bianca*, in «Geographica Bernensia», G91.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F. e Nanni, T.  
2006 *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenized instrumental time series*, in «International Journal of Climatology», vol. XXVI, n. 3, pp. 345-81.
- Bucchignani, E. *et al.*  
2015 *High-resolution climate simulations with COSMO-CLM over Italy: performance evaluation and climate projections for the 21st century*, in «International Journal of Climatology», vol. XXXVI, n. 2, pp. 735-56.
- Bufanio, V.  
2022 *L'eruzione del 1257 tra cronisti e vulcanologi*, in G. Albini *et al.* (a cura di), *Il fuoco e l'acqua. Prevenzione e gestione dei disastri ambientali fra Medioevo e Età Moderna*, in «Quaderni di Studi di Storia Medioevale e di Diplomatica», n. 7, pp. 19-31.
- Buffoni, L., Chlistovsky, F. e Maugeri, M.  
1996 *1763-1995: 233 anni di rilevazioni termiche giornaliere a Milano Brera*, Cusl, Milano.
- Büntgen, U. *et al.*  
2016 *Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD*, in «Nature Geoscience», vol. IX, pp. 231-36.

- 2020 *Prominent role of volcanism in Common Era climate variability and human history*, in «Dendrochronologia», vol. LXIV.
- Büngten, U. e Tegel, W.
- 2011 *European tree ring data and the Medieval Climate Anomaly*, in «Past Global Changes Magazine», vol. XIX, n. 1, pp. 14-15.
- Burckle, L. H. e Grissino-Mayer, H. D.
- 2003 *Stradivari, violins, tree rings, and the Maunder Minimum: a hypothesis*, in «Dendrochronologia», vol. XXI, n. 1, pp. 41-45.
- Burga, C. A.
- 1995 *Végétation et paléoclimatologie de l'Holocène moyen d'une ancienne tourbière située au front du Glacier du Rutor, 2510 m (Vallée d'Aoste, Italie)*, in «Revue de Géographie Alpine», vol. LXXXIII, n. 1, pp. 9-16.
- Camenisch, C. et al.
- 2016 *The 1430s: a cold period of extraordinary internal climate variability during the early Spörer Minimum with social and economic impacts in north-western and central Europe*, in «Climate of the Past», vol. XII, n. 11, pp. 2107-26.
- 2020 *Extreme heat and drought in 1473 and their impacts in Europe in the context of the early 1470s*, in «Regional Environmental Change», vol. XX, art. 19.
- Camuffo, D.
- 1984 *Analysis of the series of precipitation at Padova, Italy*, in «Climatic Change», vol. VI, pp. 57-77.
- 1987 *Freezing of the Venetian lagoon since the 9th century A. D. in comparison to the climate of western Europe and England*, in «Climatic Change», vol. X, pp. 43-66.
- 1990 *Clima e uomo*, Garzanti, Milano.
- 2002 *History of the long series of the air temperature in Padova (1725-today)*, in «Climatic Change», vol. LIII, pp. 7-75.
- 2021 *Galileo's revolution and the infancy of meteorology in Padua Florence and Bologna*, in «Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens».
- Camuffo, D. e Bertolin, C.
- 2012 *The earliest temperature observations in the world: the Medici Network (1654-1670)*, in «Climatic Change», vol. CXI, n. 2, pp. 335-63.
- Camuffo, D. e Enzi, S.
- 1992 *Critical analysis of archive sources for historical climatology in Northern Italy*, in B. Frenzel (a cura di), *European Climate Reconstructed from Documentary Data. Methods and results*, Fischer, Stuttgart.
- 1994 *The Climate of Italy from 1675 to 1715*, in B. Frenzel (a cura di), *Climatic*

- trends and anomalies in Europe 1675-1715*, in *ESF Project European Palaeoclimate and Man*, numero 13 di «Palaeoclimate Research».
- Camuffo, D. *et al.*
- 2014 *The Little Ice Age in Italy from documentary proxies and early instrumental records*, in «Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens», vol. CXXII, pp. 17-30.
- 2016 *The Stancari air thermometer and the 1715-1737 record in Bologna, Italy*, in «Climatic Change», vol. CXXXIX, pp. 623-36.
- 2017a *When the Lagoon was frozen over in Venice from A. D. 604 to 2012. Evidence from written documentary sources, visual arts and instrumental readings*, in «Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens».
- 2017b *Temperature observations in Bologna, Italy, from 1715 to 1815: a comparison with other contemporary series and an overview of three centuries of changing climate*, in «Climatic Change», vol. CXLII, pp. 7-22.
- 2019 *The Beccari series of precipitation in Bologna, Italy, from 1723 to 1765*, in «Climatic Change», vol. CLV, pp. 359-76.
- Cancian, P., Cat Berro, D., Cereia, D., Lombardi, P., Ludovici, A., Mercalli, L., Sergi, G. e Zonato, A.
- 2012 *Speciale progetto «Archlim»: ricostruzione del clima medievale da fonti documentarie in area alpino-padana*, in «Nimbus», n. 65-66.
- Caniggia Nicolotti, M. e Poggianti, L.
- 2009 *Appunti di climatologia storica in Valle d'Aosta*, in «Candide», a. XI, n. 45.
- Cantú, V. e Narducci, P.
- 2019 *Bibliografia climatologica italiana*, CNR IFA & AMI ITAV, Roma 1973, 5<sup>a</sup> ed. aggiornata, disponibile su [https://www.aeronautica.difesa.it/wp-content/uploads/2022/11/BIBLIO\\_FIN\\_N.pdf](https://www.aeronautica.difesa.it/wp-content/uploads/2022/11/BIBLIO_FIN_N.pdf)
- Carrer, M., Dibona, R., Prendin, A. L. e Brunetti, M.
- 2023 *Recent waning snowpack in the Alps is unprecedented in the last six centuries*, in «Nature Climate Change», vol. XIII, pp. 155-60.
- Caserini, S.
- 2008 *A qualcuno piace caldo. Errori e leggende sul clima che cambia*, Ambiente, Milano.
- Cassardo, C., Acordon, V., Mercalli, L. e Cat Berro, D.
- 2007 *Caldo eccezionale dell'estate 2003 in Europa: cause ed effetti*, in «Nimbus», n. 43-44.
- Cat Berro, D.
- 2023 *Novembre 2019, un mese di estremi meteorologici in Italia: alluvioni*,

