



Citation: Roberto Buizza, Francesco Misiti, Alessandra Sannella (2022). Il cambiamento climatico e l'impatto sulla salute: le *pathoclina*. *Società Mutamento Politica* 13(25): 83-95. doi: 10.36253/smp-13800

Copyright: © 2022 Roberto Buizza, Francesco Misiti, Alessandra Sannella. This is an open access, peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.fupress.com/smp>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Il cambiamento climatico e l'impatto sulla salute: le *pathoclina*

ROBERTO BUIZZA, FRANCESCO MISITI, ALESSANDRA SANNELLA

Abstract. Climate change has been accelerating, and this has been causing an increase of the number of intensity of its impacts on communities, including on their health. This link between climate change and health, a theme that we have named “pathoclina” (a neologism of the authors), an amplification of pathologies due to the increasing impact of climate change on society and the environment, is the subject of this contribution. Firstly, we present an analysis of the state of the climate and its impact on some respiratory, neurodegenerative, and mental health diseases. Then, we discuss some of the main conclusions of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report, and finally, we suggest that only through a transdisciplinary approach can we achieve the goal of zero net emissions by 2050. Only following a transdisciplinary approach, we could address climate change taking into account also all biological and sociological aspects of the problem.

Keywords. Climate change, health, epigenetics, temperature, pathoclina.

INTRODUZIONE¹

Sulla continuità e frattura di sistemi di relazione tra diverse discipline della scienza (intesa come “conoscenza” in senso lato, e non solo come scienza della natura), nel dibattito avviato già a inizio Novecento da Dilthey (Izzo 1991), si pone l'attuale *querelle* epistemologica, di poter indirizzare un dialogo transdisciplinare (Thompson 2008)², uscendo dalla logica binaria *Naturwissenschaften* und *Kulturwissenschaften* (Ferrarotti 1968: 284), per approdare alle sfide di un futuro complesso legato all'accelerazione del cam-

¹ Dato il carattere transdisciplinare dell'articolo, gli autori hanno ritenuto utile inserire un glossario in chiusura del lavoro per alcuni lemmi più specifici per le singole discipline.

² Il termine transdisciplinare – composto dal prefisso *trans*, dal latino, con il valore di oltre, al di là, attraverso – si fa risalire all'epoca classica. Con una connotazione più recente lo ritroviamo nella I Conferenza Internazionale sull'Interdisciplinarietà, patrocinata dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), svolta dal 7 al 12 settembre del 1970 in Francia. L'evento si articolava sul ruolo della pluridisciplinarietà e dell'interdisciplinarietà nell'università moderna. Tale concetto è collegato alla teoria del fisico rumeno Basarab Nicolescu e del principio di una struttura aperta dell'unità nella complessità. Il problema epistemologico che pone la transdisciplinarietà è la ricerca dell'unità – e non quella dell'educazione allo scambio come nel caso dell'interdisciplinarietà –. Il concetto che è alla base di questa teoria si riconduce all'idea che non tutto può essere adeguatamente spiegato riducendo alle proprietà delle sue parti o alla sua somma. L'approccio transdisciplinare è associato a un quadro *sinoptico*, una nuova forma della scienza.

biamento climatico e al suo impatto globale, in particolare sulla salute delle persone. Quest'ultimo aspetto è il tema di questa riflessione.

Proveremo quindi a spiegare la presenza di tre discipline che si intersecano nel presente lavoro – fisica, biochimica e sociologia –, con la volontà di proporre un'analisi fenomenologica del cambiamento in atto indirizzata a orientare una transizione sociale³ che coinvolga sia i sistemi sociali che quelli della natura, in un conditativo *Verstehen*. L'ardua riflessione parte dal presupposto di poter creare delle analisi congiunte che non hanno l'ardire di “contaminare”, quanto quello di colmare, vuoti tra le discipline. Esistono infatti fenomeni, come quello del cambiamento climatico e dell'impatto che questo può avere sulla salute delle persone, che impongono configurazioni di soluzioni che sono legate all'importanza del dialogo intorno a specifiche *Weltanschauungen*. I sistemi sociali contemporanei, caratterizzati da funzioni latenti – che trascendono l'interazione nell'infosfera – necessitano di riflettere sulle azioni sociali e sulla relazione che si crea tra l'ecosistema e le persone. Gli scenari che ne derivano influenzano i “mondi vitali” delle diverse popolazioni, mostrano ripercussioni sui mondi organici, sul sistema della natura e della cultura in modo reciproco. Allo stesso tempo, però, si percepisce un divario caratterizzato da alcuni elementi che minacciano fortemente lo sviluppo delle società del futuro, come l'accelerazione del cambiamento climatico interconnesso con la velocità dei mutamenti sociali, la crescente sfiducia nella (cono)scienza, lo sfruttamento eccessivo e non-sostenibile delle risorse naturali a nostra disposizione, le pose solipsistiche dei *decision maker* su scala internazionale, che arrancano nell'individuare e realizzare soluzioni di fronte alle complesse sfide legate al riscaldamento globale e alle emissioni di gas serra, tra cui i principali sono anidride carbonica (CO₂) e metano (CH₄) con la conseguente perdita della biodiversità sul pianeta.

Questi elementi, che potrebbero apparire slegati, mostrano un *frame* molto chiaro e già delineato che porterà delle ripercussioni legate al calo demografico, all'aumento dell'estrema povertà, la scarsità di acqua in molte parti del pianeta, l'impossibilità di coltivare i campi, le crisi alimentari, l'aumento delle zoonosi e i danni alla salute – diretti e indiretti – che a *cascade* generano insicurezza e conflitti ulteriori (oltre a quelli esisten-

ti). La possibilità quindi, di un dialogo transdisciplinare (Piko e Kopp 2007), rappresenta un'azione concreta per colmare la discrepanza di visione e proporre alcune spieghazioni possibili circa le azioni sociali da intraprendere, per superare il *gap* dei particolarismi e produrre risposte di conoscenza. Quest'ultima deve essere finalizzata, da un lato, alla richiesta di responsabilità sociale per concrete azioni di policy mirate a *mitigare* l'accelerazione del cambiamento climatico; dall'altro a produrre proposte di *adattamento* di azioni sociali volte a contrastare le minacce, in particolare, per la salute. Le pluralità di azioni che vengono auspiccate possono tener conto dell'elevato progresso scientifico di questo secolo, sia in termini tecnologici che epistemologici, e fornire quindi risposte più efficaci di quanto potevamo fare in passato. Il limite da porre nell'accelerazione al cambiamento climatico riflette la necessità di limitare i danni alle diverse specie animali e vegetali, nonché a quelle componenti del genere umano più esposte al suo impatto. I cittadini e le popolazioni che abitano il pianeta hanno una responsabilità specifica, che sottende alla necessità di avviare azioni collettive in grado di creare modelli di adattamento ma anche sistemi di mitigazione e garantire sia la *giustizia sanitaria* che la *giustizia tra le generazioni* (Pirni 2022: 63).

Nel presente lavoro si darà conto, in particolare, di ciò che definiremo come le *Pathoclimate* (neologismo degli autori), patologie amplificate dall'impatto che l'accelerazione del cambiamento climatico ha sulla salute delle popolazioni, sul sistema sociale e ambientale. Nella logica dell'approccio *One Health* (WHO 2017), ci si riferisce ad un processo necessario per affrontare efficacemente le sfide sanitarie. Queste sono evidentemente connesse, e soggette, ai mutamenti delle società contemporanee, e richiedono quindi un approccio olistico e basato sui sistemi, transdisciplinari. *One Health* è un approccio utile alla dimensione di analisi qui presentata, perché volto ad agire sul piano della salute nella logica triadica interconnessa persone/animali/ambiente, piuttosto che limitare le azioni di salute ad un singolo contesto. Alla luce di queste considerazioni, si forniranno evidenze scientifiche sul “fatto sociale emergente”, in particolare sulle patologie cardiovascolari, respiratorie, neurodegenerative e mentali.

