

OBIETTIVO 13

**Adottare misure urgenti per
combattere il cambiamento climatico
e le sue conseguenze**



OBIETTIVO 13

ADOTTARE MISURE URGENTI PER COMBATTERE IL CAMBIAMENTO CLIMATICO E LE SUE CONSEGUENZE

Economia, condizioni ambientali e sostenibilità

Alessandro Vercelli e Sebastiano Cupertino

Abstract

Il presente contributo si propone di approfondire l'interazione tra la dimensione economica della sostenibilità e quella ambientale. Pertanto, il capitolo si focalizza sull'impatto negativo che la crescita economica ha prodotto sulle risorse ambientali riducendone la disponibilità e deteriorandone la qualità. Il necessario approfondimento dei principi caratterizzanti la sostenibilità dello sviluppo deve indurre, quindi, un ripensamento delle politiche che regolano il mercato globalizzato a supporto della tutela ambientale e di una crescita economica sostenibile. Inoltre, l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla pandemia da Covid-19 conferma l'urgenza di riorientare il modello di sviluppo in una direzione sempre più sostenibile.

13.1 L'impatto della crescita economica sulle condizioni ambientali della sostenibilità dello sviluppo

La definizione di sviluppo sostenibile fonda le sue radici da un lato su postulati di natura etica che enfatizzano i principi di giustizia sociale nella distribuzione del reddito e delle risorse fra generazioni presenti e future, dall'altro lato su condizioni stringenti per la conservazione dell'ambiente e per la protezione degli equilibri fondamentali della biosfera. Le principali attività antropiche implicano atti di produzione e di con-

sumo che per loro natura hanno effetti significativi sull'ambiente. Tali attività impattano sulla disponibilità e qualità delle risorse naturali presenti nell'ecosistema. Un uso sconsiderato delle risorse naturali scarse o non rinnovabili, oppure uno sfruttamento eccessivo di una risorsa rinnovabile che non rispetti i tempi di rigenerazione della stessa, finirebbe per danneggiare l'ecosistema e il benessere di chi ci vive. Lo sfruttamento delle risorse è solitamente regolato dall'impostazione neoclassica del pensiero economico che poggia su modelli aventi come obiettivo la massimizzazione della crescita economica e dei profitti aziendali. Tale impostazione prevede che:

- la gestione delle risorse e del loro consumo possa garantire un loro sfruttamento nel futuro;
- la riserva aggregata di capitale produttivo sia costante nel tempo;
- lo stock naturale e quello artificiale possano essere sostituibili;
- le risorse naturali non rinnovabili devono essere impiegate in modo efficiente;
- le aziende sostengono il benessere socio-economico se, nel soddisfare i bisogni umani attraverso la produzione di beni e l'erogazione di servizi, creano nel breve periodo valore prevalentemente per i propri azionisti.

Tuttavia, non è affatto scontato che il capitale artificiale possa sopperire a perdite di stock di risorse naturali. A tal proposito, in letteratura sono emerse due posizioni discordanti ed inconciliabili che hanno introdotto due concetti di sostenibilità: debole e forte. La sostenibilità debole prevede che la somma degli stock di capitale artificiale e naturale sia costante nel tempo, individuando nelle attività

umane di ricerca ed innovazione quelle variabili necessarie a produrre soluzioni utili per compensare l'esaurirsi e il deteriorarsi di risorse naturali. Viceversa, la sostenibilità forte non considera perfettamente sostituibili i due stock di risorse tra loro, ritenendo che la riserva di risorse naturali debba essere tutelata costantemente nel tempo.

La produzione di beni e l'erogazione di servizi impiega quantità di materie prime naturali e nello stesso tempo genera scarti di produzione, rifiuti (solidi e/o liquidi) ed immateriali (inquinanti gassosi e/o acustici) la cui entità in termini di massa e biodegradabilità può determinare un livello preoccupante, e talora irreversibile, di degrado ambientale.

Dalla prima rivoluzione industriale fino ai giorni nostri varie forme di inquinamento della biosfera prodotte dalle attività antropiche hanno degradato l'ambiente sia localmente che globalmente. Dal punto di vista locale, attività agricole e di allevamento intensive, l'uso di sostanze inquinanti (quali i fitofarmaci, i pesticidi, i diserbanti, e i fertilizzanti) ed attività industriali di settori particolarmente impattanti sull'ambiente (come ad esempio il settore chimico, petrolchimico, dell'alluminio, della carta, del cemento, dell'acciaio) hanno inquinato i bacini acquiferi, il sottosuolo, l'atmosfera e hanno ridotto la produttività di vaste aree coltivate e/o coltivabili, mettendo a repentaglio la sopravvivenza delle foreste e distruggendo biodiversità. D'altro lato, sul piano mondiale le emissioni di anidride carbonica, di protossido di azoto, di metano e di altri gas ad effetto serra (d'ora in poi GHG) emessi da attività umane hanno prodotto un aumento medio della temperatura a livello globale che, a sua volta, ha generato cambiamenti climatici con forti ricadute nel lungo periodo sugli equilibri dell'ecosistema. In particolare, l'incremento delle concentrazioni atmosferiche dei GHG sta causando: lo scioglimento dei ghiacciai con conseguente innalzamento ed acidificazione delle acque oceaniche e marine; un aumento di eventi meteorologici estremi che causano alluvioni e lunghi periodi di siccità; un progressivo deterioramento delle disponibilità di risorse idriche e della qualità delle acque disponibili, nonché un progressivo aumento della desertificazione in alcune aree geografiche.

Il deteriorarsi della qualità ambientale implica il sostenimento di costosi interventi difensivi per ripristinare gli ingenti danni causati sia dall'inquinamento che da eventi naturali estremi, nonché per mitigare gli impatti catastrofici attesi per via dei cambiamenti climatici (IPCC, 2014). Inoltre, il degrado ambientale a livello locale può aggravare le condizioni socioeconomiche di alcune popolazioni che vivono già a livelli estremi di povertà e sussistenza. Le popolazioni caratterizzate da alti tassi di povertà assoluta e relativa, infatti, soddisfano i propri bisogni primari attraverso lo sfruttamento delle biomasse ed alla messa in atto di attività prevalentemente agricole e pastorizie. Il peggioramento della qualità ambientale ed una diminuzione delle risorse naturali aggrava, pertanto, le condizioni socioeconomiche dei più poveri, condannandoli a sopravvivere nel tempo intrappolati nella povertà.

In contrapposizione a chi esalta gli aspetti positivi della globalizzazione dei mercati, alcuni economisti fanno notare che il processo di apertura indiscriminata delle economie nazionali avvenuto nel corso degli ultimi due secoli ha prodotto impatti negativi sui sistemi socioeconomici e sull'ambiente naturale. In particolare, la globalizzazione delle economie emergenti ha prodotto una degradazione ambientale crescente causata prevalentemente da attività industriali altamente insostenibili nonché da attività agricole e di allevamento intensive. Di conseguenza, nel corso degli ultimi decenni, nei Paesi in via di sviluppo e nelle aree più vulnerabili si è registrato un aumento dei livelli di povertà relativa ed assoluta, un incremento dei tassi di emigrazione, la perdita di biodiversità e di diversità culturale.

13.2 Le condizioni della sostenibilità dello sviluppo ambientale

Al momento non abbiamo lunghe serie storiche di indici che misurano la sostenibilità ambientale nel suo complesso. Indici di questo tipo sono stati suggeriti e calcolati per gli anni recenti, ma per valutare l'impatto a lungo ter-

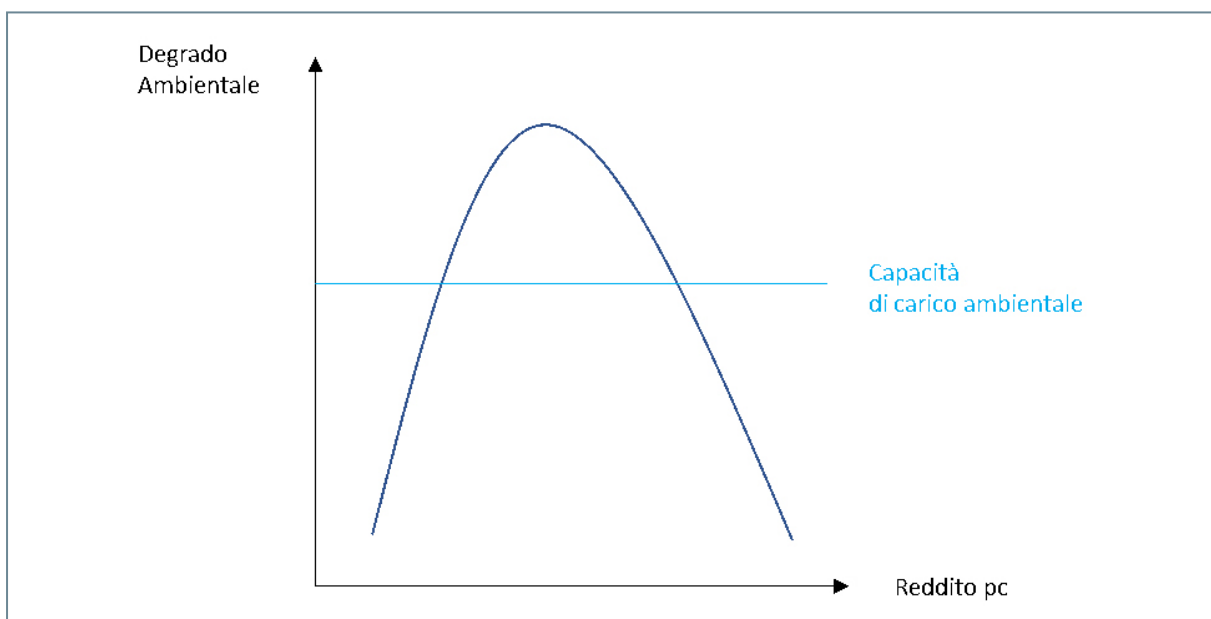
mine della globalizzazione sulla biosfera bisogna fare affidamento ad indici specifici di degrado ambientale. Alcuni studi empirici hanno rilevato che taluni indici di degrado ambientale sono aumentati durante la prima fase della modernizzazione di una qualsivoglia economia e, dopo aver toccato un apice, hanno assunto un trend decrescente. Questa presunta regolarità empirica, suggerita per primo da Panayotou (1993), è stata denominata in letteratura Curva di Kuznets Ambientale (d'ora in poi CKA) per la sua analogia con la Curva di Kuznets che connette il grado di sviluppo con la disuguaglianza nella distribuzione dei redditi.