- mareggiate, acqua alta e valanghe*, in «Nimbus», n. 90.
- Cat Berro, D., Acordon, V. e Castellano, C.
- 2022 *Tempesta «Vaia» del 27-30 ottobre 2018 in Italia: scirocco eccezionale, mareggiate e alluvioni*, in «Nimbus», n. 88.
- Cat Berro, D. e Mercalli, L.
- 2017 *Le alluvioni del 4 novembre 1966 in Triveneto, Emilia-Romagna e Toscana*, in «Nimbus», n. 77.
- 2018 *Le alluvioni di inizio novembre 1968 nel Biellese e nel Monferrato*, in «Nimbus», n. 80.
- Catenacci, V.
- 1992 *Il dissesto geologico e geoambientale in Italia dal dopoguerra al 1990*, Servizio geologico d'Italia, Memorie descrittive della carta geologica d'Italia - Regio Ufficio geologico, Carta Geologica d'Italia XLVII, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Cavaleri, L., Davolio, S. e Magnusson, L.
- 2022 *Vaia, 29 ottobre 2018: perché un vento così forte?*, in «Nimbus», n. 88.
- Cavina, G.
- 1969 *Le grandi inondazioni dell'Arno attraverso i secoli*, Bonechi, Firenze.
- Cazzuli, O., Zanetti, M. e Wolter, A.
- 2024 *Il clima di Milano nei secoli: oltre 260 anni di misure meteorologiche all'osservatorio «centenario» di Brera*, in «Nimbus», n. 91.
- Celuzza, M.
- 2011 *Il «De Reditu» di Rutilio Namaziano e l'archeologia tardoantica delle coste tirreniche*, in C. Casi (a cura di), *Il mare degli antichi. Miti, marinai e imbarcazioni dalla Preistoria al Medioevo*, Editrice Laurum, Pitigliano.
- CENCO<sub>2</sub>PIP Consortium,
- 2023 *Towards a Cenozoic history of CO<sub>2</sub>*, in «Science», vol. CCCLXXXII, n. 6675.
- Cheng, H. *et al.*
- 2020 *Timing and structure of the Younger Dryas event and its underlying climate dynamics*, in «PNAS», vol. CXVII, n. 38, pp. 23408-17.
- Chiara, P.
- 1989 *Sale e tabacchi*, Mondadori, Milano.
- Cho, J. H.
- 2014 *The Little Ice Age and the coming of the Anthropocene*, in «The Asian Review of World Histories», vol. II, n. 1.
- Cibotto, G. A.

- 2021 *Cronache dell'alluvione. Polesine 1951*, La nave di Teseo, Milano.
- CLIMEX Maps Italy, Vai & Cantelli
- 2004 *Litho-palaeoenvironmental Maps of Italy During the Last Two Climatic Extremes, Map 1 – Last Glacial Maximum*.
- Cocheo, C. e Camuffo, D.
- 2002 *Corrections of systematic errors and data homogenisation in the daily temperature Padova series (1725-1998)*, in «Climatic Change», vol. LIII, pp. 77-100.
- Colombo, N. et al.
- 2023 *Unprecedented snow-drought conditions in the Italian Alps during the early 2020s*, in «Environmental Research Letters», vol. XVIII.
- Comani, S.
- 1986 *Descrizione del clima a Bologna nel Settecento attraverso l'analisi di serie strumentali*, in Finzi.
- Condivi, A.
- 1965 *La vita di Michelangelo nel racconto di Ascanio Condivi*, Mondadori, Milano.
- Consorzio PAGES 2k
- 2013 *Continental-scale temperature variability during the past two millennia*, in «Nature Geoscience», vol. VI, pp. 339-46.
- Corte, E. et al.
- 2024 *Multitemporal characterization of a proglacial system. A multidisciplinary approach*, in «Earth System Science Data», vol. XVI, n. 7, pp. 3283-306.
- Cremaschi, M.
- 2009 *Ambiente, clima e uso del suolo nella crisi della cultura delle Terramare*, in «Scienze dell'antichità», vol. XV.
- Cremaschi, M. et al.
- 2015 *Climate change versus land management in the Po Plain (Northern Italy) during the Bronze Age. New insights from the VP/VG sequence of the Terramara Santa Rosa di Poviglio*, in «Quaternary Science Reviews», vol. CXXXVI, pp. 153-72.
- Crescenti, U. e Mariani, L.
- 2010 *È mutato il clima delle Alpi in epoca storica? L'eredità scientifica di Umberto Monterin*, in «Geoitalia», vol. XXX.
- Dal Sito, M. e Wu Ming 1
- 2020 *Quando qui sarà tornato il mare. Storie dal clima che ci attende*, Alegre, Roma.

D'Angelis, E.

2016 *Angeli del fango*, Giunti, Firenze-Milano.

Datei, C.

1994 *Le rotte del Po*, in *Il fiume e la sua terra. Tutela e gestione del territorio a quarant'anni dall'alluvione del Polesine 1951-1991. Atti del convegno, Accademia dei Concordi di Rovigo, 27-28 settembre 1991*, Istituto veneto di scienze, lettere ed arti, Venezia.

Dean, T.

2011 *Natural encounters: climate, weather and the Italian Renaissance*, in «European Review of History», vol. XVIII, n. 4, pp. 545-61.

Dell'Oro, G.

2022 *Acque, inondazioni, disastri idrici: un dialogo aperto a varie discipline*, in G. Albini *et al.* (a cura di), *Il fuoco e l'acqua. Prevenzione e gestione dei disastri ambientali fra Medioevo e Età Moderna*, in «Quaderni di Studi di Storia Medioevale e di Diplomatica», n. 7, pp. 241-51.

De Martin, F., Davolio, S., Miglietta, M. M. e Levizzani, V.

2024 *A Conceptual Model for the Development of Tornadoes in the Complex Orography of the Po Valley*, in «Monthly Weather Review», vol. CLII, n. 6, pp. 1357-77.

Diaz, H. F., Trigo, R., Hughes, M. K., Mann, M. E., Xoplaki, E. e Barriopedro, D.

2011 *Spatial and temporal characteristics of climate in Medieval times revisited*, in «Bulletin of the American Meteorological Society», vol. XLII, n. 11, pp. 1487-500.

Di Napoli, G. e Mercalli, L.

1996 *Moncalieri, 130 anni di meteorologia, 1865-1994*, Società Meteorologica Subalpina, Torino.

2008 *Il clima di Torino*, Società Meteorologica Subalpina, Torino.

Diodato, N., Mazza, G. e Amendola, E.

2000 *L'alluvione del 5 maggio 1998 in Campania*, in «Nimbus», n. 19-20.

Di Rita, F. e Magri, D.

2019 *The 4.2 ka event in the vegetation record of the central Mediterranean*, in «Climate of the Past», vol. XV, n. 1, pp. 237-51.

Enzi, S. *et al.*

2013 *Temperature reconstruction for North-Eastern Italy over the last millennium. Analysis of documentary sources from the historical perspective*, in «The Medieval History Journal», vol. XVI, n. 1, pp. 89-120.

Epica community members

2004 *Eight glacial cycles from an Antarctic icecore*, in «Nature», vol. CDXXIX, pp. 623-28.

Esper, J., Torbenson, M. e Büntgen, U.

2024 *2023 summer warmth unparalleled over the past 2,000 years*, in «Nature», vol. LCXXI, pp. 94-97.

Eurac

2022 *Una mummia di marmotta di 6600 anni esaminata nei laboratori di Eurac Research*, Bolzano, comunicato stampa del 18 ottobre.

Faccini, F., Luino, F., Paliaga, G., Sacchini, A. e Turconi, L.

2015 *Yet another disaster flood of the Bisagno stream in Genoa (Liguria, Italy). October the 9th-10th 2014 event*, in «Rendiconti online della Società Geologica Italiana», n. 35, pp. 128-31.

Federici, P. R., Ribolini, A. e Spagnolo, M.

2017 *The glacial history of the Maritime Alps, from the Last Glacial Maximum to the Little Ice Age*, in P. D. Hughes e J. C. Woodward (a cura di), *Quaternary Glaciation in the Mediterranean Mountains*, Geological Society, London, Special Publications, vol. CCCXXXIII.

Feniello, A.

2021 *Demoni, venti e draghi. Come l'uomo ha imparato a vincere catastrofi e cataclismi*, Laterza, Bari-Roma.