SCENARI SOCIO-AMBIENTALI E ADATTAMENTO

La temperatura media continua a crescere globalmente di circa 0,2°C ogni 10 anni, e localmente anche di multipli (2-3 in regioni come l'area Mediterranea, fino ad un fattore 5 ai poli) di questo valore (IPCC 2021; 2022a; 2022b). I ghiacci continuano a sciogliersi ed il

³ A tal proposito si rimanda all'interessante Manifesto per il Futuro delle società in Transizione. Il Gruppo di Lavoro di Sociologia per la Persona-Sviluppo Sostenibile e Transizione Sociale, e gli esperti e le esperte che hanno partecipato al *Symposium on Social Transition and Climate Change* (Gaeta 3-4 giugno 2022) con l'obiettivo di dialogare sulle prospettive delle società: <https://www.unicas.it/ufficio-comunicazione/comunicati-stampa/2022/manifesto-sul-futuro-delle-societ%C3%A0-in-transizione.aspx>.

livello del mare continua a salire sempre più rapidamente. Le osservazioni indicano anche che l'impatto del continuo accumulo di gas serra in atmosfera sta accelerando, anche perché, con temperature sempre più alte, gli oceani e la vegetazione diminuiscono le loro capacità di assorbire parte dei gas serra emessi in atmosfera. Un minore assorbimento favorisce un maggiore accumulo di gas serra in atmosfera, che causa un'accelerazione del riscaldamento, e quindi un aumento della frequenza e dell'intensità dei fenomeni estremi che causano impatti negativi, a volte distruttivi, sulle comunità.

La figura 1 mostra che, tra il 1979 ed oggi, la temperatura media globale è salita di 0,8°C. Nel 2021, la temperatura media globale è stata di 0,50°C più calda che la media tra il 1981 ed il 2010, come indicato dai punti più a destra della linea continua. Per calcolare il riscaldamento rispetto al periodo preindustriale (media del periodo 1850-1900), dobbiamo aggiungere 0,63°C a questo valore (0,63°C è la differenza tra la temperatura media del periodo 1981-2010 rispetto al periodo pre-industriale 1850-1900); rileviamo quindi che la temperatura media globale del 2021 è stata di 1,13°C più calda. Il 2020, che è stato l'anno più rovente (assieme al 2016) dal 1979, è stato caratterizzato da un riscaldamento medio globale, rispetto al periodo preindustriale, di circa 1,2°C. Questa estate 2022 si sta rilevando una delle estati più calde degli ultimi 40 anni, in particolare per la regione Euro-Mediterranea.

È interessante confrontare la crescita della tempera-

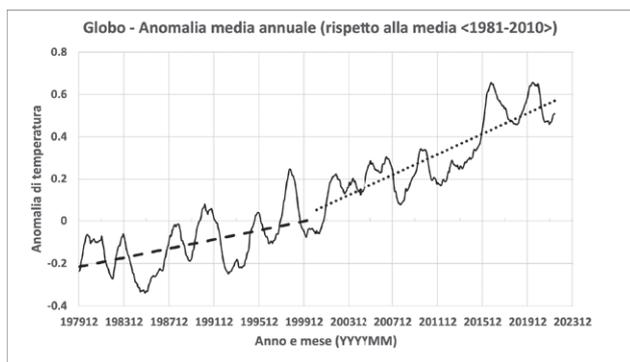


Figura 1. Evoluzione del riscaldamento medio globale (1979-2022). Fonte: Dati da Copernicus Climate Change Service; link: <https://climate.copernicus.eu>. Ogni punto della linea continua indica il riscaldamento medio globale mensile, definito dalla differenza tra la media globale della temperatura a 2-metri del mese, meno la temperatura media del periodo 1981-2010. Valori negativi (positivi), indicano mesi più freddi (caldi) rispetto alla media 1981-2010. La linea tratteggiata indica la linea retta che approssima al meglio il riscaldamento tra il 1979 ed il 2000; in altre parole restituisce un'idea della rapidità del riscaldamento (più la linea sale in verticale, e più indica un riscaldamento). La linea punteggiata indica la linea retta che approssima al meglio il riscaldamento tra il 2001 ed il 2022.

tura media globale nei primi 20 anni di questo periodo, tra il 1979 ed il 2000, e i secondi 20 anni, tra il 2001 ed il 2022 (fig.1). La linea retta tratteggiata illustra che, tra il 1979 ed il 2000, la temperatura media globale è salita di 0,22 °C. La linea punteggiata illustra invece che, tra il 2001 ed il 2022, la temperatura media globale è cresciuta molto più velocemente (come indicato dal fatto che la pendenza della retta è maggiore), di 0,52 °C. In sostanza, la figura 1 indica che il riscaldamento globale sta accelerando. È utile ricordare il fatto che, in generale, la terra ferma si scalda di più che gli oceani, e che ci sono regioni della Terra che si scaldano più di altre. L'Europa, ed in particolare l'area Mediterranea, è una di queste regioni. La figura 2 ci mostra che, tra il 1979 ed oggi, la temperatura media in Europa è salita di circa 1,95°C, e ha quindi subito un riscaldamento di quasi 2,5 volte più intenso che la media globale.

Se confrontiamo la figura 2 con la figura 1, notiamo che:

- La temperatura media in Europa, tra il 1979 ed il 2022, è salita di 1,95°C, invece che di 0,82°C;
- La temperatura media in Europa oscilla maggiormente e mostra una maggiore variabilità rispetto alla temperatura media globale (per questo motivo è più difficile estrarre un segnale chiaro e statisticamente robusto di un'accelerazione del riscaldamento, analizzando dati che coprono 40 anni: occorre aspettare periodi più lunghi per riuscire a trarre conclusioni su questo punto);
- Il riscaldamento medio in Europa non mostra l'accelerazione osservata per la temperatura globale.

Uno degli effetti del continuo riscaldamento è l'aumento della frequenza e dell'intensità di eventi estremi, quali ondate di calore e siccità, piogge e alluvioni. È opportuno ricordare che, anche con un riscaldamento

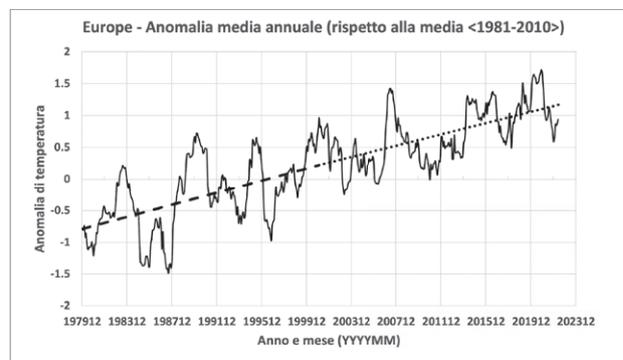


Figura 2. Evoluzione del riscaldamento medio globale in Europa (1979-2022). Fonte: Dati da Copernicus Climate Change Service; link: <https://climate.copernicus.eu>.

globale medio, è possibile continuare ad osservare anche eventi estremi caratterizzati da temperature molto al di sotto delle medie stagionali. Il motivo risiede nel fatto che un'atmosfera più calda ha più energia, che può essere utilizzata per indurre variazioni dei flussi a grande scala, che, durante le stagioni fredde, possono portare aria molto più fredda che la media verso latitudini più basse. Quindi, il fatto che d'inverno alcune parti del mondo possano trovarsi con temperature molto fredde non è in contraddizione con il cambiamento climatico, ma è un fenomeno complementare a quest'ultimo.

L'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (da ora in poi IPCC, Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico) parla di un continuo aumento dei danni e delle perdite, sia in termini di persone che sulle infrastrutture, che vanno al di là di quelli legati alla variabilità naturale del sistema Terra. L'IPCC (2022a) conferma che il cambiamento climatico continua ad avere un'influenza negativa sulla salute, sia direttamente, a causa dell'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi, che indirettamente, a causa dell'impatto negativo sulle condizioni economiche e sociali delle popolazioni. In particolare, l'impatto maggiore, che amplifica le disuguaglianze, viene subito dalle popolazioni più vulnerabili, che non hanno abbastanza risorse per prepararsi e adattarsi al cambiamento. Il continuo aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi ha ridotto l'accesso al cibo e all'acqua delle popolazioni più vulnerabili, piccoli produttori di cibo, piccole comunità con poche risorse finanziarie.