La spiegazione principale della CKA si basa sulla tipica evoluzione della struttura produttiva di un Paese che ha avviato un processo di modernizzazione favorito anche dall'apertura agli scambi internazionali. In particolare, l'economia di un Paese che intraprende un processo di modernizzazione sviluppa prima l'industria pesante che è altamente inquinante, poi l'industria leggera ed infine il settore dei servizi che sono meno impattanti sull'ambiente naturale. Inoltre, raggiunta una certa soglia di benessere, i cittadini iniziano ad interrogarsi non solo su come migliorare la propria qualità della vita, ma anche su come tutelare i ceti meno abbienti e l'ambiente naturale.

In particolare, dopo aver raggiunto una soglia sufficientemente elevata di reddito pro-capite, molti cittadini maturano la consapevolezza che i modelli di produzione e di consumo vigenti hanno generato impatti tali da superare la capacità di carico ambientale. Pertanto, essi iniziano ad esercitare una pressione crescente sui governi a favore dell'introduzione di politiche ambientali più restrittive e di modelli di produzione e consumo ecocompatibili (vedi Figura 1).

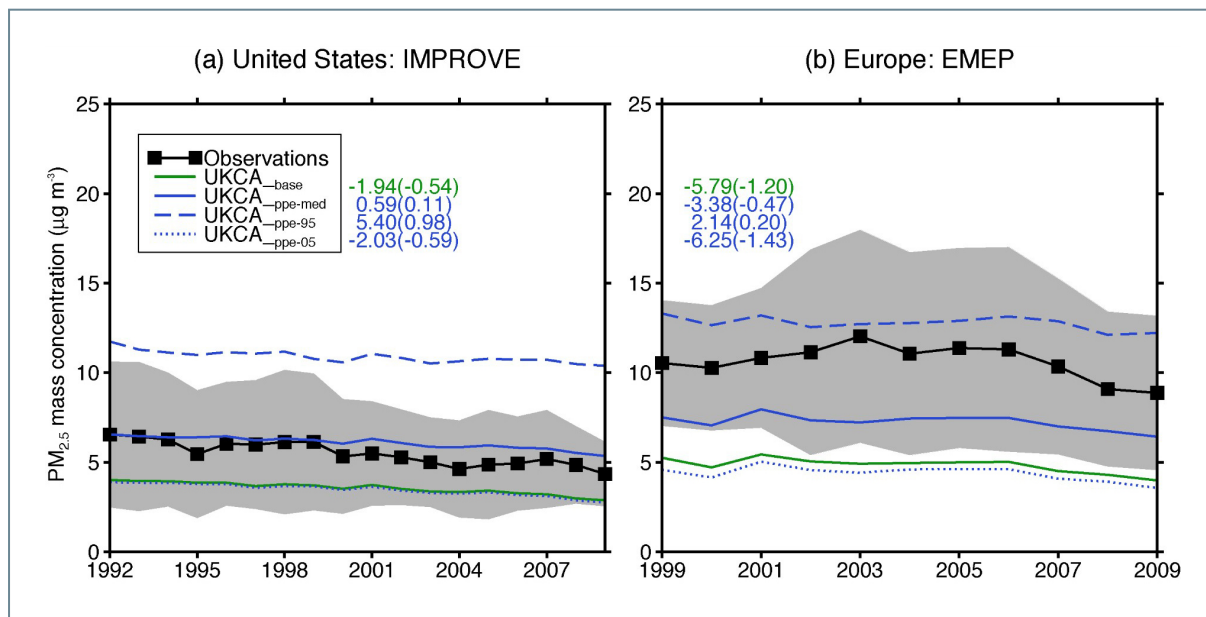
Se la CKA fosse corroborata dall'evidenza empirica, dovremmo aspettarci che l'evoluzione spontanea del processo di espansione delle economie moderne possa di per sé risolvere i problemi ambientali generati durante le prime fasi di crescita dell'industrializzazione. Sfortunatamente, i risultati degli studi empirici confermano tale congettura teorica solo per un numero limitato di indicatori, come ad esempio le concentrazioni atmosferiche di particolato e le emissioni di anidride solforosa (SO₂). A tal proposito, un recente studio (Butt et al., 2017) ha esaminato l'andamento delle concentrazioni annuali di PM_{2.5} negli Stati Uniti d'America ed in Europa. Alcuni risultati di tale analisi empirica sono sintetizzati nella seguente Figura 2. In particolare, analizzando i trend dei dati realmente osservati rappresentati dalle rette di colore nero riportate nei due grafici della figura seguente, si

Figura 1. Rappresentazione grafica della ipotesi sottostante la CKA



Fonte: Panayotou (1997).

Figura 2. Andamento delle concentrazioni di PM_{2.5} in atmosfera negli USA ed in Europa per il periodo 1992-2009



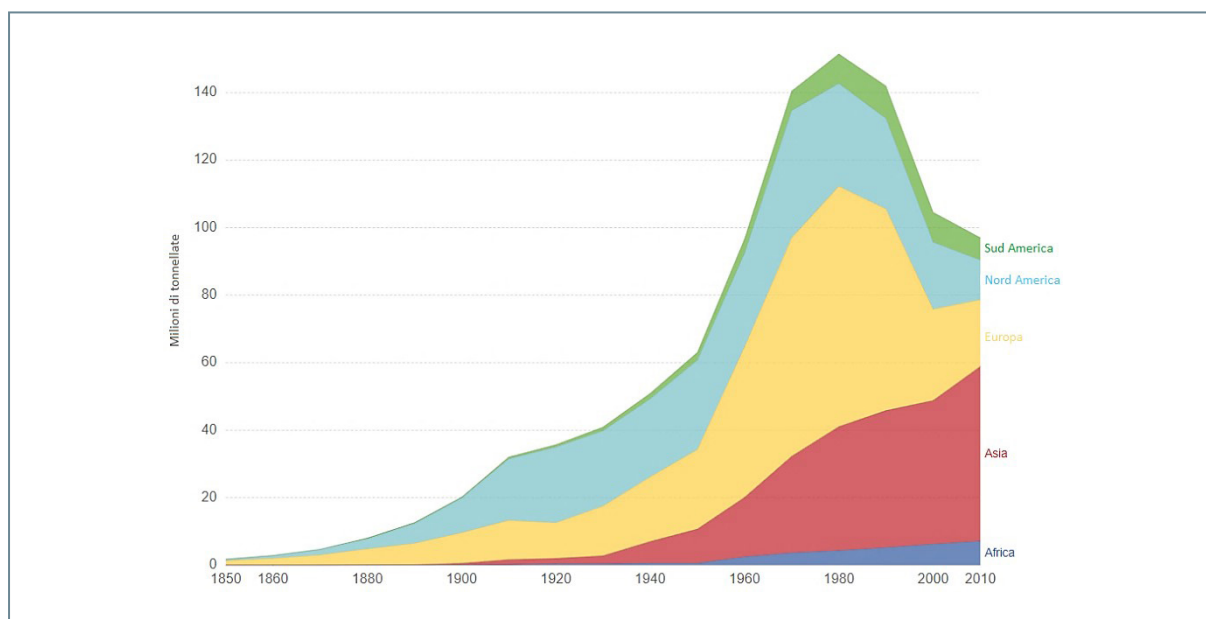
Fonte: Butt et al. (2017)

può notare come le concentrazioni di PM_{2.5} negli Stati Uniti e soprattutto in Europa durante il periodo temporale osservato (1992 e 2009) non sono molto difformi dall'assumere un andamento a U rovesciata.