Fenoglio, B.

1990 *Una questione privata – I ventitre giorni della città di Alba*, Einaudi, Torino.

Ferrari, I. e Pellegrini, M.

2007 (a cura di), *Un Po di carte*, Diabasis, Reggio nell'Emilia.

Ferrarin, C. et al.

2022 *Venice as a paradigm of coastal flooding under multiple compound drivers*, in «Nature, Scientific Reports», vol. XII, art. 5754.

Finsinger, W. et al.

2008 *Temporal patterns in lacustrine stable isotopes as evidence for climate change during the late glacial in the Southern European Alps*, in «Journal of Paleolimnology », vol. XL, pp. 885-95.

Finzi, R.

1986 (a cura di), *Le meteore e il frumento. Clima, agricoltura, meteorologia a Bologna nel '700*, il Mulino, Bologna.

Fontana, A. et al.

2019 *Geomorphological and geoarchaeological evidence of the Medieval Deluge in the*

- Tagliamento river (NE Italy), in Idd., *Palaeohydrology*, Springer International, Cham.
- Forno, M. G.
- 1979 *Il «Loess» della collina di Torino*, in «Geografia fisica e dinamica quaternaria», n. 2.
- Fortunato, G.
- 1911 *La questione meridionale e la riforma tributaria* (1904), in Id., *Il Mezzogiorno e lo Stato italiano*, Laterza, Bari.
- Foti, E.
- 2012 *Da Giampilieri a Saponara: analisi delle cause scatenanti e delle cause predisponenti*, in Riassunti dell'incontro «Cosa non funziona nella difesa dal rischio idrogeologico nel nostro Paese? Analisi e rimedi», Palazzo Corsini, Roma, 23 marzo.
- Frati, M.
- 2015 «Questo diluvio fece alla città e contado di Firenze infinito danno». *Danni, cause e rimedi nell'alluvione del 1333*, in M. Galtarossa e L. Genovese (a cura di), *Acque amiche, acque nemiche: una storia di disastri e di quotidiana convivenza*, in «Città & Storia», a. X, n. 1, pp. 41-60.
- 2017 *L'assetto dell'Arno a monte e a valle di Firenze nel 1333: ecofatti, manufatti e misfatti intorno al «grande diluvio»*, in C. Bianca e F. Salvestrini (a cura di), *L'acqua nemica. Fiumi, inondazioni e città storiche dall'antichità al contemporaneo*, atti del Convegno a cinquant'anni dall'alluvione di Firenze (1966-2016), Fondazione Centro italiano di studi sull'alto medioevo, Spoleto (PG).
- Frigerio, D., Di Napoli, G. e Mercalli, L.
- 1995 *Padre Francesco Denza: dall'Osservatorio di Moncalieri alla Società Meteorologica Italiana*, in «Nimbus», n. 5.
- Gabrielli, P. et al.
- 2016 *Age of the Mt. Ortles ice cores, the Tyrolean Iceman and glaciation of the highest summit of South Tyrol since the Northern Hemisphere Climatic Optimum*, in «The Cryosphere», vol. X, n. 6, pp. 2779-97.
- Galli, I.
- 1912 *L'inverno tardivo del 1912 e le irregolarità delle stagioni nei secoli scorsi*, in «Memorie della Pontificia Accademia Romana dei Nuovi Lincei», vol. XXX.
- Galtarossa, M.
- 2022 *Padova e le sue acque nella prima età moderna*, in G. Albini et al. (a cura di),

- Il fuoco e l'acqua. Prevenzione e gestione dei disastri ambientali fra Medioevo e Età Moderna*, in «Quaderni di Studi di Storia Medioevale e di Diplomatica», n. 7, pp. 181-98.
- Gao, C., Robock, A. e Ammann, C.
- 2008 *Volcanic forcing of climate over the past 1500 years. An improved ice core-based index for climate models*, in «Journal of Geophysical Research», vol. CXIII, n. D23.
- Gee, H.
- 2006 *Tempo profondo. Antenati, fossili, pietre*, trad. it. di M. Luzzatto, Einaudi, Torino.
- Giacosa, G.
- 1886 *La neve*, in Id., *Novelle e paesi valdostani*, F. Casanova, Torino.
- Giandotti, M.
- 1929 *La formazione dei ghiacci nel Po nell'inverno 1929*, Servizio Idrografico, Ministero dei Lavori pubblici, Roma.
- Gianotti, F.
- 2012 (a cura di), *L'impronta del ghiacciaio. Anfiteatro morenico di Ivrea. Un unicum geologico*, Bolognino, Ivrea.
- Gianotti, F. e Giardino, M.
- 2018 *L'Anfiteatro morenico di Rivoli-Avigiana*, in Mercalli e Cat Berro.
- Gibbons, A.
- 2018 *Why 536 was «the worst year to be alive». Glacier cores reveal Icelandic volcano that plunged Europe into darkness*, in «Science», vol. CCCLXII, n. 6416.
- Giraudi, C.
- 1998 *La deglaciazione tardopleistocenica sui M. Sirino e Pollino*, in «Il Quaternario», vol. XI, n. 2, pp. 247-54.
- Goosse, H., Arzel, O., Luterbacher, J., Mann, M. E., Renssen, H., Riedwyl, N., Timmermann, A., Xoplaki, E. e Wanner, H.
- 2006 *The origin of the European «Medieval Warm Period»*, in «Climate of the Past», vol. II, n. 2, pp. 99-113.
- Graeber, D. e Wengrow, D.
- 2022 *L'alba di tutto. Una nuova storia dell'umanità*, trad. it. di R. Zuppet, Rizzoli, Milano.
- Greco, A. e Palmieri, P.
- 2024 *La nevicata del secolo. L'Italia nel 1985*, il Mulino, Bologna.
- Grove, J. M.
- 1988 *The Little Ice Age*, Methuen, London - New York.

Guidoboni, E.

1998 *Human Factors, Extreme Events and Floods in the Lower Po Plain (Northern Italy) in the 16th Century*, in «Environment and History», vol. IV, n. 3, pp. 279-308.

2010 (a cura di), *Nella spirale del clima. Culture e società mediterranee di fronte ai mutamenti climatici*, Bononia University Press, Bologna.

Guillet, S. et al.

2017 *Climate response to the Samalas volcanic eruption in 1257 revealed by proxy records*, in «Nature Geoscience», vol. X, pp. 123-28.

Guzzetti, F.

2015 *Frane e alluvioni, una lunga storia italiana*, in «Ecoscienza. Rivista di ARPAE - Agenzia regionale prevenzione e ambiente dell'Emilia-Romagna», vol. VI, n. 3, pp. 12-13.

Harper, K.

2019 *Il destino di Roma. Clima, epidemie e la fine di un impero*, trad. it. di L. Giaccone, Einaudi, Torino.

Harrison, S. et al.

2018 *Late Quaternary meltwater pulses and sea level changes*, in «Journal of Quaternary Science», vol. XXXIV, n. 1.

Helama, S.

2024 *The 4.2 ka event. A review of palaeoclimate literature and directions for future research*, in «The Holocene», vol. XXXIV, n. 9.

Helama, S. et al.

2017 *Dark Ages Cold Period. A literature review and directions for future research*, in «The Holocene», vol. XXVII, n. 10.

Helas, P.