In tutte le regioni, ondate di calore hanno causato un aumento della mortalità e della morbilità. Malattie causate da vettori (VBDSs) (quali, a esempio, la malaria), si sono diffuse geograficamente, a causa sia dell'espansione del territorio coperto dai vettori, che da un aumento della loro riproducibilità come vedremo nel paragrafo successivo. Regioni colpite da eventi estremi hanno riportato un aumento delle malattie legate agli stessi.-

LE PATHOCLIMA

Lo scioglimento dei ghiacciai, eventi meteorologici estremi (come ondate di calore, siccità e incendi), la riduzione della durata delle stagioni fredde, e l'aumento dei mesi caldi sono solo alcuni esempi degli effetti del riscaldamento globale, generando il cosiddetto stress ambientale (Harlan 2014; Ding 2014). La salute umana, come quella di molti altri organismi viventi sulla terra, viene influenzata da tali conseguenze (Patz 2005). È in aumento il tasso d'incidenza di diversi tipi di tumori, tra cui quelli della cute (come conseguenza diretta) (Norval

2011; Van der Leun 2008), ma non solo; numerose evidenze indicano che il cambiamento climatico è responsabile dell'incremento dei fattori di rischio per l'insorgenza di Malattie Non Trasmissibili (NCD), in particolare cardiovascolari, respiratorie, e neurodegenerative, oltre a quelle trasmesse da vettori (VBDs).

Sebbene lo stress ambientale sia una condizione *sine qua non* per il cambiamento climatico, rimane difficile discriminare, tra i numerosi fattori, quelli responsabili degli effetti sulla salute e degli adattamenti al cambiamento climatico, in cui possiamo identificare effetti diretti.

Per esposizione diretta a eventi meteorologici estremi, identifichiamo il ben noto innalzamento delle temperature (si veda §1), ondate di calore, periodi di freddo e una vasta gamma di inquinanti che hanno la capacità di peggiorare la patologia in soggetti cardiopatici o contribuire allo sviluppo della malattia in soggetti sani. Seppur meno intuibile, le conseguenze del cambiamento climatico sulla salute prevedono effetti indiretti che riguardano molteplici percorsi complessi di esposizione, tra cui l'accesso ad alimenti sani e acqua pulita, mobilità, alloggi, elettricità, sistemi di comunicazione, assistenza medica e altri fattori sociali determinanti ed essenziali per il mantenimento dello stato di salute.

Il cambiamento climatico, quindi, può influenzare la salute attraverso molteplici eventi ambientali a cascata. I meccanismi più plausibili sembrano riguardare le condizioni meteorologiche estreme e l'inquinamento atmosferico, che potrebbero avere effetti indipendenti ma interconnessi sui processi responsabili dell'insorgenza di numerose patologie.

Il clima altera le condizioni meteorologiche e atmosferiche, comprese la temperatura, le precipitazioni, l'umidità, la velocità del vento e pressione del vapore acqueo (Zanobetti 2015; Fu 2019). Queste condizioni, in particolare l'aumento della temperatura, possono favorire un aumento dell'accumulo di particolato (da ora in poi PM) e dei livelli di ozono al suolo, come per es. le *climate penalty* (Shi 2019). Negli ultimi decenni, diversi studi hanno mostrato un aumento nel numero dei decessi, a causa degli elevati livelli sia di ozono che di particolato (PM 2.5 e 10; WHO 2021). Nei prossimi paragrafi, riassumeremo i risultati di alcuni studi sul legame tra l'inquinamento, il cambiamento climatico e i rischi per la salute.

Cambiamento climatico e malattie cardiovascolari

Numerosi studi confermano l'associazione tra l'esposizione a inquinamento e a eventi connessi al cambiamento climatico e le patologie cardiovascolari (CVD). L'inquinamento atmosferico è indubbiamente il princi-

pale fattore che incide sulla morbilità e mortalità umana, essendo responsabile di 6,7 milioni di morti a livello globale ogni anno, di cui la metà sono causati da patologie cardiovascolari. In letteratura, sono disponibili numerosi studi, che indagano gli effetti della breve e prolungata esposizione ai PM e agenti inquinanti sul rischio di ictus, infarto del miocardio (MI) e aritmie cardiache (Khraishah 2022; Munzel 2021). I dati riferiti al rischio di ictus sono ampiamente noti ed evidenziano una significativa associazione in seguito a breve e prolungata esposizione ai PM 2.5 e NO₂ (diossido di azoto), meno chiaro è il ruolo dell'ozono. Al contrario, i dati relativi all'incidenza dell'infarto del miocardio (MI), mostrano dati significativi solamente rispetto alla breve esposizione ai PM2.5.

È ampiamente noto che, sia le basse che le alte temperature, contribuiscono alla morbilità e alla mortalità cardiovascolare (Yang 2015; Baccini 2008; Silveira 2019). Si stima che oltre 5 milioni di decessi all'anno per patologie cardiovascolari, in maggioranza per infarto del miocardio, siano associati ad esposizione a temperature non ottimali (Zhao 2021). Gli effetti delle temperature estreme sulle patologie cardiovascolari coinvolgono in maggioranza le popolazioni in stato di vulnerabilità, con CVD preesistente (Kjellstrom 2010) esposte direttamente a temperature esterne estreme, piuttosto che la quota di popolazione che vive in ambienti indoor a temperatura controllata.

Da un punto di vista di meccanismi patofisiologici, è noto che la temperatura corporea alta induce un'elevata frequenza cardiaca, fenomeni di disidratazione e successiva emo-concentrazione, che, in combinazione con l'aumentata viscosità ematica, favorisce uno stato di ipercoagulabilità, che aumenta il rischio di trombosi e MI. Le specie chimiche radicaliche dell'ossigeno (ROS) e dell'azoto (RNS) sono sostanze chimiche dannose per le cellule, caratterizzate da elevata reattività e instabilità chimica. L'elevata temperatura corporea innalza la produzione di ROS e RNS. Al contrario, il calo della temperatura corporea, induce vasocostrizione, bradicardia, incremento del consumo di ossigeno nel tessuto muscolare scheletrico e la cristallizzazione del colesterolo presente nelle placche aterosclerotiche. A livello cellulare, come noto, la breve e prolungata esposizione a temperature elevate altera la funzione endoteliale cellulare, innescando processi d'infiammazione, che coinvolgono diverse citochine infiammatorie e alcune proteine della famiglia delle *Heat Shock Proteins* (HSP) (Gostimirovic 2020).

Cambiamento climatico e malattie respiratorie

Un ampio numero di studi ha messo in luce i rischi indotti dall'inquinamento e dal cambiamento clima-

tico sull'apparato respiratorio. Tra le patologie, quelle maggiormente riscontrate in letteratura, troviamo asma, rinosinusite, broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO) e infezioni del tratto respiratorio. La diffusione di queste nella popolazione varia in proporzione alla presenza di soggetti suscettibili; in particolare, gli individui cardiopatici mostrano un rischio più elevato agli effetti indotti dal cambiamento climatico (D'Amato 2014; Peters 2021).

Uno tra gli elementi prevalentemente presenti nell'aria è l'ozono, un agente irritante per le vie respiratorie, in grado di attivare i processi d'infiammazione a livello delle vie aeree. La prolungata esposizione all'ozono è responsabile della diminuzione della funzionalità polmonare e dell'aumentato tasso di mortalità, soprattutto nei bambini e negli anziani (Schraufnagel 2019a; 2019b; Jerrett 2009). Il livello elevato dei PM ha un impatto negativo sulla salute respiratoria (Rodio 2022). L'esposizione all'ozono può causare la bronco-pneumopatia ostruttiva (BPCO) e l'asma. Come mostrato da Areal (2022), si registra un aumento della mortalità dovuta a patologie respiratorie indotte dall'impatto sinergico delle temperature elevate e dell'inquinamento atmosferico, generando un rischio per la salute umana.