Per quanto riguarda, invece, alcune rilevazioni regionali effettuate a livello mondiale da precedenti studi (e.g., OECD, 2014; Klimont, Smith e

Cofala, 2013; Smith et al., 2011) le emissioni di SO₂ responsabili della pioggia acida confermano solo parzialmente l'ipotesi sottostante la CKA. In particolare, considerando il grafico in Figura 3, durante un arco temporale che va dal 1850 al 2010 nel continente americano le emissioni annuali di SO₂ hanno assunto un trend a U rovesciata. Tuttavia, questo andamento non è pos-

Figura 3. Andamento delle emissioni di anidride solforosa in atmosfera



Fonte: OECD (2014); Klimont, Smith and Cofala (2013); Smith et al. (2011)

sibile riscontrarlo per il continente europeo, nel quale dagli anni '90 in poi le emissioni annuali di SO₂ hanno ripreso ad aumentare, e per l'Asia, in cui si registra un trend in continua crescita.

Si evidenziano, inoltre, curve ad U rovesciata conformi all'ipotesi CKA soltanto quando il nesso tra causa ed effetto non solo è chiaro ma produce ricadute a livello locale che allertano gli elettori ad agire prontamente. In questi casi, i governi sono sollecitati dai cittadini ad emanare politiche di tutela ambientale e della salute. Purtroppo, in molti altri casi si registra negli ultimi anni una nuova ondata di deterioramento ambientale che non è efficacemente contrastata con adeguati interventi di politica economica e ambientale. Questo è il caso, ad esempio, della concentrazione di batteri coliformi nelle acque dolci causata da un diffuso indebolimento delle politiche dirette a salvaguardare la qualità dell'acqua. Per quanto riguarda poi alcuni dei più importanti indicatori di degrado ambientale, come le emissioni di GHG, negli ultimi decenni si continua a registrare un trend di crescita senza alcun segno di inversione.

In definitiva, anche se ai suoi albori alcuni studi hanno corroborato l'ipotesi sottostante la CKA, successivamente in letteratura questa congettura è stata sostanzialmente falsificata in molti casi. Questi studi mostrano che alcuni indicatori specifici di degrado ambientale seguono piuttosto un andamento ad "N" causato da un nuovo peggioramento negli anni recenti. Possiamo quindi concludere che, come mostra il caso della CKA, non possiamo illuderci che il sistema socioeconomico si autoregoli adottando spontaneamente modelli di produzione e consumo più sostenibili. Ciò può avvenire soltanto se vi è una presa di coscienza da parte della collettività sociale e degli organi di governo che porti a seguire politiche e strategie di sviluppo sostenibili.

Secondo due noti studiosi (Holdren e Ehrlich, 1974), l'impatto delle attività antropiche (*I*) sulla qualità ambientale dipende dalle dinamiche demografiche di una determinata popolazione (*P*), l'intensità del degrado ambientale (*A*), e dallo sviluppo tecnologico (*T*), considerando, quindi, la relazione $I = PAT$. Il cosiddetto modello IPAT

può essere espresso in termini rigorosi scomponendo il tasso di crescita di un indice di degrado ambientale in un numero di fattori determinanti. Adottando questo metodo, possiamo ricavare, pertanto, la seguente identità in cui il tasso di crescita di uno specifico indicatore di degrado ambientale (*D*) è definito come la somma tra il tasso di crescita del reddito pro-capite (*y*), il tasso di crescita dell'intensità del degrado ambientale (*intensità D*) ed il tasso di crescita della popolazione (*p*):

$\text{Crescita di } D = \text{Crescita del reddito } pc + \text{Crescita della intensità di } D + \text{Crescita della Popolazione}$	(1)
---	-----

Da questa identità è possibile derivare la seguente semplice condizione minima di sostenibilità ambientale globale di lungo termine:

$\text{Crescita di } D \leq 0$ $\text{Crescita del reddito } pc \leq -(\text{Crescita della intensità di } D + \text{Crescita della Popolazione})$

Pertanto, un'economia può crescere in modo sostenibile solo se la velocità di riduzione del degrado ambientale è superiore al tasso di crescita della popolazione. Questa condizione può essere realizzata solo se sono diffusamente adottati modelli di produzione, consumo e cambiamento tecnologico sempre più ecocompatibili. Perciò, rispetto alle economie in via di sviluppo o sottosviluppate, i Paesi sviluppati possono rispettare più agevolmente tale condizione, considerando i tassi di crescita demografica relativamente bassi, nonché i più alti livelli di progresso tecnologico ecocompatibile. Viceversa, i Paesi in via di sviluppo che hanno maturato una maggiore attenzione per i vincoli di sostenibilità, hanno maggiori difficoltà a rispettare la condizione di sostenibilità precedentemente riportata. Per prevenire il degrado ambientale, considerando i vincoli energetici, è utile riformulare la precedente identità (1) definendo la seguente equazione:

$G^* = P^* + y^* + e^* + f^* + g^*$	(2)
-------------------------------------	-----

dove ciascuna variabile asteriscata esprime il tasso di crescita. In altre parole, la crescita del degrado ambientale, che può essere misurata in termini di tasso di crescita delle emissioni di GHG (G) può essere definita come la somma tra il tasso di crescita della popolazione (P), il tasso di crescita del reddito pro-capite (y),¹⁶² il tasso di intensità energetica (e),¹⁶³ l'intensità di utilizzo dei combustibili fossili (f),¹⁶⁴ e l'intensità delle emissioni di GHG prodotte (g)¹⁶⁵.

Riformulando l'equazione (2), possiamo far derivare da essa la seguente disequazione che definisce una specifica condizione di sostenibilità. Tale condizione è soddisfatta solo se all'aumentare del reddito pro-capite le emissioni di GHG non aumentano ($G \leq 0$):

$G^* = P^* + y^* + e^* + f^* + g^* \leq 0$ $y^* \leq -(P^* + e^* + f^* + g^*)$	(3)
--	-----

Questa condizione di sostenibilità non è facilmente raggiungibile negli attuali scenari. La crisi finanziaria del 2007-2009 e la conseguente Grande Recessione degli ultimi anni hanno abbassato i ritmi di crescita se non addirittura fatto decrescere y^* sia per le economie sviluppate che per quelle in via di sviluppo. Contestualmente, se da un lato per i Paesi sviluppati si parla addirittura di crescita demografica "zero", viceversa il tasso di crescita di P^* nelle economie in via di sviluppo è ancora elevato, anche se sta decelerando in questi ultimi anni. Inoltre, considerando lo scenario inerziale (i.e., *business as usual*), l'andamento di f^* e g^* dovrebbe essere sostanzialmente stazionario nei prossimi anni (Borghesi e Vercelli, 2009). La seguente Tabella 1 sintetizza i trend temporali delle variabili incluse nell'equazione (2) ed alcune proiezioni in merito sulla base di dati elaborati dalla *Energy Information Administration* (EIA) al 2030.

Tabella 1. Trend temporali delle variabili determinanti la condizione di sostenibilità dello sviluppo ambientale

World	G^*	P^*	y^*	e^*	g^*	f^*
1971-1980	2.8	1.9	2.2	-1.1	0.2	-0.4
1981-1990	1.6	1.9	1.3	-1.1	-0.1	-0.4
1991-2000	1.4	1.6	1.8	-1.8	0.2	-0.4
1971-2000	1.8	1.7	1.6	-1.2	0	-0.3
2005-2030	1.7	1.0	3.0	-2.4	-0.1	0.1

Fonte: Borghesi e Vercelli (2009) Smith et al. (2011)

Le previsioni della EIA (2008) sono tuttora sostanzialmente attendibili visto che a livello internazionale non sono state attuate azioni concrete per combattere i cambiamenti climatici, nonostante gli Accordi della conferenza di Parigi sul clima (COP21) sanciti nel dicembre del 2015, la definizione dei target di riduzione delle emissioni di GHG previsti dall'Agenda 2030 (UN, 2015) e le regole di mitigazione sancite dalla COP-24 di Katowice del 2018. Viste tali dinamiche e stime, riteniamo, quindi, che l'abbattimento e la mitigazione di G^* non possa che avvenire sul piano internazionale attraverso l'attuazione della stessa Agenda 2030 e localmente con politiche o con processi di innovazione finalizzati a ridurre i tassi di intensità energetica (e^*).