2017 «... per Roma l'acqua sua spandendo». *Giuliano Dati's Diluvio del 1495 and the representation of the flood in word and image*, in «Römisches Jahrbuch der Bibliotheca Hertziana», vol. XLIII, pp. 99-126.

Hodgson, K. A. e Nairn, I. A.

2005 *The c. AD 1315 syn-eruption and AD 1904 post-eruption breakout floods from Lake Tarawera, Haroharo caldera, North Island, New Zealand*, in «New Zealand Journal of Geology and Geophysics», vol. XLVIII, n. 3, pp. 491-506.

ICCI - International Cryosphere Climate Initiative

2022 *State of the Cryosphere 2022. Growing losses, global impacts*, novembre.

IPCC AR6

- 2021 *Climate Change 2021. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental panel on Climate change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ivy-Ochs, S., Kerschner H., Maisch, M. et al.
- 2009 *Latest Pleistocene and Holocene glacier variations in the European Alps*, in «Quaternary Science Reviews», vol. XXVIII, n. 21-22, pp. 2137-49.
- Joerin, U. E., Nicolussi, K., Fischer, A., Stocker, T. F. e Schlüchter, C.
- 2008 *Holocene optimum events inferred from subglacial sediments at Tschierva Glacier, Eastern Swiss Alps*, in «Quaternary Science Reviews», vol. XXVII, n. 3-4, pp. 337-50.
- Jones, P.
- 2008 *Historical climatology. A state of the art review*, in «Weather», vol. LXIII, n. 7, pp. 181-86.
- Kaufman, D. et al.
- 2020 *Holocene global mean surface temperature, a multi-method reconstruction approach*, in «Nature, Scientific Data», vol. VII, art. 201.
- Keys, D.
- 2000 *Catastrofe*, trad. it. di F. Saba Sardi, Piemme, Casale Monferrato (Al).
- Kimutai, J. et al.
- 2024 *Climate change and high exposure increased costs and disruption to lives and livelihoods from flooding associated with exceptionally heavy rainfall in Central Europe*, <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-and-high-exposure-increased-costs-and-disruption-to-lives-and-livelihoods-from-flooding-associated-with-exceptionally-heavy-rainfall-in-central-europe/>
- Kuhl, E. et al.
- 2024 *Revising Alpine summer temperatures since 881 CE*, in «Climate Dynamics», vol. LXII, pp. 6141-57.
- Labate, D. e Malnati, L.
- 2010 *Il sottosuolo di Modena e la salvaguardia del patrimonio archeologico*, in *Atti del convegno sulla geologia urbana di Modena, 2008*, in «Geologia dell'Ambiente. Periodico trimestrale della Sigea - Società Italiana di Geologia Ambientale», n. 2.
- Lamb, H.
- 1965 *The early medieval warm epoch and its sequel*, in «Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology», n. 1, pp. 13-37.
- 1972 *Climate. Present, past and future*, 2 voll., Methuen, London (riedito

- Routledge, New York 2011).
- Larocque, I. e Finsinger, W.
- 2008 *Late-glacial chironomid-based temperature reconstructions for Lago Piccolo di Avigliana in the southwestern Alps (Italy)*, in «Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology», n. 257, pp. 207-23.
- Lavigne, F. et al.
- 2013 *Source of the great A. D. 1257 mystery eruption unveiled, Samalas volcano, Rinjani Volcanic Complex, Indonesia*, in «PNAS», vol. CX, n. 42.
- Le Bohec, Y.
- 2017 *Histoire des guerres romaines*, Tallandier, Paris.
- Lelo, K. e Palazzo, F.
- 2006 *L'alluvione di Roma nel 1870: una ricostruzione con tecniche G. I. S.*, in «Mélanges de l'École française de Rome. Italie et Méditerranée», vol. CXVIII, n. 1, pp. 61-71.
- Leoni, D.
- 2015 *La guerra verticale. Uomini, animali e macchine sul fronte di montagna. 1915-1918*, Einaudi, Torino.
- Le Roy Ladurie, E.
- 1959 *Histoire et Climat*, in «Annales. Economies, sociétés, civilisations», a. XIV, n. 1, pp. 3-34.
- 1982 *Tempo di festa, tempo di carestia. Storia del clima dall'anno mille*, trad. it. di L. Felici, Einaudi, Torino.
- 2013 *Du déterminisme climatique en histoire*, in «Bulletin de l'association de géographes français», vol. XC, n. 1, pp. 5-11.
- Leveau, Ph. e Mercalli, L.
- 2011 *Hannibal et les Alpes: l'identification du col franchi et son contexte environnemental*, in J.-P. Jospin e L. Dalaine, *Hannibal et les Alpes. Une traversée, un mythe*, catalogo della mostra al Musée dauphinois, Grenoble.
- Lewis, S. L. e Maslin, M. A.
- 2019 *Il pianeta umano. Come abbiamo creato l'Antropocene*, trad. it. di S. Frediani, Einaudi, Torino.
- Litzenburger, L.
- 2011 *La vulnérabilité urbaine: Metz et son climat à la fin du Moyen Âge*, tesi di dottorato, 9 dicembre, Université Nancy2, École doctorale «Langages, Temps, Sociétés».
- Lombroso, L. e Quattrocchi, S.
- 2008 *L'Osservatorio di Modena: 180 anni di misure meteoclimatiche*, Società

- Meteorologica Subalpina, Torino.
- Loveluck, C. *et al.*  
2018 *Alpine ice-core evidence for the transformation of the European monetary system, AD 640-670*, in «Antiquity», vol. XCII, n. 366, pp. 1-15.
- Luino, F.  
1994 *Effetti dell'evento pluviometrico del 23-24 settembre 1993 nell'Italia nord-occidentale*, in «Nimbus», n. 2.
- Luterbacher, J. *et al.*  
2004 *European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500*, in «Science», vol. CCCIII, n. 5663, pp. 1499-503.
- 2016 *European summer temperatures since Roman times*, in «Environmental Research Letters», vol. XI, n. 2.
- Magny, M. *et al.*  
2013 *North-south palaeohydrological contrasts in the central Mediterranean during the Holocene. Tentative synthesis*, in «Climate of the Past», vol. IX, pp. 1901-67.
- 2022 *Variations du niveau du Lac d'Annecy (Haute Savoie, France) au cours de l'Holocène: implications paléoclimatiques et archéologiques*, in «Quaternaire», vol. XXXIII, n. 3.
- Mahaney, W. C. *et al.*  
2016 *Biostratigraphic evidence relating to the age-old question of Hannibal's invasion of Italy*, parte I e II, in «Archaeometry», vol. XLIX, n. 1.
- Mangianti, F. e Beltrano, M. C.  
1991 *La neve a Roma dal 1741 al 1990*, Ministero dell'Agricoltura e delle foreste, Ufficio centrale di Ecologia agraria, Roma.
- Mangianti, F. e Leone, F.  
2008 *Analisi climatiche delle temperature e delle precipitazioni a Roma*, in Apat, Servizio Geologico Nazionale, *La geologia di Roma dal centro storico alla periferia*, «Memorie descrittive della carta Geologica d'Italia», vol. LXXX, Selca, Firenze, pp. 169-86.
- Mann, M. E., Fuentes, J. D. e Rutherford, S.  
2012 *Underestimation of volcanic cooling in tree-ring-based reconstructions of hemispheric temperatures*, in «Nature Geoscience», vol. V, art. 3, pp. 202-5.
- Mann, M., Zhang, Z., Hughes, M. K., Bradley, R. S., Miller, S. K., Rutherford, S. e Ni, F.  
2008 *Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia*, in «PNAS», vol. CV, n. 36, pp. 13252-57.