A questi fattori si aggiungono però, per effetto *cascade*, le elevate temperature dovute al cambiamento climatico e l'aumento della CO₂, che favoriscono la crescita delle piante allergeniche, la concentrazione del polline nell'aria e la diffusione in ogni regione del pianeta (Barnes 2018; Wayne 2002). Le stagioni polliniche più lunghe, conseguenti dell'aumentata produzione di polline, favoriscono un'esposizione prolungata agli allergeni presenti nell'aria, aumentando la frequenza di individui sensibili, i.e. sensibilizzazione verso gli allergeni. Nelle persone con pregresse patologie allergiche, la prolungata esposizione rischia di aumentare la gravità e la durata dei sintomi (Lake 2017; Poole 2019; Takaro 2013). È inoltre dibattuta la relazione tra i livelli dei PM e la presenza di allergeni sub-pollinici nell'aria; i dati suggeriscono che i grani di polline che trasportano allergeni possono interagire con l'inquinamento atmosferico (particolato e ozono), producendo effetti avversi sul sistema respiratorio. Queste evidenze, dunque, non rappresentano "solo" la registrazione di "eventi avversi" sulla salute umana, ma delineano contorni di regolarità all'interno di un ecosistema in rapido mutamento, in cui le popolazioni subiscono danni tangibili. Ri-pensare l'ambiente è quindi un problema che richiama l'ontologia sociale, vale a dire, *la spiegazione o comprensione della natura, delle caratteristiche fondative, delle strutture e delle dimensioni costituenti che rendono possibile la vita sociale* (Padovan e Lévêque 2021: 190).

A fronte di queste patologie, il condizionamento derivante dall'impatto dell'inquinamento e del clima sulle società, produce altri innumerevoli mutamenti, come vedremo nel paragrafo che segue.

Cambiamento climatico, malattie neurodegenerative e salute mentale

Su scala mondiale, le malattie neurologiche sono, dopo quelle cardiovascolari, la seconda causa di morte (Vos 2020).

Alcuni studi hanno evidenziato una correlazione tra ondate di calore, rese più intense e frequenti a causa del cambiamento climatico, e le patologie neurodegenerative (Habibi 2014). In particolare, risulta elevato il rischio di aggravamento del decorso di preesistenti patologie neurodegenerative in soggetti con demenza. Un incremento pari a circa 1,5° C della temperatura media è stato correlato ad un aumento dei ricoveri ospedalieri nei soggetti affetti da demenza (Wei 2019).

Un recente studio (Bongioanni 2021) ha discusso i possibili effetti di una maggiore esposizione a ondate di calore su pazienti con malattie neuro-degenerative, ed ha evidenziato i meccanismi che possono causare ulteriori danni ed una progressione di malattie neurologiche. Un recente lavoro, Buizza e altri (2022) ha analizzato le variazioni di indici epidemiologici del Parkinson e di indici del clima di 185 Paesi tra il 1990 ed il 2016; gli autori hanno ipotizzato che il cambiamento climatico deve essere considerato uno dei fattori ambientali – *environmental factors* – che può avere un impatto su malati di Parkinson. Tale conclusione è basata sull'aver trovato una correlazione positiva, e statisticamente significativa, tra indici epidemiologici e un indice di riscaldamento climatico, nei 25 Paesi più caldi e caratterizzati da un maggiore livello di riscaldamento (con una popolazione totale di circa 900 milioni di persone).

Oltre alla vasta letteratura, che documenta l'associazione tra l'inquinamento atmosferico e le malattie respiratorie e cardiovascolari, vi è ora crescente evidenza della correlazione tra l'inquinamento e le malattie neurodegenerative. Poiché il particolato (PM) è in grado di penetrare le cellule cerebrali, potrebbe giocare un ruolo importante nelle eziologie di diversi disturbi neurologici, in particolare PD e AD (You 2022). L'inquinamento sembra indurre un'elevata espressione dei *markers* neurodegenerativi quali il peptide beta-amiloide, *lewy bodies* e la proteina alfa-sinucleina. Recentemente, i ricercatori hanno iniziato a prestare maggiore attenzione all'inquinamento atmosferico e al ruolo che svolge nel causare o esacerbare problemi di salute men-

tale (Ramadan 2021). Diversi studi evidenziano un'associazione tra l'inquinamento e la fisiopatologia di alcuni disturbi dello sviluppo neurologico e comportamentale nei bambini come deficit di attenzione/iperattività (Saez 2018; Volk 2013). Tuttavia, recenti studi hanno riferito che questa associazione è debole (Donzelli 2018; Yousefian 2018). In ultimo, negli individui esposti alle ondate di calore, con prolungati periodi di esposizione a temperature elevate e inondazioni, sono stati rilevati tassi più elevati di aggressività, (Stevens 2019) così come l'aumento degli stati di ansia e disturbi dell'umore (Gao 2019; Hansen 2008; Ahern 2005).

L'ADATTAMENTO È POSSIBILE?

Riduzione dei gas serra (GHGs)

Gli ultimi tre rapporti IPCC (2021, 2022a e 2022b) confermano che le emissioni di gas serra legate alle attività umane sono la causa principale del riscaldamento e rilevano che l'unico modo per limitare il riscaldamento futuro ed evitare impatti ancor più devastanti sia di ridurre le emissioni di gas serra, in particolare dell'anidride carbonica (CO₂) e del metano (CH₄). Nel resto di questa analisi parleremo di emissioni di tutti i gas serra, non solo dell'anidride carbonica (CO₂), espresse in termini di tonnellate equivalenti di CO₂. Tale valore viene calcolato, traducendo l'impatto degli altri gas serra in termini di quantità "equivalenti" di CO₂. A esempio, dato che il metano causa un effetto serra maggiore della CO₂, 1 kg di CH₄ verrà tradotto in 28 kg di CO₂. Misureremo le emissioni dei gas serra in termini di giga-tonnellate, cioè un miliardo (10⁹) di tonnellate di CO₂-eq.

L'IPCC (2021) ricorda che esiste un legame quasi-lineare tra le emissioni di gas serra ed il riscaldamento medio globale. Questo legame implica che ogni 1.000 Gt di emissioni cumulative causa un riscaldamento medio di circa 0,45°C. Come valore di riferimento delle emissioni causate dalle attività umane, ricordiamo che, negli ultimi anni (2018-2021), in media sono state emesse in atmosfera circa 45 Gt di CO₂-eq. Quindi, se si continuasse con i livelli di emissione attuali, in circa 22 anni si arriverebbe a un ulteriore accumulo in atmosfera di 1.000 Gt CO₂-eq. Questo ulteriore accumulo non solo aumenterebbe il riscaldamento, ma porterebbe anche ad un allungamento del suo impatto sulle generazioni future, dato che le molecole di anidride carbonica (CO₂) hanno un tempo di residenza in atmosfera stimato di qualche centinaio di anni (IPCC 2021, 2022b).

Possiamo utilizzare questa relazione quasi lineare per stimare come limitare il riscaldamento: se vogliamo contenere il riscaldamento medio globale al di sotto di

Tabella 1. Emissioni CO₂-eq per Paese.

Paese	Popolazione (Milioni)		Emissioni totali (Mt CO ₂ eq)		Emissioni per persona (t CO ₂ eq)	
	1970	2018	1970	2018	1970	2018
Francia	51,9	67,1	614,5	423,3	11,8	6,3
Germania	78,2	82,9	1286,6	806,9	16,5	9,7
Italia	53,8	60,4	388,2	399,6	7,2	6,6
Regno Unito	55,7	66,5	839,6	452,1	15,1	6,8
Unione Europea	386,3	446,9	4.595,5	3.567,0	11,9	7,9
Mondo	3.682,0	7.592,5	27.057,3	45.873,8	7,4	6,0

Fonte: Dati da *Our World in Data* – link: <https://ourworldindata.org>. Popolazione (in milioni), emissioni totali annuali (in megatonnellate CO₂-eq, dove 1 mega-ton = 1.000.000 ton), ed emissioni per persona annuali (in tonnellate di CO₂-eq), dei 4 principali Paesi Europei, dell'Europa e del mondo, nel 1970 e nel 2018 (ultimo valore disponibile).