13.3 Crescita economica e degrado ambientale

Le ultime stime della Banca Mondiale confermano che le emissioni globali dei principali GHG negli ultimi decenni hanno manifestato un trend crescente. In particolare, nell'arco temporale che va dal 1970 al 2012 si stima che le emissioni di metano (CH_4) siano cresciute del 50.84%, quelle di ossido di azoto (N_2O) del 40.25%, mentre quelle

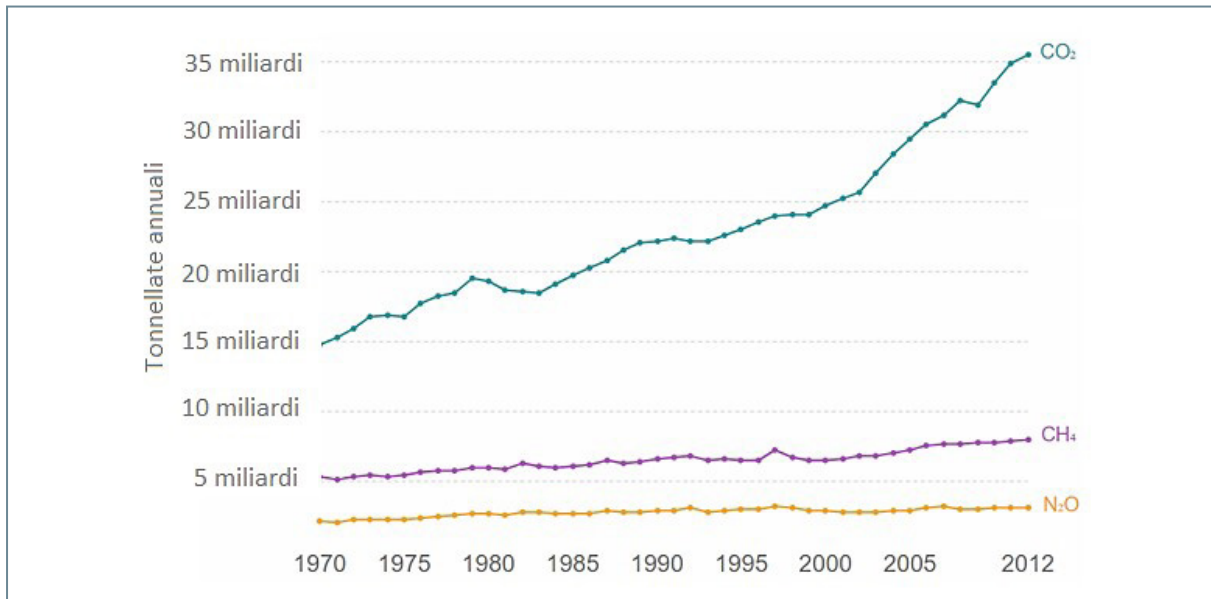
¹⁶² Che è inteso come il rapporto tra Prodotto Interno Lordo (Y) e Popolazione (P).

¹⁶³ Misurata come il rapporto tra il Consumo di Energia (E) e (Y).

¹⁶⁴ Data dal rapporto tra la quantità di risorse fossili disponibili (F) ed E .

¹⁶⁵ Espressa dal rapporto tra emissioni di GHG prodotte da combustione di risorse fossili ed E .

Figura 4. Andamento delle emissioni medie annuali di Gas serra a livello mondiale (1970-2012)



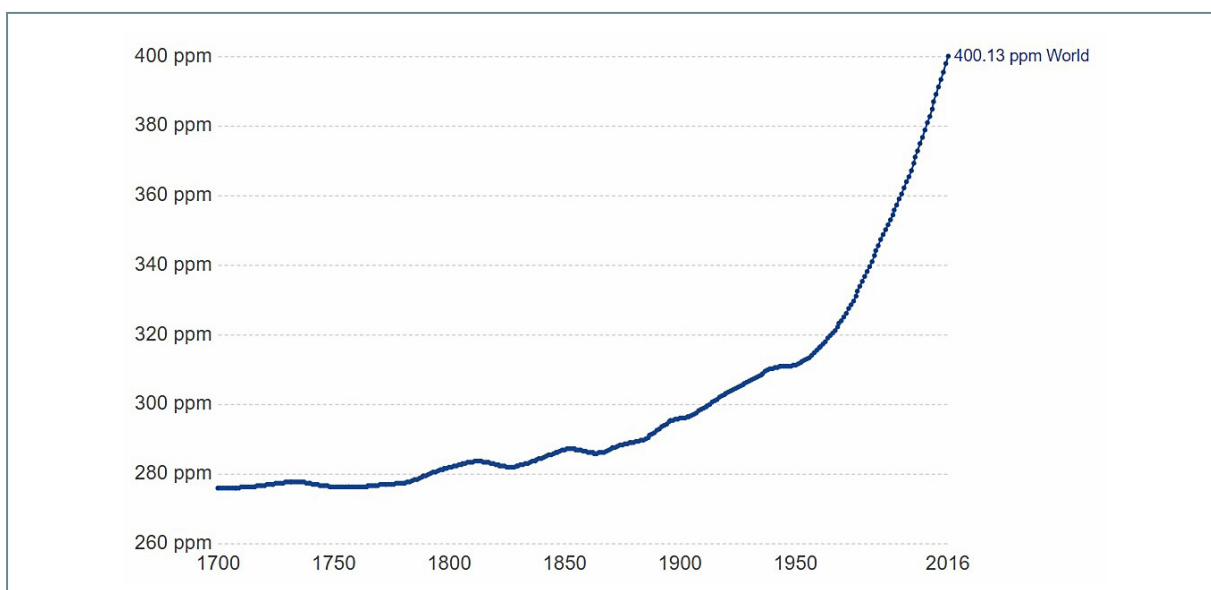
Fonte: Banca Mondiale (2019)

di anidride carbonica (CO₂) hanno fatto registrare un incremento accelerato del +139.82% (cf. Figura 4).

Dal XVIII secolo ad oggi le emissioni annue globali di GHG sono sempre state superiori alla capacità di assorbimento annuo da parte della biosfera stimato intorno ai 5 GtCO_{2e} (IPCC, 2014). L'aver superato costantemente questa soglia ha causato un aumento della concentrazione atmosferica delle medesime sostanze inquinanti.

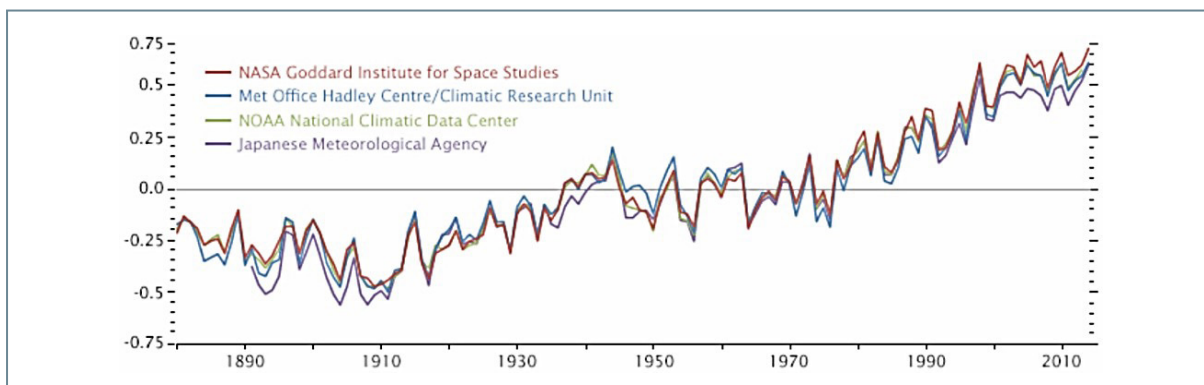
Il trend crescente di G ha prodotto una crescita nella concentrazione media di alcuni GHG in atmosfera. In particolare, la concentrazione media in atmosfera di CO₂ è cresciuta nel lungo periodo dalle 280 parti per milioni (ppm) stimate nel periodo preindustriale alle circa 400 ppm rilevate ad esempio nel 2016 da *Scripps CO₂ Program* (cf. Figura 5).

Figura 5. Andamento di lungo periodo della concentrazione media di CO₂ a livello globale



Fonte: Scripps CO₂ Program (2017)

Figura 6. Rilevazioni annuali della temperatura terrestre da parte di alcuni principali istituti internazionali

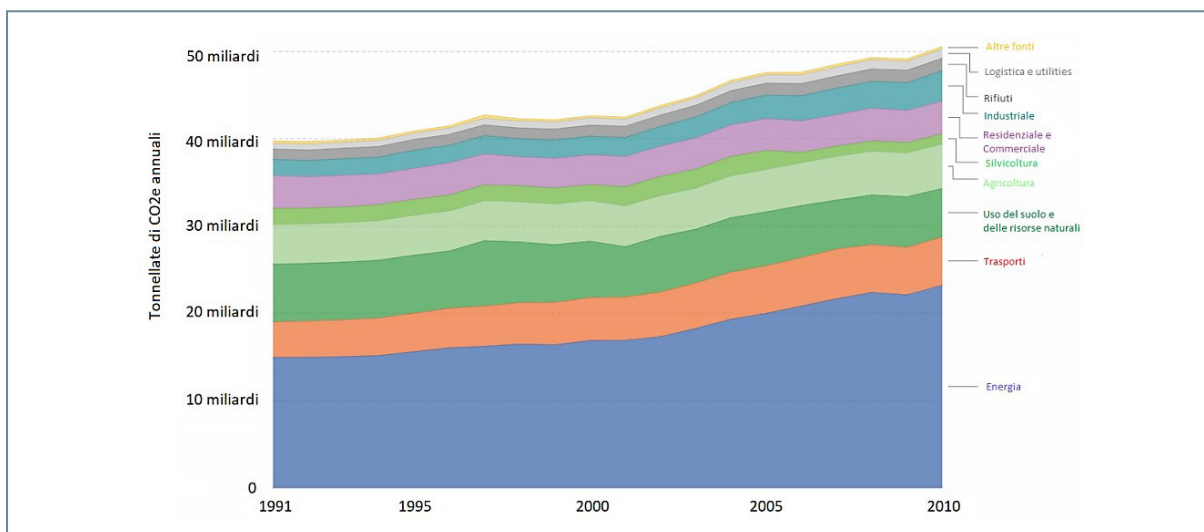


Fonte: NASA <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/DecadalTemp>

Secondo un'analisi condotta da scienziati del *Goddard Institute for Space Studies* della NASA (GISS), la temperatura media globale sulla Terra in questi ultimi anni ha subito un innalzamento di circa 0,8 °C rispetto al 1880 a causa dell'aumento delle concentrazioni dei GHG. In base a questa rilevazione, i due terzi del riscaldamento globale sono avvenuti nell'arco temporale che va dal 1975 ad oggi. L'innalzamento della temperatura media terrestre ha seguito finora un trend di circa 0,15-0,20 °C per decennio. La Figura 6 mostra, ad esempio, l'andamento della temperatura media terrestre dal 1880 al 2014 registrate dalla NASA, dal NOAA, dalla *Japan Meteorological Agency* e dal *Met Office Hadley Centre* (Regno Unito). In definitiva, le quattro differenti rilevazioni mostrano un rapido riscaldamento negli ultimi decenni del globo terrestre ed evidenziano l'ultimo decennio come il più caldo del periodo temporale esaminato.