- Marcott, S. e Shakun, J. D.  
2021 *Global temperature changes mapped across the past 24,000 years*, in «Nature», vol. DIC, art. 7884, pp. 208-9.
- Margaritelli, G., Cacho, I., Català, A., Barra, M. e Bellucci, L. G.  
2020 *Persistent warm Mediterranean surface waters during the Roman period*, in «Nature Scientific Reports», vol. X.
- Marsico, A. et al.  
2017 *Flooding scenario for four Italian coastal plains using three relative sea level rise models*, in «Journal of Maps», vol. XIII, n. 2, pp. 961-67.
- Martinetto, E. et al.  
2018 *Scoperta di macrofossili vegetali (4.8-4.7 ka cal BP) al Lago Cadagno nell'ambito delle attività dei Naturalisti dell'Università di Torino in Val Piora (Canton Ticino, Svizzera)*, in «Bollettino della Società ticinese di scienze naturali», n. 106, pp. 113-24.
- Matiu, M. et al.  
2021 *Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019*, in «The Cryosphere», vol. XV, n. 3, pp. 1343-82.
- Maugeri, M., Buffoni, L., Delmonte, B. e Fassina, A.  
2002 *Daily Milan temperature and pressure series (1763-1998): completing and homogenising the data*, in «Climatic Change», vol. LIII, n. 1, pp. 119-49.
- Mazzoni, G. B., Olivieri, M. e Ratti, M.  
1998 *L'evento alluvionale del 19 giugno 1996 in alta Versilia (Alpi Apuane)*, in «Nimbus», n. 13-14.
- McConnell, J. et al.  
2020 *Extreme climate after massive eruption of Alaska's Okmok volcano in 43 BCE and effects on the late Roman Republic and Ptolemaic Kingdom*, in «PNAS», vol. CXVII, n. 27, pp. 15443-49.
- McCormick, M. et al.  
2007 *Volcanoes and the Climate Forcing of Carolingian Europe, A. D. 750-950*, in «Speculum», vol. LXXXII, n. 4, pp. 865-95.
- McCormick, M., Büntgen, U., Cane, M. A. et al.  
2012 *Climate change during and after the Roman Empire. Reconstructing the past from scientific and historical evidence*, in «The Journal of Interdisciplinary History», vol. XLIII, n. 2, pp. 169-220.
- McCouat, P.  
2013 *The emergence of the winter landscape: Bruegel and his predecessors*, in «Journal of Art in Society».

- McKay, D. A. *et al.*  
2022 *Exceeding 1.5 °C global warming could trigger multiple climate tipping points*, in «Science», vol. CCCLXXVII, n. 6611.
- Meda, R., Ricciardi, F. e Asnaghi, G.  
2005 *1985-2005: vent'anni dalla nevicata del secolo a Milano*, in «Nimbus», n. 35.
- Menna, F.  
1997 *Le piene*, in E. Turri e S. Ruffo (a cura di), *L'Adige, il fiume, gli uomini, la storia*, Cierre, Verona.
- Mercalli, L.  
2003 (a cura di), *Atlante climatico della Valle d'Aosta*, Società Meteorologica Subalpina, Torino.
- Mercalli, L. e Cat Berro, D.  
2001 *L'evento alluvionale del 13-17 ottobre 2000 nel bacino del Po: analisi pluviometrica*, in «Nimbus», n. 21-22.
- 2005 *Climi, acque e ghiacciai tra Gran Paradiso e Canavese*, Società Meteorologica Subalpina, Bussoleno (To).
- 2018 *Due mila anni di clima in Val di Susa. Da Annibale al riscaldamento globale*, Società Meteorologica Subalpina, Moncalieri (To).
- Mercalli, L., Cat Berro, D., Fornengo, F., Tamburini, A., Villa, F. e Golzio, A.  
2016 *Ghiacciaio Ciardoney (Gran Paradiso): un trentennio di monitoraggio (1986-2016)*, in «Nimbus», n. 76.
- Mercalli, L., Cat Berro, D., Sergi, G., Cancian, P., Bertolotto, S., Cereia, D., Lombardi, P., Ludovici, A. M. e Zonato, A.  
2012 *Progetto «Archlim»: ricostruzione del clima medievale da fonti documentarie in area alpino-padana*, in «Nimbus», n. 65-66.
- Mercalli, L. e Mortara, G.  
1996 *La sovraincisione della morena del ghiacciaio meridionale del Mulinet: aspetti climatologici e geomorfologici*, Società Storica delle Valli di Lanzo.
- 2002 *Il lago «Effimero» sul ghiacciaio del Belvedere, Macugnaga, Monte Rosa*, in «Nimbus», n. 23-24.
- Mercalli, L., Paludi, S. e Dutto, F.  
1995 *Alluvione del 5-6 novembre 1994 in Italia NW: analisi pluviometrica*, in «Nimbus», n. 6-7.
- Merlone, A., Pasotti, L., Musacchio, C., Bessemoulin, P., Brunet, M., El Faldi, K., Jones, P., Van der Schrier, G., Raspanti, A., Trewin, B., Krahenbuhl, D. e Cerveny, R.

2024 *Evaluation of the highest temperature WMO region VI Europe (continental): 48.8 °C, Siracusa Sicilia, Italy on August 11, 2021*, in «International Journal of Climatology», vol. XLIV, n. 3, pp. 1-8.

Mezzalama, R.

2021 *Il clima che cambia l'Italia. Viaggio in un Paese sconvolto dall'emergenza climatica*, Einaudi, Torino.

Micela, G., Granata, L. e Iuliano, V.

2001 *Due secoli di pioggia a Palermo*, Università di Palermo - Osservatorio astronomico di Palermo G. S. Vaiana, Palermo.

Miller, G. et al.

2012 *Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks*, in «Geophysical Research Letters», vol. XXXIX, n. 2.

Monegato, G., Gianotti, F., Ivy-Ochs, S., Reitner, J. M., Scardia, G. e Akçar, N.

2023 *The early and middle Pleistocene glaciations in the Alps*, in «Alpine and Mediterranean Quaternary», vol. XXXVI, n. 2.

Mònterin, U.

1932 *Le variazioni secolari del clima del Gran S. Bernardo: 1818-1931 e le oscillazioni del ghiacciaio del Lys al Monte Rosa: 1789-1931*, in «Bollettino del Comitato glaciologico Italiano», serie I, n. 12.

1937 *Il clima sulle Alpi ha mutato in epoca storica?*, CNR, Comitato Nazionale per la Geografia, Bologna.

Moore, A. M. T. et al.

2020 *Evidence of Cosmic Impact at Abu Hureyra, Syria at the Younger Dryas Onset (12.8 ka): High-temperature melting at >2200 °C.*, in «Nature Scientific Reports», vol. X, art. 1.

Moran, A. P. et al.

2016 *Evidence of central Alpine glacier advances during the Younger Dryas - early Holocene transition period*, in «Boreas», vol. XLV, n. 3.

Mortara, G., Chiarle, M., Tamburini, A., Mercalli, L. e Cat Berro, D.