2°C (come definito nell'accordo della COP21 di Parigi⁴), dobbiamo limitare l'ulteriore riscaldamento a 0,8°C, visto che oggi abbiamo già raggiunto un livello di riscaldamento medio globale di circa 1,2°C. La relazione quasi-lineare tra riscaldamento ed emissioni suggerisce che possiamo, al massimo, emettere in atmosfera ulteriori 1.800 Gt CO₂-eq di gas serra [0,8=(1.800/1.000) *0,45°C].

Il contributo dei paesi europei alle emissioni di gas serra

L'Italia ospita circa lo 0,8% della popolazione mondiale, ed emette circa lo 0,9% delle emissioni di gas serra. Se si sommano i contributi dell'Italia sul periodo 1990-2018, si rileva che l'Italia ha contribuito, con l'1,3% delle emissioni. Il confronto tra le due percentuali ci indica che, negli ultimi anni, il contributo relativo italiano è sceso, dall'1,43% nel 1970, allo 0,87% nel 2018.

È interessante confrontare le emissioni totali dei quattro principali Paesi dell'Europa: Francia, Germania (i valori sono stati calcolati, cumulando le emissioni delle due Germanie anche prima dell'unificazione), Italia e Regno Unito (fig. 3). Si noti la differenza tra il valore totale della Germania e gli altri tre Paesi, in parte legato alle differenze tra le economie dei quattro Paesi, ed in parte alla popolazione (nel 2018, circa 83 milioni per la Germania, 67 milioni per la Francia, 66 milioni per il Regno Unito, 60 milioni per l'Italia). Si noti anche come le emissioni di Francia, Germania e Regno Unito scendano più rapidamente delle emissioni dell'Italia: tra il

1970 ed il 2018 (ultimo valore disponibile), le emissioni totali della Germania sono scese del 37%, quelle della Francia del 31%, quelle del Regno Unito del 46%, mentre quelle dell'Italia sono di fatto aumentate del 3%. In Italia, le emissioni hanno continuato a salire fino al 2005, mentre gli altri tre Paesi hanno iniziato a diminuire le loro emissioni dal 1980.

Per comprendere l'impatto delle diverse popolazioni, possiamo dividere le emissioni totali di ogni Paese per la sua popolazione, e calcolare le emissioni per persona. Nel 2018 (tab. 1), il valore per ogni italiano era stato di 6,6 t CO₂-eq, un valore del 10% più alto della media mondiale (6 t CO₂-eq), e circa il 24% meno più basso della media dell'Unione Europea (7,9 t CO₂-eq). In quell'anno, le emissioni per persona in Italia erano simili ai valori per Francia e UK, più basse dei valori per capita di Australia (24,6 t CO₂-eq), Canada (18,4 t CO₂-eq), USA (18,4 t CO₂-eq) e Russia (17,6 t CO₂-eq), e molto più alte di quasi tutti gli altri paesi del mondo. La tabella 2

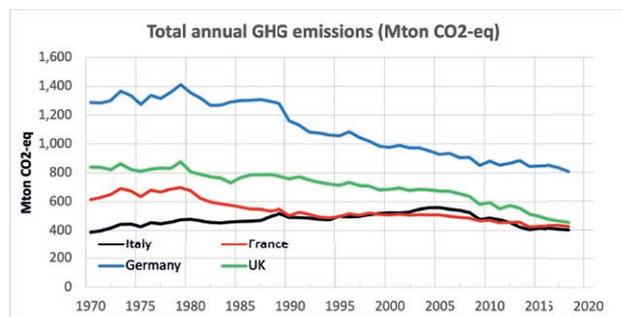


Figura 3. Emissioni annuali totali di gas serra dei 4 principali Paesi Europei. Fonte: Dati da *Our World in Data* – link: <https://ourworldindata.org>. Emissioni annuali totali di gas serra espresse in megatonnellate di CO₂-eq: Francia (linea rossa), Germania (linea blu), Italia (linea nera) e Regno Unito (linea verde).

⁴ COP: Conference of the Parties. COP è l'organo decisionale del *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC); si riunisce ogni anno, per analizzare come meglio implementare gli accordi presi per stabilizzare i livelli delle emissioni di gas serra e il riscaldamento globale. COP26 si è tenuta a Glasgow nel novembre 2021. COP27 è programmata per novembre 2022, in Egitto.

Tabella 2. Emissioni cumulate tra il 1970 e il 2018.

Paese	Emissioni totali di gas serra	
	Accumulate 1970-2018 (Gt CO ₂ eq)	% mondiali
Francia	26,5	1,6%
Germania	54,0	3,2%
Italia	23,2	1,4%
Regno Unito	34,7	2,05%
Unione Europea	221,2	13,1%
Russia	129,1	7,6%
USA	300,6	17,8%
Cina	266,5	15,7%
India	80,5	4,8%
Mondo	1692,0	

Fonte: *Dati da Our World in Data* – link: <https://ourworldindata.org>. Emissioni totali accumulate tra il 1970 ed il 2018 (in giga-tonnellate CO₂-eq, dove 1 giga-ton = 1.000.000.000 ton), dei 4 principali Paesi Europei, dell’Unione Europea, la Russia, gli Stati Uniti d’America, la Cina, l’India, e del mondo.

riporta le emissioni cumulate tra il 1970 ed il 2018, dei 4 principali Paesi Europei, dell’Unione Europea, la Russia, gli Stati Uniti d’America, la Cina, l’India, e del mondo calcolate utilizzando i dati disponibili sul sito di *Our World in Data*.

Si sente spesso parlare della Cina come il paese che ha causato e contribuisce maggiormente alle emissioni di gas serra. In realtà, se consideriamo le emissioni totali accumulate tra il 1970 ed il 2018 (tab. 2), gli Stati Uniti d’America risultano il Paese con il contributo maggiore (17,8%), seguiti dalla Cina (15,8%), l’Unione Europea (13,1%), la Russia (7,6%), ed a seguire le altre nazioni. Questo valore cumulato di emissioni dà indicazioni molto chiare di quali Paesi siano maggiormente responsabili per l’accumulo delle emissioni di gas serra.

Si segnala l’enorme differenza tra questi valori cumulati ed i valori annuali. Se guardiamo alle emissioni annuali nel 1970 e nel 2018, il contributo relativo (rispetto alle emissioni globali) degli Stati Uniti d’America è sceso dal 20% al 13%, mentre quello della Cina è cresciuto dal 7% al 27%, a seguito della sostanziale crescita economica. Nello stesso periodo, le emissioni relative dell’Unione Europea sono scese dal 17% al 7,8%.

L’Italia ed il piano “pronti per il 55%”

Con la normativa europea sul clima, nel quadro del *Green Deal* europeo, l’UE si è posta l’obiettivo vincolante di conseguire la neutralità climatica entro il 2050. Ciò richiede, nei prossimi decenni, una considerevole ridu-

zione degli attuali livelli di emissioni di gas serra. Come passo intermedio verso la neutralità climatica, l’UE ha innalzato la sua ambizione in materia di clima per il 2030, impegnandosi a ridurre le emissioni di almeno il 55% (rispetto ai livelli del 1990) entro il 2030.

La figura 3 mostra l’evoluzione delle emissioni totali di gas serra dell’Italia, espresse in percentuale rispetto alle emissioni nel 1990 (0,49 Gt CO₂-eq), anno che viene preso spesso come riferimento per definire gli obiettivi di riduzione degli anni futuri. È interessante notare come le emissioni siano cresciute dal 1970 al 2005, e siano quindi diminuite, con due minimi relativi in coincidenza con le crisi economiche del 2009 e del 2014. In media, tra il 2005 ed il 2018, le emissioni dell’Italia sono diminuite del 2,1% l’anno. L’Unione Europea ha adottato come obiettivo per il 2030 una riduzione delle emissioni del 55% rispetto al valore del 1990 (obiettivo “pronti per il 55%”, “Fit for 55”). Per l’Italia, tale obiettivo equivale a diminuire le emissioni da 0,4 Gt CO₂-eq nel 2018 (tabella 2) a 0,27 Gt CO₂-eq nel 2030: per raggiungere tale riduzione, occorre che in media, tra il 2018 ed il 2030, l’Italia riduca le emissioni globali di gas serra di circa il 3,2%. Sottolineiamo che questa riduzione è più alta della riduzione media osservata tra il 2005 ed il 2018 (che era di circa il 2,1%).