Grazie al lavoro svolto in questi decenni dagli esperti che compongono il gruppo intergovernativo delle Nazioni Unite sul cambiamento climatico costituitosi nel 1988 e denominato *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), è ormai dimostrato che le emissioni climalteranti prodotte dalle attività antropiche rappresentano la causa principale del cosiddetto riscaldamento globale (i.e., *global warming*). Nello specifico, la Figura 7 riporta gli andamenti medi annuali (dati FAO, 2017) delle emissioni dei principali GHG per quei settori che annoverano attività principalmente inquinanti, ossia: l'energetico, i trasporti, l'agricoltura, la silvicoltura, le attività residenziali e commerciali, lo smaltimento e trattamento rifiuti, le attività industriali, la logistica e le utilities.

Figura 7. Emissioni Gas serra annuali per principali settori periodo 1991 – 2010



Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2017)

Il crescente aumento demografico mondiale di questi ultimi decenni ha generato un incremento della domanda di beni e servizi ed un conseguente aumento delle emissioni di GHG. L'aumento del fabbisogno alimentare ha portato all'espansione dei terreni agricoli ed all'intensificazione delle pratiche agricole e di allevamento di bestiame. Le terre coltivate e gli allevamenti di animali domestici generalmente prendono il posto delle aree boschive. Si stima che fino all'80% della deforestazione sia dovuto all'espansione dei terreni agricoli, nonché alle aree destinate al pascolo ed agli allevamenti. Questo processo di deforestazione, oltre ad aumentare il rischio di dissesto idrogeologico, libera CO₂ immagazzinata negli alberi e nei terreni, ed allo stesso tempo incrementa l'emissione di altri GHG come, ad esempio, di metano correlato agli allevamenti di bestiame. Queste emissioni, quindi, dipendono in gran parte dalle pratiche agricole, dalla silvicoltura, dall'uso del suolo e dalle attività zootecniche.

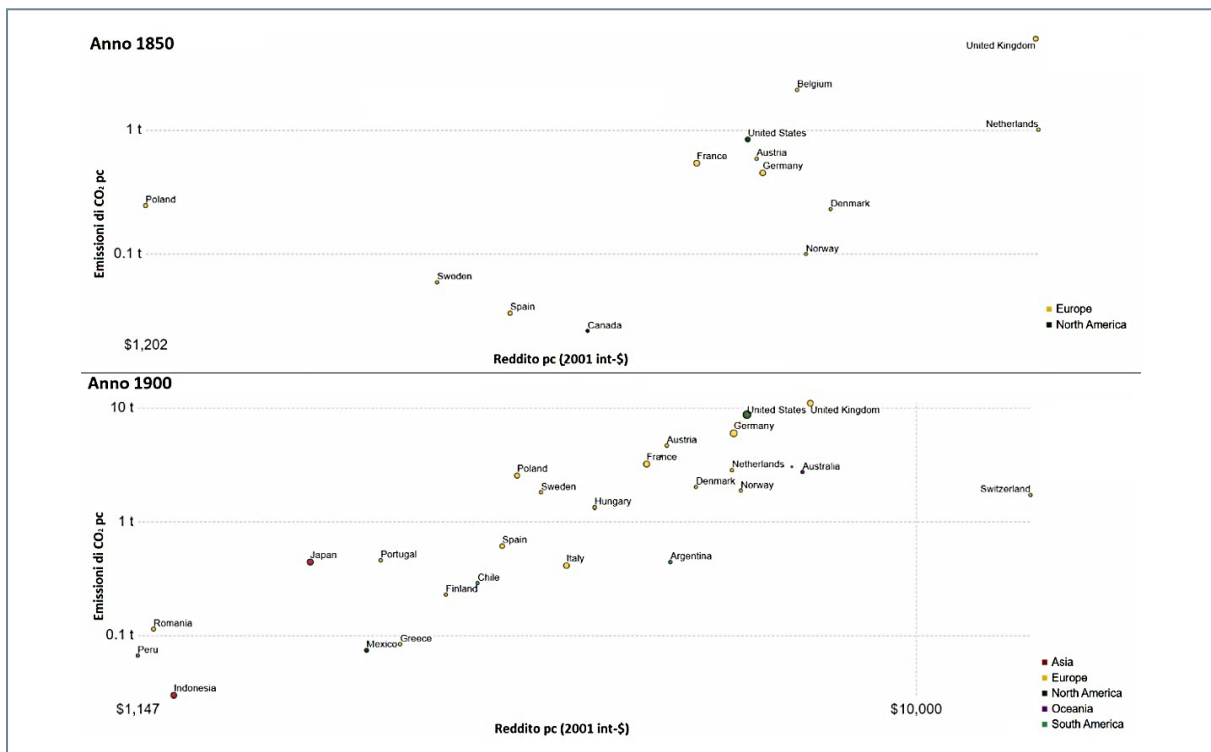
La crescita economica globale ha prodotto un aumento della domanda di cibo sia perché bisogna sfamare una popolazione mondiale sempre più numerosa sia perché le fasce sociali benestanti

possono permettersi di acquistare e consumare maggiori quantità di generi alimentari.

D'altro canto, la crescita del reddito pro-capite comporta anche una transizione alimentare dovuta a cambiamenti nelle diete. Al crescere del reddito pro-capite aumenta, infatti, la probabilità che le fasce sociali più abbienti preferiscano inserire nella propria dieta il consumo di carne. Di conseguenza, consumi crescenti di carne animale inducono gli operatori del settore ad adottare pratiche sempre più intensive di allevamento di bestiame che a loro volta sono causa di emissioni crescenti di GHG.

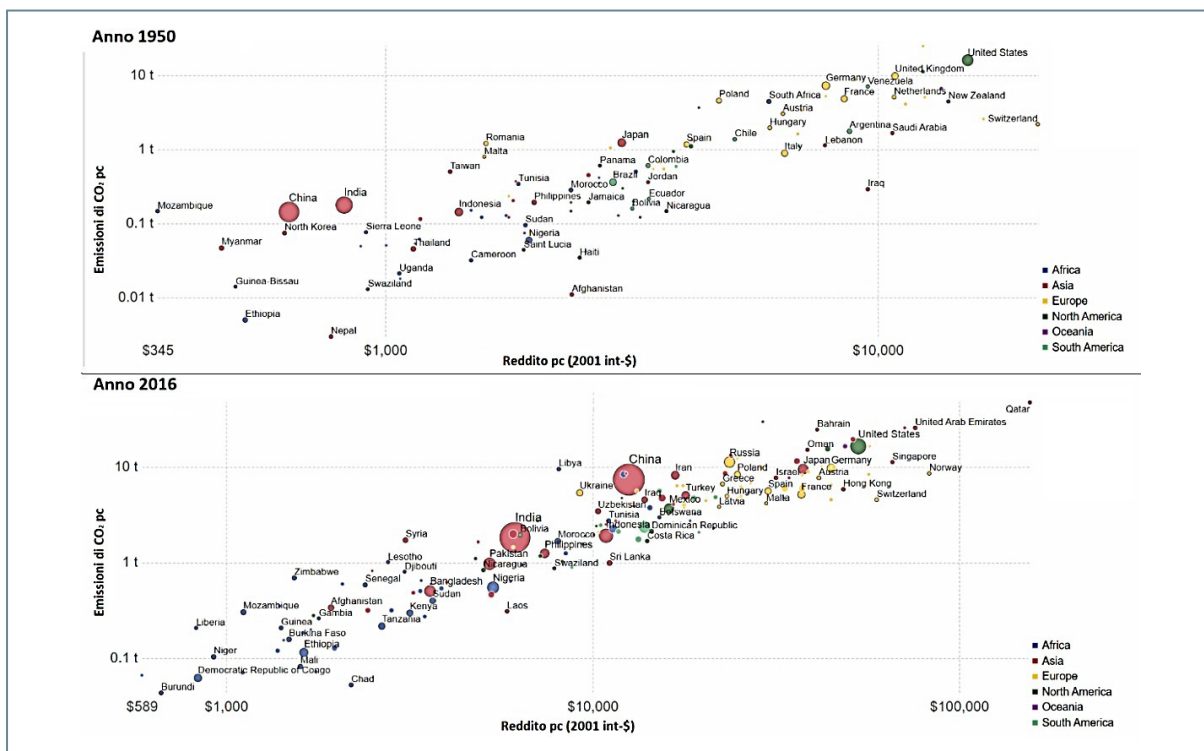
Inoltre, l'aumento della popolazione e la crescita economica incrementano il fabbisogno energetico. Storicamente, le emissioni di CO₂ sono state principalmente guidate dall'aumento del consumo di risorse fossili. Questo driver energetico è stato, e continua a essere, la condizione determinante della crescita economica e della riduzione della povertà. Pertanto, come è confermato dalle Figure 8 e 9, esiste una forte correlazione tra le emissioni di CO₂ pro-capite ed il reddito pro-capite.