2023 *A vent'anni dal Lago Effimero (Ghiacciaio del Belvedere, Monte Rosa): eredità di un evento emblematico per le Alpi*, in «Nimbus», n. 90.

Mortara, G. e Tamburini, A.

2009 (a cura di), *Il Ghiacciaio del Belvedere e l'emergenza del Lago Effimero. Società Meteorologica Subalpina*, Castello Borello (To).

National Research Council

1975 *Understanding Climatic Change. A program for action*, The National

- Academy Press, Washington (D. C.).
- Neukom, R. *et al.*  
2019 *No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era*, in «Nature», vol. DLXXI, art. 7766, pp. 550-54.
- Neumann, J.  
1992 *Climatic conditions in the Alps in the years about the year of Hannibal's crossing (218 BC)*, in «Climatic Change», vol. XXII, pp. 139-50.
- Newfield T.,  
2018 *The climate downturn of 536-50*, in White, Pfister e Mauelshagen.
- Nicolussi, K. *et al.*  
2022 *The glacier advance at the onset of the Little Ice Age in the Alps. New evidence from Mont Miné and Morteratsch glaciers*, in «The Holocene», vol. XXXII, n. 41.
- Nicolussi, K., Jorin, U. E., Thurner, A. e Schlüchter, C.  
2009 *Tree-ring based evidence for a Holocene thermal maximum period in the Alps around 7 ka BP*, in *Eurodendro 2009. Developments, Advances, Challenges*, Eigenverlag, Mallorca, p. 84.
- Nicolussi, K. e Patzelt, G.  
2000 *Discovery of early-Holocene wood and peat on the forefield of the Pasterze Glacier, Eastern Alps, Austria*, in «The Holocene», vol. X, n. 2, pp. 191-99.
- Nicolussi, K. e Schlüchter, C.  
2012 *The 8.2 ka event. Calendar-dated glacier response in the Alps*, in «Geology», vol. XL, n. 9, pp. 819-22.
- Orombelli, G.  
1998 *Le torbe del Rutor: una successione significativa per la storia olocenica dei ghiacciai e del clima nelle Alpi*, in «Memorie della Società Geografica Italiana», vol. LV, pp. 153-65.
- 2005 *Il Ghiacciaio del Rutor (Valle d'Aosta) nella Piccola Età Glaciale*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», suppl. VII, pp. 239-57.
- 2007 *Variabilità naturale del clima nell'Olocene ed in tempi storici. Un approccio geologico*, in «Quaderni della Società Geologica Italiana», n. 1.
- Osman, M. B. *et al.*  
2021 *Globally resolved surface temperatures since the Last Glacial Maximum*, in «Nature», vol. DIC, pp. 239-44.
- Pappert, D. *et al.*  
2021 *Unlocking weather observations from the Societas Meteorologica Palatina (1781-1792)*, in «Climate of the Past», vol. XVII, n. 6, pp. 2361-79.

Perello, P. *et al.*

2011 *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50 000, Foglio 89, Courmayeur*, Istituto superiore per la Protezione e la ricerca ambientale, Servizio Geologico d'Italia.

Peresani, M.

2018 *Come eravamo. Viaggio nell'Italia paleolitica*, il Mulino, Bologna.

Pfister, C.

2003 *I cambiamenti climatici nella storia dell'Europa. Sviluppi e potenzialità della climatologia storica*, in L. Bonardi (a cura di), *Che tempo faceva? Variazioni del clima e conseguenze sul popolamento umano. Fonti, metodologie e prospettive*, Franco Angeli, Milano, pp. 19-59.

2015a *Euro-Climhist, Module Switzerland, Release 2*, in C. Pfister e C. Rohr (a cura di), *Euro-Climhist. Sistema d'informazione sulla storia del tempo e del clima*, <http://www.euroclimhist.unibe.ch>

2015b *Tree-rings and people – different views on the 1540 Megadrought. Reply to Büntgen *et al.* 2015*, in «Climatic Change», vol. CXXXI, n. 2.

Pfister, Ch., Luterbacher, J., Schwartz Zanetti, G. e Wegmann, M.

1998 *Winter air temperature variations in Central Europe during the Early and High Middle Ages (AD 750-1300)*, in «The Holocene», vol. VIII, n. 5, pp. 535-52.

Pfister, C., White, S. e Mauelshagen, F.

2018 *Weather, climate and human history*, in White, Pfister e Mauelshagen.

Pievani, T. e Varotto, M.

2021 *Viaggio nell'Italia dell'Antropocene. La geografia visionaria del nostro futuro*, Aboca, Sansepolcro (Ar).

Pilø, L., Reitmaier, T., Fischer, A., Barrett, J. e Nesje, A.

2022 *Ötzi, 30 years on. A reappraisal of the depositional and post-depositional history of the find*, in «The Holocene», vol. XXXIII, n. 4.

Pinna, M.

1969 *Le variazioni del clima in epoca storica e i loro effetti sulla vita e sulle attività umane*, in «Bollettino della Società geografica italiana», serie IX, vol. X.

1984 *La storia del clima. Variazioni climatiche e rapporto clima-uomo in età postglaciale*, in «Memorie della Società geografica italiana», vol. XXXVI.

1988 *La teoria dei climi: una falsa dottrina che non muta da Ippocrate a Hegel*, in «Memorie della Società geografica italiana», vol. XLI.

Platz, A. e Zala, N.

2007 *Valposchiavo-Valtellina. 1987-2007, l'alluvione senza confini*, Menghini,

- Ponchiavo (Svizzera).
- Plini, P.
- 2018 *La morte bianca. Gli inverni della Grande Guerra nei documenti ufficiali*, in «Neve e valanghe», n. 91, pp. 46-51.
- PNACC
- 2023 *Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici*, MASE - Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica.
- Podestà, N.
- 2003 *Clima e variazioni climatiche nella Riviera dei Fiori. 125 anni di meteorologia ad Imperia (1876-2000)*, Ennepilibri, Imperia.
- Raicich, F. e Colucci, R. R.
- 2019 *A near-surface sea temperature time series from Trieste, northern Adriatic Sea (1899-2015)*, in «Earth System Science Data», vol. XI, n. 2.
- Ratti, M.
- 2010 *Atlante climatico della provincia di Massa-Carrara*, Società Meteorologica Subalpina, Bussoleno (To).
- 2023 *Il clima di Piacenza. Due secoli di cronache e dati dell'Osservatorio Alberoni*, Società Meteorologica Subalpina, Moncalieri (To).
- Ravazzi, C.
- 2007 *Il Tardoglaciale: suddivisione stratigrafica, evoluzione sedimentaria e vegetazionale nelle Alpi e in Pianura Padana*, in «Studi trentini di scienze naturali – Acta geologica», vol. LXXXII, pp. 17-29.
- Ravazzi, C. et al.
- 2001 *The maximum neoglacial advance of 3 major glaciers in the Italian Alps and its climatic framing*, in PAGES-PEPIII, *Past Climate Variability through Europe and Africa*, Aix-en-Provence.
- Reimann, L., Vafeidis, A. T., Brown, S., Hinkel, J. e Tol, R. S. J.
- 2018 *Mediterranean Unesco World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise*, in «Nature Communications», vol. IX, art. 4161.
- Ribes, A. et al.
- 2022 *An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint*, in «Earth System Dynamics», vol. XIII, n. 4, pp. 1397-415.
- Ricci, F.
- 2017 *Taglio del bosco, dilavamento delle acque e inondazioni nel bacino dell'Arno durante la seconda metà del Cinquecento*, in C. Bianca e F. Salvestrini (a cura di), *L'acqua nemica. Fiumi, inondazioni e città storiche dall'antichità al*