Un altro obiettivo di cui si parla spesso è di raggiungere zero-emissioni nette di gas serra entro il 2050. Una riduzione media delle emissioni italiane del 3,2% dal 2019 al 2050 porterebbe l’Italia ad emettere, nel 2050, ancora 0,14 Gt CO₂-eq, un valore lontano dall’obiettivo di zero-emissioni nette. Solo una riduzione più ambiziosa del 7% in media già dal 2019 al 2050 porterebbe le emissioni nel 2050 a 0,039 Gt CO₂-eq, un valore molto più vicino all’obiettivo di zero emissioni nette. Questa analisi illustra quali siano gli obiettivi annuali a cui dovrebbe ambire l’Italia da oggi al 2050: una riduzione media delle emissioni del 3,2% tra il 2019 ed il 2030, ed una riduzione media del 9% tra il 2031 ed il 2050, per riuscire a portare la riduzione media su tutto il periodo, dal 2019 al 2050, del 7%. Solo con queste percentuali, l’Italia riuscirebbe a raggiungere gli obiettivi Europei di riduzione delle emissioni del 55% (rispetto al valore nel 1990) entro il 2030, e zero-emissioni-nette entro il 2050.

Lo scenario fin qui rappresentato sottolinea le complicazioni che sorgono, laddove non si riesce a mettere in connessione il terreno fecondo della verifica scientifica con le ricadute sul piano delle policies da attuare. Si pensi, a esempio, al *Glasgow Climate Pact* del 2021 elaborato in occasione della COP26, in cui è stato introdotto un riferimento alla riduzione del consumo di carbone, le cui emissioni rappresentano quasi il 40% della CO₂ emessa su scala globale (Lombardini 2021). Un incontro,

la COP26, che ha avuto risultati incerti che non danno ancora piena voce alla transizione energetica in atto, che non aiuta i paesi in via di sviluppo ad implementare processi di mitigazione che tengano conto delle enormi disuguaglianze esistenti in termini di accesso all'energia, e quindi alle emissioni per-persona di gas serra. Benché la questione delle decisioni politiche richiederebbe una forte accelerazione, bisognerà vedere cosa accadrà nei prossimi mesi durante la COP27 prevista in Egitto, anche a causa dell'impatto della guerra in Ucraina sull'accesso all'energia e al cibo, e sull'economia mondiale.

Ruolo dell'epigenetica nell'adattamento degli organismi al cambiamento climatico

Gli effetti sulla salute fin qui discussi evidenziano un processo di adattamento, derivante da una reazione innescata dalla natura, ma anche creato socialmente. Come ci ricorda Ivan Illich, la salute è plasmata dalla cultura, da cui ne deriva la capacità di adattamento alle modifiche dell'ambiente di crescere e invecchiare. «La salute abbraccia anche il futuro, e perciò comprende l'angoscia e le risorse interiori per vivere con essa» (Illich [1976] 2021: 283). In questa dimensione culturale, però, si inseriscono la stragrande maggioranza dei fattori ambientali, oggetto di studio di una disciplina emergente come l'epigenetica, branca della biologia molecolare che studia i cambiamenti ereditabili della funzione genica che non implicano un cambiamento della sequenza del DNA.

Determinati fattori ambientali, quali per esempio gli inquinanti, oltre all'alimentazione e allo stile di vita possono modificare la funzione, ma non la struttura di alcuni tratti di DNA degli individui. Qualsiasi fattore, che abbia la capacità di alterare la funzione di un gene, può essere considerato un fattore epigenetico. L'epigenetica rappresenta quindi un meccanismo molecolare in grado di alterare direttamente la variazione fenotipica (es. plasticità), rendendo tale variazione ereditabile nelle generazioni successive (Skinner 2014). È così che individui con lo stesso genotipo, possono acquisire una differente plasticità fenotipica, in funzione del diverso ambiente nel quale vivono. Le alterazioni epigenetiche potrebbero influenzare la suscettibilità a diversi xenobiotici o la differente predisposizione verso alcune patologie nell'arco della vita. I meccanismi molecolari alla base delle alterazioni epigenetiche comprendono, tra gli altri, la metilazione del DNA (es. aggiunta di un gruppo metile a una base di DNA) e le modifiche di alcuni aminoacidi delle proteine "istoni" e modifiche della struttura della cromatina, che complessivamente hanno la capacità di regolare l'accensione o lo spegnimento di

alcuni geni (Skinner 2014). Numerose sono le patologie (tumoriali, cardiovascolari, neurodegenerative e mentali) che mostrano di avere una base epigenetica. Anche se non sono chiari con esattezza i meccanismi attraverso cui la dieta, l'esposizione ad agenti chimici o fattori non noti, possano alterare i meccanismi di regolazione epigenetici, è evidente che una loro migliore conoscenza permetterebbe di prevenire l'accumulo di modifiche epigenetiche dannose e, di conseguenza, di ridurre il rischio di insorgenza delle patologie, associate con gli effetti del cambiamento climatico. Le evidenze scientifiche suggeriscono che l'epigenetica può contribuire all'adattamento evolutivo di popolazioni minacciate dai rapidi e sempre più stressanti effetti del cambiamento climatico. Per ora bisognerà aspettare studi futuri per chiarire gli effetti diretti della metilazione del DNA e degli altri meccanismi epigenetici coinvolti nei processi adattivi. Il cambiamento climatico è una delle maggiori sfide per le specie e gli ecosistemi, e i meccanismi molecolari a disposizione delle specie per rispondere potrebbero non essere sufficienti, visto l'attuale ritmo del cambiamento climatico.

SALUTE E SOCIETÀ: UN DRIVER PER MITIGARE IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Come abbiamo potuto notare, una *liaison* tra varie componenti della scienza (intesa come "conoscenza") è un necessario dialogo per costruire un livello più profondo di analisi, e di molteplicità di soluzioni, poste dalla complessità del fenomeno affrontato in questa sede: "accelerazione del cambiamento climatico vs salute umana".

Riassumendo i risultati tratti da questa analisi, basata sugli ultimi rapporti IPCC (2021, 2022), e sui dati Copernicus e della World Bank possiamo declinare alcuni punti essenziali:

- Il cambiamento climatico sta accelerando;
- La regione Europea è una delle aree dove il riscaldamento climatico è più evidente, circa 2,5 volte il valore medio globale: questo implica che un riscaldamento medio globale di 2°C potrebbe tradursi in un riscaldamento medio in Europa di 5°C;
- Si può contenere il riscaldamento se si riducono in maniera sostanziale le emissioni di gas serra;
- C'è una relazione quasi-lineare tra le emissioni di gas serra e l'aumento di temperatura, che permette di stimare l'impatto futuro del continuo accumulo di gas serra;
- Se l'Italia avesse voluto raggiungere l'obiettivo di una riduzione delle emissioni nel 2030 del 55% rispetto al 1990, avrebbe già dovuto ridurre le emissioni in media del 3,2% ogni anno a partire dal 2019;

- Se l'Italia vuole raggiungere l'obiettivo di zero emissioni nette entro il 2050, deve ridurre le emissioni in media del 9% l'anno tra il 2031 ed il 2050 (ovvero, se avesse iniziato a ridurre le emissioni nel 2019, una riduzione media del 7% l'anno, ogni anno, dal 2019 al 2050).