Figura 8. Comparazione temporale tra Paesi degli stadi di sviluppo e di emissioni prodotte: anni 1850-1900



Fonte: Maddison Project Database, version 2018. Bolt, et al. (2018).

Figura 9. Comparazione temporale tra Paesi degli stadi di sviluppo e di emissioni prodotte: anni 1950-2016



Fonte: Maddison Project Database, version 2018. Bolt, et al. (2018).

Questa correlazione è presente anche nel tempo: i Paesi iniziano a comparire nelle aree del grafico che rilevano basse emissioni di CO₂ e bassi livelli di reddito pro-capite. Successivamente, con la prosecuzione della crescita economica, i Paesi si spostano verso l'alto e verso la parte destra dei grafici nelle aree con più alti livelli di emissioni di CO₂ e di reddito. Storicamente, se un Paese impiega i combustibili fossili come risorsa primaria energetica, registrerà nel tempo alti tassi di emissione di CO₂ in conseguenza dello sviluppo e della prosperità economica.

13.4 Andamenti attuali e possibili scenari futuri

A cinque anni dall'introduzione dell'Agenda 2030, la maggior parte dei Paesi sembra essere nettamente in ritardo nel raggiungere i propri obiettivi di mitigazione e stabilizzazione del cambiamento climatico. In particolare, a livello mondiale, dall'analisi dei recenti dati annua-

li relativi al 2019 riportati nell'ultimo report dell'Organizzazione delle Nazioni Unite *"The Sustainable Development Goals Report 2020"* (UN, 2020) non si registrano dati confortanti. Il 2019 è stato anzi il secondo anno in cui la temperatura media a livello globale ha registrato dei picchi massimi che hanno contribuito a rendere il decennio 2010-2019 l'arco temporale più rovente della storia dell'umanità. Se l'attuale trend del riscaldamento globale non venisse, dunque, stabilizzato, la temperatura media a livello globale potrebbe aumentare fino a raggiungere i 3.2 °C entro il 2100 con gravi conseguenze che metterebbero a rischio gli equilibri fondamentali della biosfera e la stessa sopravvivenza della specie umana. Per prevenire possibili scenari apocalittici, 189 Paesi hanno ratificato gli Accordi della COP-21. In particolare, tali Accordi prevedono di limitare il surriscaldamento globale a 2 °C, inducendone una stabilizzazione a 1.5 °C, attraverso azioni di riduzione del 45% delle emissioni globali di GHG correnti entro il 2030 al fine del raggiungimento delle emissioni zero nette entro il 2050. Considerando gli attuali trend delle emissioni di GHG a livello globale, tuttavia, il mondo

è ad oggi molto distante dal raggiungimento degli obiettivi fissati dalla COP-21. Le emissioni di GHG prodotte dai Paesi sviluppati e dalle economie in transizione sono diminuite solamente del 6.5% nel periodo 2000-2018. Nel frattempo, però, le emissioni di GHG dei Paesi in via di sviluppo sono aumentate considerevolmente. Si stima, ad esempio, che nel periodo 2000-2013 i Paesi in via di sviluppo abbiano incrementato le proprie emissioni di GHG del 43.2% a causa del processo insostenibile di industrializzazione ed a pratiche di delocalizzazione delle attività produttive più inquinanti dalle economie avanzate a quelle in transizione.

Sebbene le emissioni di GHG siano diminuite mediamente del 7% nel 2020, rispetto al 2019, tale trend positivo è solo temporaneo, poiché correlato ad un calo del traffico aereo e terrestre, nonché al rallentamento economico, causati dall'attuale pandemia da Covid-19 in atto. Tuttavia, tale rallentamento nel trend crescente degli ultimi anni delle emissioni di GHG mondiali non produrrà un impatto significativo sulle concentrazioni degli stessi gas nell'atmosfera. Ciò dipende non solo dalla transitorietà di questa riduzione ma anche dalla difficoltà di superare alcune tendenze negative accentuate dalla pandemia. In particolare, il trasferimento del traffico locale dai mezzi di trasporto pubblici ai mezzi di trasporto privato risulterà difficilmente reversibile anche dopo il superamento dell'attuale emergenza con il rischio di peggiorare significativamente l'inquinamento atmosferico, soprattutto nelle grandi città e nelle aree urbanizzate.

In questi ultimi anni, comunque, si iniziano a intravedere le prime azioni di contrasto al cambiamento climatico. In linea con quanto previsto dal SDG n. 13, tra il 2019 e i primi mesi del 2020, 186 Paesi hanno ratificato gli Accordi della COP-21 ed hanno elaborato e pubblicato i propri "National Adaptation Plans" (NAPs). Tale iniziativa potrebbe garantire una programmazione più efficace e un miglior monitoraggio degli investimenti a supporto del perseguimento degli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico. A tale riguardo, nel 2019 almeno 120 dei 153 Paesi in via di sviluppo hanno avviato le attività preparatorie per la formulazione del

proprio NAP. Questi impegni formali hanno indotto, inoltre, un sostanziale aumento a livello globale del 17% dei finanziamenti allocati per realizzare azioni di mitigazione del cambiamento climatico nel periodo 2013-2016. Tuttavia, dalle ultime rilevazioni su scala mondiale datate 2016, gli investimenti a supporto dello sfruttamento dei combustibili fossili (781 milioni di dollari) risultano tuttora maggiori delle risorse nazionali allocate per combattere il cambiamento climatico (681 milioni di dollari). Contemporaneamente, però, gli effetti prodotti dal cambiamento climatico continuano ad esacerbare la frequenza e la gravità delle catastrofi naturali. In particolare, nel 2018 più di 39 milioni di individui sono stati vittime di devastanti incendi, uragani, siccità, alluvioni ed altre calamità naturali estreme in tutti i continenti. Tuttavia, solamente 85 Paesi hanno formulato ed attuato strategie di mitigazione dei rischi da calamità naturali allineate con quanto previsto dal *Sendai Framework* 2015-2030 che sancisce alcuni principi fondamentali per riequilibrare il rapporto tra le attività antropiche e l'ecosistema, suggerendo cambiamenti strutturali atti a far divenire i sistemi socioeconomici ad emissioni zero e più resilienti.

Inoltre, dal 2013 si registra un aumento degli investimenti a supporto delle azioni di mitigazione e stabilizzazione del cambiamento climatico. In particolare, nel periodo 2013-2014 gli investimenti a tal fine sono aumentati del 17%, registrando un aumento di 584 miliardi di dollari, nonché un ulteriore successivo incremento tra il 2015 ed il 2016 stimato a circa 681 miliardi di dollari. La maggior parte di questi aumenti di capitale finanziario è stata impiegata su scala globale per sostenere lo sviluppo e diffondere le tecnologie utili allo sfruttamento delle energie rinnovabili. Tuttavia, sebbene questi flussi finanziari siano considerevoli, le relative poste restano tuttora insufficienti rispetto alla reale necessità di investimenti annuali che possano concretamente finanziare la necessaria transizione verso la decarbonizzazione dei sistemi economici nazionali e dell'economia mondiale (Vercelli, 2017). Inoltre, gli investimenti a suppor-

to delle azioni di mitigazione e stabilizzazione del cambiamento climatico sono ad oggi molto inferiori rispetto a quelli che sono investiti nel settore energetico a supporto delle tecnologie che impiegano combustibili fossili.

Dal punto di vista, invece, politico-economico, in questi ultimi quindici anni si registra una crescente diffusione dei cosiddetti “*Emissions Trading Systems*” (ETSs) su scala mondiale. Questo strumento di politica ambientale, che svolge un’importante azione preventiva di mitigazione e stabilizzazione del cambiamento climatico, si sta rapidamente diffondendo come strumento elettivo per la determinazione del prezzo del carbonio. Infatti, oltre al sistema ETS dell’Unione Europea (EU-ETS), altri sistemi nazionali e/o subnazionali sono già operativi o in fase di sviluppo in Canada, Cina, Giappone, Nuova Zelanda, Corea del Sud, Svizzera e Stati Uniti. Tali iniziative fanno seguito a quanto previsto dallo stesso Art. 6 degli Accordi COP-21 che consente alle parti di utilizzare lo scambio internazionale di quote di emissioni per contribuire al raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni di GHG, stabilendo un quadro di regolamentazione comune, nonché creando nuovi meccanismi di mercato più efficienti. Tuttavia, anche su questo fronte non è possibile ignorare alcune limitazioni e criticità di funzionamento dei vari ETS esistenti a livello mondiale che minano la loro efficacia. Ad esempio, da un’analisi comparativa, si può evincere che la maggior parte degli ETS presenta una limitata copertura sia delle sottocategorie di GHG che rientrano nel monitoraggio sia dei settori ed alcune categorie di aziende sottoposte ai vincoli di acquisizione/scambio dei permessi di emissione (Borghesi et al., 2016). Infine, gli ETS esistenti hanno presentato e presentano alcuni problemi di funzionamento a livello di *carbon pricing* e di allocazione/scambio dei permessi di emissione che favoriscono attività speculative finanziarie da parte degli operatori economici, piuttosto che promuovere l’attuazione di investimenti in tecnologie ecocompatibili e in energie rinnovabili.