- contemporaneo. Atti del Convegno a cinquant'anni dall'alluvione di Firenze (1966-2016)*, Fondazione Centro Italiano Studi Alto Medioevo, Spoleto (PG).
- Ripple, W. J. *et al.*  
2023 *The 2023 state of the climate report. Entering uncharted territory*, in «BioScience», vol. LXXII, n. 12, pp. 841-50.
- 2024 *The 2024 state of the climate report. Perilous times on planet Earth*, in «BioScience», vol. LXXIV, n. 12, pp. 812-24.
- Rizzi, E.  
2003 *I Walser*, Fondazione Enrico Monti, Anzola d'Ossola (VCO).
- Robine, J.-M. *et al.*  
2008 *Death toll exceeded 70 000 in Europe during the summer of 2003*, in «Comptes Rendus Biologies», vol. CCCXXXI, n. 2, pp. 171-78.
- Rohr, C.  
2009 *Confronting avalanches in the Alps in the late Middle Ages and early Modern Era*, in V. Jankovic e C. Barboza (a cura di), *Weather, Local Knowledge and Everyday Life. Issues in Integrated Climate Studies*, MAST (Museu de Astronomia e Ciências Afins), Rio de Janeiro.
- Rosso, R.  
2014 *Bisagno. Il fiume nascosto*, Marsilio, Venezia.
- 2017 *Bombe d'acqua. Alluvioni d'Italia dall'Unità al terzo millennio*, Marsilio, Venezia.
- Rousi, E., Kornhuber, K., Beobide-Arsuaga, G. *et al.*  
2022 *Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia*, in «Nature Communications», vol. XIII, art. 3851.
- Rubbia, C.  
2014 Senato della Repubblica, XVII Legislatura, resoconto stenografico Commissioni riunite e congiunte 3<sup>a</sup> (Affari esteri, emigrazione) e 13<sup>a</sup> (Territorio, ambiente, beni ambientali) del Senato della Repubblica e III (Affari esteri e comunitari) e VIII (Ambiente, territorio e lavori pubblici) della Camera dei deputati, Audizione del ministro dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare Gian Luca Galletti sul recente accordo tra USA e Cina sul cambiamento climatico e sulle prospettive internazionali di protezione dell'Ambiente. 1<sup>a</sup> seduta: mercoledì 26 novembre 2014, <https://www.youtube.com/watch?v=2G-7xykTO14>
- Sacco, F.  
1917 *I ghiacciai ed i Laghi del Ruitor*, in «Bollettino della Società geologica italiana», vol. XXXVI.

- Salmelli D.,  
1986 *L'alluvione e il freddo: il 1705 e il 1709*, in Finzi.
- Salvestrini, F.  
2017 *Le inondazioni a Firenze e nella Valle dell'Arno dal XII al XVI secolo*, in C. Bianca e F. Salvestrini (a cura di), *L'acqua nemica. Fiumi, inondazioni e città storiche dall'antichità al contemporaneo. Atti del Convegno a cinquant'anni dall'alluvione di Firenze (1966-2016)*, Fondazione Centro Italiano Studi Alto Medioevo, Spoleto (PG).
- Savi, S., Dinale, R. e Comiti, F.  
2021 *The Sulden/Solda glacier (eastern Italian Alps). Fluctuations, dynamics and topographic control over the last 200 years*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», vol. XLIV, n. 1, pp. 15-30.
- Schenk, G. J.  
2007 «... prima ci fu la cagione de la mala provedenza de' Fiorentini...» *Disaster and «Life World». Reactions in the Commune of Florence to the flood of november 1333*, in «The Medieval History Journal», vol. X, n. 1-2, pp. 355-86.
- Scotti, R., Brardinoni, F., Crosta, G. B., Cola, G. e Mair, V.  
2017 *Time constraints for post-LGM landscape response to deglaciation in Val Viola, Central Italian Alps*, in «Quaternary Science Reviews», vol. CLXXVII, n. 1, pp. 10-33.
- Seguinot, J., Ivy-Ochs, S., Jouvet, G., Huss, M., Funk, M. e Preusser, F.  
2018 *Modelling last glacial cycle ice dynamics in the Alps*, in «The Cryosphere», vol. XII, n. 10, pp. 3265-85.
- Sereno, P.  
1981 *Annus fructificat, non tellus. Considerazioni preliminari sulla «piccola età glaciale» nelle campagne del basso Piemonte*, in «Bollettino della Società per gli studi storici, archeologici ed artistici della provincia di Cuneo», vol. LXXXV, pp. 155-87.
- Shi, F. et al.  
2022 *Roman Warm Period and late antique Little Ice Age in an earth system model large ensemble*, in «Journal of Geophysical Research: Atmospheres», vol. CXXVII, n. 16.
- Sigari, D.  
2021 *Birds and bovids: new parietal engravings at the Romanelli Cave, Apulia*, in «Antiquity», vol. XCL, n. 384.
- Sigl, M. et al.  
2015 *Timing and climate forcing of volcanic eruptions for the past 2,500 years*, in

- «Nature», vol. DXXIII, art. 7562.
- Silvestri, L.
- 1991 *Livigno 1951. Per non dimenticare*, in «Neve e valanghe», n. 12.
- Slawinska, J. e Robock, A.
- 2018 *Impact of volcanic eruptions on decadal to centennial fluctuations of Arctic Sea Ice extent during the Last Millennium and on initiation of the Little Ice Age*, in «Journal of Climate», vol. XXXI, n. 6, pp. 2145-67.
- Solerti, A.
- 1905 *Musica, ballo e drammatica alla corte medicea dal 1600 al 1637*, Bemporad, Firenze.
- Solitro, G.
- 1904 *Il lago di Garda*, Istituto italiano d'arti grafiche, Bergamo.
- Sorcinelli, P. e Tchaprasian, M.
- 2011 *L'alluvione. Il Polesine e l'Italia nel 1951*, Utet, Torino.
- Spirito, P.
- 1995 *La grande valanga di Bergamoletto*, L'arciere - Vivalda, Cuneo-Torino.
- Squatriti, P.
- 2010 *The floods of 589 and climate change at the beginning of the Middle Ages. An Italian microhistory*, in «Speculum», vol. LXXXV, n. 4, pp. 799-826.
- Stine, S.
- 1994 *Extreme and persistent drought in California and Patagonia during mediaeval time*, in «Nature», vol. CCCLXIX, art. 6481, pp. 546-49.
- Stoffel, M. et al.
- 2015 *Estimates of volcanic-induced cooling in the Northern Hemisphere over the past 1,500 years*, in «Nature Geosciences», vol. VIII, pp. 784-88.
- 2021 *Climatic, weather and socio-economic conditions corresponding with the mid-17th century eruption cluster*, in «Climate of the Past», vol. XVIII, n. 5, pp. 1083-108.
- Strada, E.
- 1987 *Le variazioni del Ghiacciaio del Lys dalla «Piccola glaciazione» ai giorni nostri*, in «Natura Bresciana», Annuario del Museo Civico di Scienze Naturali, Brescia, vol. XXIV, pp. 275-88.
- Sweatman, M. B. e Tsikritsis, D.
- 2017 *Decoding Göbekli Tepe with archaeoastronomy. What does the fox say?*, in «Mediterranean Archaeology and Archaeometry Hournal», vol. XVII, n. 1.
- Tan, X. et al.
- 2023 *Increasing global precipitation whiplash due to anthropogenic greenhouse gas*