Sottolineiamo i co-benefici per la salute che possono avere il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra "pronti per 55%" entro il 2030 e "zero-emissioni" entro il 2050, legati al fatto che i processi che causano emissioni di gas serra sono anche sorgenti di inquinamento. Esempi evidenti sono il trasporto basato su motori a combustione, o la produzione di elettricità con centrali a combustione (a carbone, olio combustibile o gas metano), che causano sia emissioni di gas serra, che inquinamento. La transizione ecologica ed il raggiungimento di questi due obiettivi potrebbero portare sia al controllo del riscaldamento futuro, che ad una riduzione sostanziale dell'inquinamento. L'intero sistema fin qui raffigurato è solo una porzione di mondo *dell'infinità priva di senso* delle complesse strutture a cui dobbiamo far riferimento in una logica idiografica di dialogo tra la scienza, le istituzioni e la società civile con il fine di tutelare la salute dei cittadini. In questo panorama, abbiamo potuto osservare quanto sia importante mitigare/contenere le emissioni di gas serra, per limitare l'impatto sulle tante conseguenze sulla salute umana, all'interno di un paradigma transdisciplinare (Sannella 2020: 115).

Le *pathoclimate*, che abbiamo qui delineato, descrivono alcune delle patologie indirette derivanti dall'impatto del cambiamento climatico sulla salute umana (quelle di cui abbiamo evidenze). Per poter limitare i danni derivanti dal cambiamento climatico, sarà utile ampliare la sfera del principio *One Health*: compiere uno sforzo comune e correlare i risultati derivanti dalle ricerche con gli aspetti della vita quotidiana, le relazioni con le diverse forme della contemporaneità *on e off line*, perseguire gli obiettivi dell'Agenda ONU 2030 (UN Agenda), in particolare riferimento agli obiettivi n. 13 - *Adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e i suoi impatti* - e n. 3 - *Salute e benessere* - modificare quindi le azioni sociali in corrispondenza di adeguate politiche transnazionali.

La complessità su cui si stanno confrontando le società ha portato gli individui a domandarsi *cosa possono fare all'interno della storia?* (Benasayag 2020: 98) La proposta è uscire da una logica funzionalista, procedere aumentando la riflessione sul *problem choosing* e non limitarsi a deboli *problem solving*, analizzare gli scenari contemporanei pensando a soluzioni di lungo periodo.

Indubbiamente abbiamo necessità di evidenziare la distopia delle responsabilità affinché si possa garantire

lo sviluppo delle società e assicurare «il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri» (Brundtland 1987: 36). Per avviarsi verso l'auspicata transizione, è possibile giungere a proposte, e non a conclusioni, con la consapevolezza che, per spiegare la società non sarà possibile porre facili riduzionismi, ma leggere e interpretare gli aspetti della vita umana che hanno generato il cambiamento climatico.

GLOSSARIO

Climate penalty: aumento della temperatura media dell'ambiente causata dalle variazioni dei livelli di ozono e PM.

Fenotipo: il complesso delle caratteristiche morfologiche e funzionali di un organismo, prodotto dall'interazione dei geni tra loro e con l'ambiente.

Genoma: l'insieme del patrimonio genetico che caratterizza ogni organismo vivente. Le informazioni genetiche risiedono nella sequenza del DNA (contenuto nel nucleo delle cellule sotto forma di cromosomi), la quale risulta dalla disposizione lineare di quattro molecole differenti, i nucleotidi o basi. La plasticità fenotipica è la capacità di un individuo di svilupparsi in differenti fenotipi in relazione a differenti condizioni ambientali.

Genotipo: l'effettiva costituzione genetica di un individuo, cioè l'insieme dei geni localizzati sui suoi cromosomi.

Heat Shock Proteins: proteine presenti nelle cellule di tutti gli organismi viventi che vengono prodotte in particolari condizioni di stress, soprattutto repentini cambiamenti di temperatura. Le HSP assistono le proteine di nuova sintesi nel raggiungere la giusta conformazione e promuovono la degradazione di quelle danneggiate.

Infiammazione: un meccanismo di difesa che, in caso di infezioni e lesioni, ha l'obiettivo di localizzare ed eliminare l'agente nocivo e rimuovere i componenti danneggiati del tessuto promuovendo la guarigione. La risposta infiammatoria consiste in cambiamenti nel flusso sanguigno, aumento della permeabilità dei vasi sanguigni e la migrazione di fluidi, citochinine e globuli bianchi dalla circolazione al sito di danno tissutale. Una risposta infiammatoria che dura solo pochi giorni è chiamata infiammazione acuta, mentre una risposta di durata più lunga viene definita infiammazione cronica.

Istoni: proteine che costituiscono la componente strutturale della cromatina.

Metile: gruppo funzionale costituito da un atomo di carbonio legato a tre atomi di idrogeno, avente formula $-CH_3$.

Microbiota: l'insieme dei microrganismi simbiotici, soprattutto batteri, che convivono con il nostro organismo. Si stima che ognuno di noi possa ospitare fino a 10 mila specie diverse;

Microbioma: si intende la totalità del patrimonio genetico espresso dal microbiota.

Morbilità: termine usato in statistica per indicare il numero dei casi di malattia registrati, durante un dato periodo, in rapporto al numero complessivo della popolazione presa in esame.

Mutazione genetica: cambiamento stabile ed ereditabile del materiale genetico. Nei casi più semplici, è dovuta al cambiamento chimico di una singola base del DNA.

Particulate Matter (PM): termine generico con il quale si definisce una miscela di particelle solide e liquide (particolato) che si trovano in sospensione nell'aria. Il PM può avere origine sia da fenomeni naturali (processi di erosione del suolo, incendi boschivi, dispersione di pollini, ecc.) sia da attività antropiche, in particolar modo dai processi di combustione e dal traffico veicolare (particolato primario). Tra i costituenti delle polveri rientrano composti quali idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli pesanti. Il PM10 rappresenta la frazione di particolato atmosferico con diametro delle particelle inferiore a 10 millesimi di millimetro, il PM2.5 la frazione con diametro delle particelle inferiore a 2.5 millesimi di millimetro, e le UFPs la frazione ultrafina.

Pathoclina: patologie amplificate dall'impatto che l'accelerazione del cambiamento climatico ha sulla salute delle popolazioni, sul sistema sociale e ambientale.

Specie reattive dell'ossigeno: chiamate anche ROS, dall'inglese *Reactive Oxygen Species*. Le fonti fisiologiche di ROS comprendono processi metabolici, vie di segnalazione cellulare e processi infiammatori.

Trascrizione: processo della sintesi proteica che permette di copiare o "trascrivere" il messaggio contenuto nel DNA in una molecola complementare. L'RNA è indispensabile nel processo di trascrizione, dopo la trascrizione, avviene la traduzione, in cui le istruzioni portate dall'mRNA vengono tradotte nella sequenza corretta di amminoacidi per formare una proteina.

Xenobiotici: molecole di qualsiasi natura, estranee all'organismo.

systematic review and meta-analysis, in «Science of The Total Environment», 811: 152336.

Baccini M. (2008), *Heat effects on mortality in 15 European cities*, in «Epidemiology» 19: 711-719.

Barnes C.S. (2018), *Impact of climate change on pollen and respiratory disease*, in «Curr Allergy Asthma Rep», 18: 59.

Benasayag M. (2020), *Cinque lezioni di complessità*, Feltrinelli, Milano.

Bongioanni P. (2021), *Climate change and neurodegenerative diseases*, in «Environmental Research», 201: 111511.

Brundtland G.H. (1987), *Our Common future* disponibile online <https://www.are.admin.ch/are/it/home/media-e-pubblicazioni/pubblicazioni/sviluppo-sostenibile/brundtland-report.html>.

Buizza R., Del Carratore R., Bongioanni P. (2022), *Evidence of climate change impact on Parkinson's disease*. *Jou. of Climate Change and Health*, 6: 100130.

D'Amato G. (2014), *Climate change and respiratory diseases*, in «European Respiratory Review», 23: 161-169.

Ding Q. (2014), *Tropical forcing of the recent rapid Arctic warming in northeastern Canada and Greenland*, in «Nature», 509: 209-12.

Donzelli G. (2018), *Particulate matter exposure and attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a systematic review of epidemiological studies*, in «Int J Environ Res Public Health», 17: 67.

European Union (2021), *European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions* https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541.

Ferrarotti F. (1968), *Trattato di Sociologia*, UTET, Torino.

Fu T.-M. (2019), *Climate change penalty to ozone air quality: review of current understandings and knowledge gaps*, in «Curr. Pollut. Rep.» 5: 159-171.