13.4.1 Dopo l’attuale pandemia: emergenze sanitarie e ambientali

L’epidemia da Covid-19 ha distolto l’attenzione di molti dall’emergenza dell’inquinamento atmosferico e dello stesso riscaldamento globale che ne consegue, come se l’emergenza ambientale e quella sanitaria fossero oggi indipendenti. Ma così non è. Innanzitutto, è ipotizzabile che il cambiamento climatico possa aver veicolato la stessa trasmissione del virus Sars-Cov-2 tra le specie animali e l’uomo. Sappiamo infatti che il cambiamento climatico altera il modo in cui l’*Homo sapiens* interagisce con le altre specie del pianeta. Queste trasformazioni producono possibili impatti sulla stessa salute umana, aumentando il rischio di infezioni trasmesse da altre specie animali all’uomo. Il surriscaldamento globale ha spinto alcune popolazioni umane e animali a migrare verso habitat più temperati ed umidi, mettendo quindi in contatto specie indigene e migranti che generalmente non hanno mai avuto interazione tra loro in precedenza. Questa dinamica aumenta le possibilità per gli agenti patogeni di infettare nuovi ospiti, innescando un processo epidemico. Inoltre, molte cause del cambiamento climatico possono aumentare il rischio di nuove pandemie. La deforestazione, ad esempio, attuata su scala mondiale principalmente per estendere la produzione agricola ed esercitare attività zootecniche, è la principale causa di stravolgimento di habitat ecologici. La conseguente perdita di biodiversità costringe alcune specie animali a migrare e ad entrare in contatto con altra fauna e/o esseri umani, aumentando il rischio di trasferire nuovi agenti patogeni da una specie all’altra. Anche per questo motivo, bisognerebbe contrastare qualsiasi azione antropica che comporta un’ulteriore devastazione delle foreste al fine di estendere attività agricole insostenibili e di allevamento di bestiame intensivo se si vuole davvero prevenire il cambiamento climatico e possibili gravi rischi alla salute umana. Come è noto, gli allevamenti intensivi possono favorire la diffusione di nuove infezioni dal mondo animale agli esseri umani. Pertanto, un minore consumo di carne animale a scopo alimentare e una zootecnia più sostenibile potrebbero mini-

mizzare il rischio di malattie infettive emergenti e al contempo ridurre le emissioni di GHG (vedi ad esempio Zhao et al., 2019; Tang et al., 2018).

Il nesso tra inquinamento e salute è stato accertato da molto tempo. In particolare, è noto che l'inquinamento atmosferico danneggia significativamente il buon funzionamento del cuore e dei polmoni degli individui che ne subiscono gli effetti. Si stima che le patologie prodotte dall'inquinamento atmosferico, a prescindere dalla pandemia in corso, generino diversi milioni di decessi annui aggiuntivi. In particolare, è noto che l'inquinamento atmosferico incrementa la diffusione e la mortalità delle malattie virali. Ad esempio, questo nesso è stato accertato per l'epidemia di SARS scoppiata nel 2003 il cui virus è parente stretto del Sars-Cov-2. L'ipotesi che ci possa essere un nesso tra inquinamento atmosferico e aggressività delle patologie prodotte o aggravate dal Covid-19 è stata subito presa in considerazione stimolando una serie di studi empirici sulla correlazione tra inquinamento ed effetti dell'epidemia (per una rassegna critica dei primi studi rimandiamo a Cori e Bianchi, 2020). Questi studi hanno corroborato l'ipotesi che esista una correlazione significativa tra diversi indici di inquinamento atmosferico (in particolare polveri sottili e diossido di azoto) e conseguenze dell'epidemia di Covid-19: diffusione, intensità delle patologie e decessi. I primi studi si riferiscono alla Cina, il primo Paese colpito dalla pandemia. Uno studio su 324 città cinesi ha accertato che la concentrazione di diossido d'azoto e di polveri sottili è significativamente correlata con i tassi di mortalità per Covid-19 (Wu et al., 2020b). Un altro studio sugli effetti congiunti di 6 inquinanti atmosferici in 120 città cinesi ha identificato una correlazione positiva con i casi accertati di Covid-19 (Zhu et al., 2020). Risultati simili sono stati ottenuti negli Stati Uniti. Ad esempio, un gruppo di ricercatori dell'Università di Harvard, ha accertato che anche negli Stati Uniti esiste una correlazione positiva tra esposizione di lungo periodo agli inquinanti atmosferici (quali il diossido di azoto, le polveri sottili, e l'ozono) e i tassi di mortalità per Covid-19 (Liang et al., 2020). A risultati simili sono pervenuti anche i primi studi europei. In particolare, Ogen (2020) ha ac-

certato che la maggior parte dei decessi per Covid-19 registrati in Europa nella prima fase della pandemia si sono verificati nelle regioni della Spagna centrale e del Nord Italia che presentano la massima concentrazione di diossido di azoto che ristagna anche per la mancanza di flussi atmosferici in grado di disperdere rapidamente l'inquinamento atmosferico. Infine, per quanto riguarda specificamente l'Italia, uno studio comparativo sulle Province Italiane ha accertato una robusta correlazione ($R^2=0.98$) tra le eccedenze di polveri sottili (PM₁₀) rispetto ai limiti legali di concentrazione diurna (50 µg/m³) accertate in ciascuna provincia e il numero di casi Covid-19 registrati nella stessa provincia in un lasso di tempo di 14 giorni (Setti et al., 2020). Ovviamente, la validità di questi risultati e di altri simili è soggetta a complessi problemi metodologici che sono in corso di approfondimento. In particolare, com'è noto, una correlazione tra due variabili non garantisce di per sé che esista un rapporto causale diretto fra le stesse variabili. Tuttavia, nel caso di questi studi, conosciamo da tempo una serie di meccanismi causali che spiegano in modo convincente come l'inquinamento atmosferico sia in grado di produrre un impatto significativo sulle patologie cardiache e polmonari. In particolare, l'inquinamento atmosferico causa infiammazioni e danni permanenti alle cellule e ai tessuti con cui viene a contatto generando sintomi quali tosse, asma, difficoltà respiratorie. Inoltre, l'inquinamento atmosferico indebolisce il sistema immunitario, mettendo a repentaglio la sua capacità di rispondere tempestivamente agli agenti patogeni. Infine, sembra verosimile che le polveri sottili possano favorire il trasporto e la diffusione del coronavirus. Possiamo concludere che l'urgenza di intervenire contro l'inquinamento ambientale è giustificata non solo dall'esigenza di moderare i suoi effetti climatici globali ma anche dal suo impatto sulla salute che è stato confermato dalla stessa epidemia da Covid-19 (vedi ad esempio Wu et al., 2020a; Croft et al., 2019). Inoltre, alcune risposte di politica economica e ambientale alla gravissima crisi economica in corso rischiano di creare un circolo vizioso tra inquinamento ambientale e salute dei cittadini che metterebbe ulteriormente a repentaglio la sostenibilità dello sviluppo. C'è il

rischio, infatti, che i danni catastrofici dell'epidemia sull'economia e sull'occupazione possano indebolire le politiche ambientali, anche quelle contro l'inquinamento, in base a considerazioni di breve periodo. Un esempio particolarmente preoccupante è la decisione dell'Agenzia Ambientale degli Stati Uniti (*EPA: Environmental Protection Agency*) che il 26 marzo 2020 ha annunciato un sistematico rilassamento degli standard e delle regolamentazioni ambientali come reazione alla pandemia da Covid-19, permettendo agli impianti energetici, alle officine e altre industrie manifatturiere di decidere autonomamente se sono in grado di rispettare i requisiti legali di mitigazione dell'inquinamento dell'atmosfera e dell'acqua. Decisioni simili sono state prese da altri organi di governo negli Stati Uniti e in molti altri Paesi. Inoltre, molti Paesi hanno ridotto la tassazione di settori particolarmente inquinanti e hanno rimandato provvedimenti di protezione ambientale già deliberati. Queste decisioni sconcertanti sono state prese con la giustificazione che i vincoli ambientali possano ostacolare l'attività economica contribuendo alla grave recessione in corso. Questa convinzione ignora la possibilità, anzi l'urgenza confermata dalla stessa pandemia in corso, di cambiare il modello di sviluppo orientando gli investimenti e i sussidi pubblici verso impieghi pienamente compatibili con la sostenibilità. Bisogna pertanto favorire il riassorbimento tempestivo della disoccupazione nelle attività produttive che creano reddito senza mettere a repentaglio la sostenibilità dello sviluppo.