- emissions*, in «Nature Communications», vol. XIV, art. 2796.
- Tatto, G.
- 1954 *La cronaca varesina di Giulio Tutto (1540-1620) ed i prezzi dei grani e del vino sul mercato di Varese dal 1525 al 1620*, *Fonti storiche, edite a cura della Società Storica Varesina, Società Storica Varesina (Varese)*, supplemento della «Rivista della Società Storica Varesina», Tip. Galli, Varese.
- Tognetti, S.
- 1999 *Problemi di vettovagliamento cittadino e misure di politica annonaria a Firenze nel XV secolo (1430-1500)*, in «Archivio Storico Italiano», vol. CLVII, n. 3 (581), pp. 419-52.
- Toohey, M. *et al.*
- 2018 *Clarifying the role of volcanism on mid-15th Century climate using historical sources proxy archives and climate modelling*, 20th EGU General Assembly, Proceedings from the conference held 4-13 April, 2018 in Vienna, Austria, p. 9964.
- Touring Club Italiano
- 1979 *Guida d'Italia. Abruzzo, Molise*, Touring Editore, Milano.
- Tranfaglia, G., Esposito, E., Porfido, S., Violante, C. e Mazzola, S.
- 2013 *Contesto meteo-climatico e pluviometrico dell'evento alluvionale dell'11-12 novembre 1773*, in E. Esposito, S. Mazzola, S. Porfido e G. Santoro, *Lo alluvione. Il disastro del 1773 a Cava [de' Tirreni] tra memoria storica e rimozione*, Edisud, Salerno.
- Tropeano, D.
- 1995 *L'evento alluvionale del 5-6 novembre 1994 in Piemonte*, in «Nimbus», n. 6-7.
- Tropeano, D. e Turconi, L.
- 2001 *Alluvione del 14-16 ottobre 2000 nell'Italia nord-ovest: cronaca di sintesi e commenti*, in «Nimbus», n. 21-22.
- Van Westen, R. *et al.*
- 2024 *Physics-based early warning signal shows that AMOC is on tipping course*, in «Science Advances», vol. X, n. 6.
- Vecchio, A., Anzidei, M., Serpelloni, E. e Florindo, F.
- 2019 *Natural Variability and Vertical Land Motion Contributions in the Mediterranean Sea-Level Records over the Last Two Centuries and Projections for 2100*, in «Water», vol. XI, n. 7.
- Vesco, M.
- 2014 *L'alluvione di Palermo del 1557 tra rischio idrogeologico, speculazione edilizia e piani di ricostruzione*, in M. Galtarossa e L. Genovese (a cura di), *La città*

- liquida, la città assetata: storia di un rapporto di lunga durata*, Palombi, Roma.  
Vinci-Corsini, M.
- 2002 *Francesco Foschi*, Skira, Milano.
- Vittore, M.
- 2000 *Un millennio a Cumiana*, Alzani, Pinerolo (TO).
- Wainman, L. *et al.*
- 2024 *Utilising a multi-proxy to model comparison to constrain the season and regionally heterogeneous impacts of the Mt Samalas 1257 eruption*, in «Climate of the Past», vol. XX, n. 4, pp. 951-68.
- Wanner, H. *et al.*
- 2022 *The variable European Little Ice Age*, in «Quaternary Science Reviews», vol. CCLXXXVII, n. 6.
- WEF - The World Economic Forum
- 2024 *Global Risks Report 2024, 19th Edition*, World Economic Forum, Genève.
- Wetter, O. *et al.*
- 2014 *The year-long unprecedented European heat and drought of 1540 – a worst case*, in «Climatic Change», vol. CXXV, pp. 349-63.
- Wetter, O. e Pfister, C.
- 2013 *An underestimated record breaking event – why summer 1540 was likely warmer than 2003*, in «Climate of the Past», vol. IX, n. 1, pp. 41-56.
- White, S., Pfister, C. e Mauelshagen, F.
- 2018 *The Palgrave Handbook of Climate History*, Palgrave Macmillan, London.
- Zachariah, M. *et al.*
- 2023 *Extreme heat in North America, Europe and China in July 2023 made much more likely by climate change*,  
<https://www.worldweatherattribution.org/extreme-heat-in-north-america-europe-and-china-in-july-2023-made-much-more-likely-by-climate-change/>
- 2024 *Climate change key driver of extreme drought in water scarce Sicily and Sardinia*,  
<https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-key-driver-of-extreme-drought-in-water-scarce-sicily-and-sardinia/>
- Zanchetta, G. *et al.*
- 2007 *Enhanced rainfall in the Western Mediterranean during deposition of sapropel S1: stalagmite evidence from Corchia cave (Central Italy)*, in «Quaternary Science Reviews», vol. XXVI, n. 3, pp. 279-86.
- 2016 *The so-called «4.2 event» in the central mediterranean and its climatic teleconnections*, in «Alpine and Mediterranean Quaternary», vol. XXIX, n. 1.

- 2021 *Beyond one-way determinism: San Frediano's miracle and climate change in Central and Northern Italy in late antiquity*, in «Climatic Change», vol. CLXV, n. 1-2.
- Zanchettin, D., Timmreck, C., Bothe, O., Lorenz, S. J., Hegerl, G., Graf, H. F., Luterbacher, J. e Jungclaus, J. H.
- 2013 *Delayed winter warming. A robust decadadal response to strong tropical volcanic eruptions?*, in «Geophysical Research Letters», vol. XL, n. 1, gennaio.
- Zanini, V.
- 2020 *L'eredità scientifica e culturale di Giuseppe Toaldo, a 300 anni dalla nascita*, in A. La Rana e P. Rossi (a cura di), Atti del XXXIX Convegno annuale = Proceedings of the 39th Annual Conference, Pisa, 9-12 settembre 2019; Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia (SISFA).
- Zanon, F. S.
- 1933 *Fattori meteorologici straordinari in Venezia e nei dintorni ricordati dai cronisti*, in G. Magrini (a cura di), *La laguna di Venezia*, vol. II, tomo III, Tipografia Carlo Ferrari, Venezia.
- Zekollari, H., Huss, M. e Farinotti, D.
- 2019 *Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble*, in «The Cryosphere», vol. XIII, n. 4, pp. 1125-46.
- Zhorneyak, L. V. et al.
- 2011 *Stratigraphic evidence for a «pluvial phase» between ca 8200-7100 ka from Renella cave (Central Italy)*, in «Quaternary Science Reviews», vol. XXX, n. 3-4, pp. 409-17.
- Zonneveld, K. A. F., Harper, K., Klügel, A., Chen, L., De Lange, G. e Versteegh, G. J. M.
- 2024 *Climate change, society, and pandemic disease in Roman Italy between 200 BCE and 600 CE*, in «Science Advances», n. 10.

# *Dello stesso autore*

*Viaggi nel tempo che fa  
Non c'è più tempo  
e Salire in montagna*