Gao J. (2019), *Ambient temperature, sunlight duration, and suicide: a systematic review and meta-analysis*, in «Environ», 646: 1021-9.

Gostimirovic M. (2020), *The influence of climate change on human cardiovascular function*, in «Archives of Environmental & Occupational Health», 75: 7.

Habibi L. (2014), *Global warming and neurodegenerative disorders: speculations on their linkage*, in «Bioim-pacts», 30, 4(4): 167-170.

Hansen A. (2008), *The effect of heat waves on mental health in a temperate Australian City*, in «Environ Health Perspect», 116: 1369-75.

Harlan S.L. (2014), *Heat-related deaths in hot cities: estimates of human tolerance to high-temperature thresholds*, in «Int J Environ Res Public Health», 11: 3304-26.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Ahern M. (2005), *Global health impacts of floods: epidemiologic evidence*, in «Epidemiol Rev», 27:36-46.

Areal A.T. (2022), *The effect of air pollution when modified by temperature on respiratory health outcomes: A*

- Illich I. [ed or. 1976 *Limits to medicine-Medical Nemesis: the expropriation of health*] (2021), *Nemesi medica*, Red, Milano.
- IPCC (2021), *Summary for Policymakers*. In «Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», Cambridge University Press, Cambridge (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>).
- IPCC (2022a), *Climate Change*, in «Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», Cambridge University Press, Cambridge (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>).
- IPCC (2022b), *Climate Change* in «Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», Cambridge University Press, Cambridge (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>).
- Lombardini M. (2021), *COP26: il bilancio degli accordi di Glasgow* <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/cop26-il-bilancio-degli-accordi-di-glasgow-32339>.
- Izzo A. (1991-1994), *Storia del pensiero sociologico*, il Mulino, Bologna.
- Jerrett M. (2009), *Long-term ozone exposure and mortality*, in «N Engl J Med», 360: 1085-1095.
- Khraishah H. (2022), *Climate change and cardiovascular disease: implications for global health*, in «Nat Rev Cardiol».
- Kjellstrom T. (2010), *Public health impact of global heating due to climate change: potential effects on chronic non-communicable diseases*, in «Int J Public Health» 55: 97-103.
- Lake I.R. (2017), *Climate change and future pollen allergy in Europe*, in «Environ Health Perspect», 125: 3. National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) Global Monitoring Laboratory, Mauna Loa, Hawaii - <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>.
- Munzel T. (2021), *Environmental risk factors and cardiovascular diseases: a comprehensive expert review*, in «Cardiovascular Research», 0: 1-23. cvab316.
- Norval M. (2011), *The human health effects of ozone depletion and interactions with climate change*, in «Photochem Photobiol Sci», 10: 199-225.
- Our World in Data, Oxford University, Oxford Martin Business School, Global Change Data Lab, <https://ourworldindata.org>.
- Padovan D., Lévêque, J.C. (2021), *Transizione ecologica e ontologia sociale. Natura, società ed ecologia dell'eccesso nell'Antropocene*, in «Philosophy Kitchen. Rivista di filosofia contemporanea», 15: 189-221.
- Patz J.A. (2005), *Impact of regional climate change on human health*, in «Nature», 438, 7066: 310-7.
- Peters A. (2021), *Cardiovascular risks of climate change* in «Nature Rev Cardiol», 18(1): 1-2.
- Piko B.F., Kopp M.S. (2007), *Behavioural Sciences in the Health Field: Integrating Natural and Social Science*, in Hirsch Hadorn G., Hoffmann-Riem H., Biber-Klemm S., Grossenbacher-Mansuy W., Joye W., Pohl D., Wiesmann C.U., Zemp E. (Eds.), *Handbook of Transdisciplinary Research*, Springer Science, Zurich.
- Poole J.A. (2019), *Impact of weather and climate change with indoor and outdoor air quality in asthma: a Work Group Report of the AAAAI Environmental Exposure and Respiratory Health Committee*, in «J Allergy Clin Immunol», 143: 1702-1710.
- Pirni Al., Caporale C., (2022), *Etica pubblica e nuovo coronavirus: una duplice questione di giustizia*, in Caporale C., Pirni Al. (a cura di), *Pandemia e Resilienza. Persona, comunità e modelli di sviluppo dopo il Covid-19*, CNR, Roma.
- Ramadan A.M.H. (2021), *Are climate change and mental health correlated?* In «General Psychiatry», 34: e100648.
- Rodio A. (2022), *Airborne Ultrafine Particle and Acute Physiological Effects during Maximal Aerobic Power Test*, in «Aerosol Air Qual. Res.», 22: 220029.
- Saez M. (2018), *The association between exposure to environmental factors and the occurrence of attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD). A population-based retrospective cohort study*, in «Environ Res», 166: 205-14.
- Sannella A. (2020), *The Sociology and the Sustainable Development. The Paradigm is going to Change*, in Nocenzi M., Sannella A., (Eds.), *New perspectives for a social theory and research of sustainability*, Springer Nature, Cham.
- Schraufnagel DE. (2019a), *Air pollution and non-communicable diseases: a review by the forum of international respiratory societies environmental committee. Part 1*, in «Chest» 155: 409-416.
- Schraufnagel D.E. (2019b), *Air pollution and non-communicable diseases: a review by the forum of international respiratory societies environmental committee. Part 2*, in «Chest», 155: 417-426.
- Shi L. (2019), *Climate penalty: climate-driven increases in ozone and PM2.5 levels and mortality*, in «Environ. Epidemiol. » 3, 365.
- Silveira I. H. (2019), *The effect of ambient temperature on cardiovascular mortality in 27 Brazilian cities*, «Sci. Total. Environ.» 691: 996-1004.

- Skinner M.K. (2014), *Environmental Epigenetics and a Unified Theory of the Molecular Aspects of Evolution: A Neo-Lamarckian Concept that Facilitates Neo-Darwinian Evolution*, in «Genome Biol. Evol», 7(5): 1296-1302.
- Stevens H.R. (2019), *Hot and bothered? associations between temperature and crime*, in «Australia. Int J Biometeorol», 63: 747-62.
- Takaro T.K. (2013), *Climate change and respiratory health: current evidence and knowledge gaps*, in «Expert Rev Respir Med», 7: 349-361.
- Thompson Klein J. (2008), *Unity of knowledge and transdisciplinarity: contexts of definition, theory and the new discourse of problem solving*, in Hirsch Hardon G. (ed.), *Unity of Knowledge (in Transdisciplinary Research for Sustainability)*, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Oxford, vol. I.
- UN (2015), *The 2030 Agenda for Sustainable Development*, <https://sdgs.un.org/goals>.
- Van der Leun J.C. (2008), *Climate change and human skin cancer*, in «Photochem Photobiol Sci», 7: 730-3.
- Volk H.E. (2013), *Traffic-Related air pollution, particulate matter, and autism*, in «JAMA Psychiatr», 70: 71-7.
- Vos T. (2020), *Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study*, in «Lancet» 396: 1204-1222.
- Wayne P. (2002), *Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO₂-enriched atmospheres*, in «Ann Allergy Asthma Immunol», 88: 279–282.
- Wei Y. (2019), *Associations between seasonal temperature and dementia-associated hospitalizations* in «New England Environ Int», 126: 228-233.
- World Health Organization (2021), *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*, World Health Organization.
- Yang J. (2015), *Cardiovascular mortality risk attributable to ambient temperature in China*, in «Heart» 101: 1966-1972.
- You R. (2022), *The pathogenic effects of particulate matter on neurodegeneration: a review*, in «J Biomed Sci», 29: 15.
- Yousefian F. (2018), *Long-Term exposure to ambient air pollution and autism spectrum disorder in children: a case-control study*, in «Tehran, Iran. Sci Total Environ», 643: 1216-22.
- Zanobetti A. (2015), *Disentangling interactions between atmospheric pollution and weather*, in «J. Epidemiol. Community Health», 69: 613-615.
- Zhao Q. (2021), *Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study*, in «Lancet Planet. Health», 5: e415-e425.