13.5 Conclusioni

Quanto esaminato nel presente contributo ci permette di affermare che ci troviamo di fronte a una sfida epocale da cui dipende non solo la nostra sopravvivenza ma anche quella della stessa biosfera. Come abbiamo visto, bisogna ridurre le emissioni di GHG ad una frazione di quelle attuali per riportarle in linea con la capacità di assorbimento della biosfera. Inoltre, dato che l'attuale concentrazione di GHG eccede la

capacità di assorbimento sostenibile degli ecosistemi, la riduzione delle emissioni di GHG deve essere addirittura superiore al valore di equilibrio finché la concentrazione degli stessi gas avrà ritrovato la propria stabilizzazione. Questi risultati sono molto difficili da raggiungere alla luce dei trend in corso esaminati in questo capitolo. Infatti, pur assumendo che il rallentamento in corso persista anche nel futuro, il tasso di crescita della popolazione mondiale continuerà ad espandersi per molti decenni. Inoltre, non si prevede che l'uso dei combustibili fossili e la loro intensità di impiego possano diminuire significativamente nello stesso periodo, per lo meno negli scenari inerziali più plausibili. Per ritrovare il necessario equilibrio non è sufficiente la progressiva riduzione in corso dell'intensità energetica che è ormai da tempo in costante diminuzione. Il suo tasso di decrescita è infatti del tutto insufficiente per fermare il riscaldamento globale con tutte le sue catastrofiche conseguenze. Quindi, se vogliamo ottenere dei risultati significativi in tempi stretti senza mettere a repentaglio sia la continuazione della crescita del reddito pro-capite, tutelando nel contempo le aree più povere del globo, bisogna affidarsi ad una strategia di politica economica ed ambientale molto più incisiva di quella attuale che sia in grado di accelerare considerevolmente la transizione a un modello di sviluppo sostenibile e decarbonizzato.

La conversione dell'economia in una direzione che assicuri la sostenibilità dello sviluppo richiede investimenti ingenti che la finanza privata non è stata in grado di finanziare, perché la loro redditività attesa è considerata troppo rischiosa e proiettata in un futuro troppo remoto (Vercelli, 2017 e 2019). Le stesse banche centrali hanno riconosciuto recentemente l'importanza del problema, suggerendo alcune contromisure. Innanzitutto, hanno convenuto che il principio tradizionale della "neutralità di mercato" a cui dovrebbero conformarsi gli acquisti di titoli privati effettuati al fine di sostenere la liquidità del sistema dovrebbe essere rispettato con maggiore rigore, evitando di privilegiare, come spesso tuttora avviene, l'acquisto di titoli di società che producono e di-

stribuiscono combustibili fossili e altri prodotti inquinanti. Per esempio, negli Stati Uniti ancora di recente, più del 10 % dei titoli acquistati dalla FED sono stati emessi da compagnie petrolifere nonostante che esse impieghino soltanto il 2% della forza lavoro. Inoltre, anche nelle sedi decisionali ufficiali, si comincia a riconoscere che lo stesso criterio della neutralità di mercato sia inadeguato per tener conto dei rischi immani connessi con l'inquinamento ambientale e il riscaldamento globale. Alcune banche centrali, tra cui quella Europea, si sono impegnate a tener conto dei rischi ambientali negli acquisti futuri di titoli privati. Più in generale, si sta facendo strada l'idea che questi rischi dovrebbero essere sistematicamente rispecchiati dai prezzi di tutti i contratti assicurativi e finanziari. Quanto al finanziamento degli investimenti ambientali, la Commissione Europea sta puntando a ricorrere a opportune emissioni di *green bonds*. Il piano più ambizioso è il Green Deal europeo che si propone di stanziare un trilione di euro in 10 anni per rendere l'Unione Europea neutrale rispetto al cambiamento climatico entro il 2050. Tuttavia, le sue modalità di attuazione sono soggette a critiche, negoziazioni estenuanti, annacquamenti degli obbiettivi originali e ritardi di ogni genere. Ad esempio, una delle critiche più diffuse stigmatizza il previsto sostegno all'estrazione di gas naturale e la continuazione dei sussidi all'estrazione di carbone. L'emissione di *green bonds* è stata prevista anche per finanziare il 30% (circa 225 miliardi di euro) del *Recovery Fund* dell'Unione Europea a sostegno dei Paesi e dei settori più duramente colpiti dalla pandemia da Covid-19. Qualora realizzato, questo piano raddoppierebbe il mercato internazionale dei prodotti della finanza sostenibile dato che secondo Bloomberg i titoli "verdi" ammonterebbero attualmente a 274.2 miliardi di dollari. Come abbiamo visto, l'epidemia da Covid-19 in corso ha ulteriormente accentuato l'urgenza di una svolta radicale che assicuri la sostenibilità del modello di sviluppo. Tuttavia, i conflitti e i ritardi rischiano di compromettere la tempestività e l'efficacia dei provvedimenti programmati.

Bibliografia

- Bolt, J., Inklaar, R., de Jong, H., & van Zanden, J. L. (2018). Rebasing 'Maddison': new income comparisons and the shape of long-run economic development. GGDC Research Memorandum, 174. Disponibile online https://irs.princeton.edu/sites/irs/files/Rebasing%20Maddison_May_2017.pdf
- Borghesi, S., Montini, M., and Barreca, A. (2016). *The European Emission Trading System and Its Followers: Comparative Analysis and Linking Perspectives*. Cham, Switzerland: Springer International Publishers.
- Borghesi, S., Vercelli, A. (2008). *Global sustainability: Social and environmental conditions*. UK, London: Palgrave Macmillan.
- Borghesi, S., Vercelli, A. (2009). Greenhouse gas emissions and the energy system: Are current trends sustainable? *International journal of global energy issues*, 32(1-2), 160-174, <https://doi.org/10.1504/IJGEI.2009.027979>
- Butt, E.W., Turnock, S.T., Rigby, R., Reddington, C.L., Yoshioka, M., Johnson, J.S., Regayre, L.A., Pringle, K.J., Mann, G.W., Spracklen, D. V. (2017). Global and regional trends in particulate air pollution and attributable health burden over the past 50 years. *Environmental Research Letters*, 12(10), 104017, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa87be>
<https://doi.org/10.1017/S1355770X97000259>
- Cori, L., Bianchi, F. (2020). Covid-19 and air pollution: communicating the results of geographic correlation studies, *Editorial, Epidemiol Prev* 2020; 44 (2-3):120-123.
- Croft, D. P., Zhang, W., Lin, S., Thurston, S. W., Hopke, P. K., Masiol, M., ... Rich, D. Q. (2019). The association between respiratory infection and air pollution in the setting of air quality policy and economic change. *Annals of the American Thoracic Society*, 16(3), 321-330.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Disponibile online https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- Klimont, Z., Smith, S. J., Cofala, J. (2013). The last decade of global anthropogenic sulfur dioxide: 2000-2011 emissions. *Environmental Research Letters*, 8(1), 014003. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014003>
- Liang D, Shi L, Zhao J et al. (2020) Urban Air Pollution May Enhance COVID-19 Case-Fatality and Mortality Rates in the United States, medRxiv preprint.
- Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to corona Virus COVID-19) fatality. *Sci Total Environ* 2020; 726 (2020) 138605: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138605>
- Panayotou, T. (1997). Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool. *Environment and development economics*, 2(4), 465-484
- Setti L, Passarini F, De Gennaro G, et al. 2020. Potential role of particulate matter in the spreading of COVID-19 in Northern Italy: first observational study based on initial epidemic diffusion. *BMJ Open* 2020;10:e039338. doi: 10.1136/bmjopen-2020-039338
- Smith, S.J., Aardenne, J.V., Klimont, Z., Andres, R.J., Volke, A., Delgado Arias, S. (2011). Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850-2005. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(3), 1101-1116., <https://doi.org/10.5194/acp-11-1101-2011>
- Tang, S., Yan, Q., Shi, W., Wang, X., Sun, X., Yu, P., ... Xiao, Y. (2018). Measuring the impact of air pollution on respiratory infection risk in China. *Environmental Pollution*, 232, 477-486.
- United Nations (2020). *Sustainable Development Goals Report 2020*. UN.
- Van Zanden, J.L., Baten, J., Mira d'Ercole, M., Rijpma, A., Smith, C., & Timmer, M. (2014). *How was life?: Global well-being since 1820*. OECD publishing. Disponibile online <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/305708/3014041e.pdf?sequence=1> (accesso il 20 Novembre 2018)
- Vercelli, A (2017) *Crisis and Sustainability. The Delusion of Free Markets*. Basingstoke and New York: Palgrave Macmillan.
- Vercelli, A (2019) *Finance and Democracy. Towards a Sustainable Financial System*. Basingstoke and New York: Palgrave Macmillan.
- Wu X, Nethery RC, Sabath MB, Braun D, Dominici F. (2020a) Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. medRxiv preprint.

Wu, X., Nethery, R. C., Sabath, M. B., Braun, D., Dominici, F. (2020b). Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. *Science advances*, 6, p.eabd4049.

Zhao, Y., Richardson, B., Takle, E., Chai, L., Schmitt, D., Xin, H. (2019). Airborne transmission may have played a role in the spread of 2015 highly pathogenic avian influenza outbreaks in the United States. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.

Zhu Y, Xie J, Huang F, Cao L. (2020) Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Sci Total Environ*.