
Adattamento, mitigazione, rigenerazione: quali politiche per la sostenibilità ambientale?

Fiorenzo Ferlino

Interventions for environmental sustainability suggest adaptation, mitigation and regeneration actions. The article clarifies the meaning of these terms and analyzes European policies, highlighting the geopolitical impact of the different strategies.

Key words: *Adaptation, Mitigation, Regeneration, Environmental sustainability.*

Le politiche per la sostenibilità ambientale suggeriscono azioni di *adattamento*, di *mitigazione* e di *rigenerazione*. “Adattamento” è un termine che arriva dalla teoria dell’evoluzione e indica la capacità che hanno gli organismi viventi di sopravvivere alle condizioni ambientali mutate. Nel caso della sostenibilità significa conformarsi, prendere le misure necessarie a sopravvivere nell’ambiente mutato. “Mitigare”, secondo l’Enciclopedia Treccani, significa “rendere più mite, cioè meno aspro, meno gravoso o, di sentimenti, meno intenso; lenire, stemperare, addolcire”. Anche in inglese mantiene il significato di ridurre, alleviare, diminuire. Nel caso dei cambiamenti climatici significa ridurre il trauma che sta arrivando, contrastare i cambiamenti in atto. “Rigenerare” è un termine che deriva anch’esso dalla biologia. Significa, sempre secondo la Treccani, “generare di nuovo. [...] ricostituire, riprodurre parti dell’organismo animale o vegetale, attuarne la rigenerazione”.

La Fig.1 mostra l’andamento delle emissioni di CO₂ nelle macroregioni quasi-continentali. Come si nota, l’andamento evidenzia due fasi: la prima, fino al 2000, di crescita esponenziale e la seconda, nel nuovo Millennio, di crescita lineare. Una dinamica in crescita che, come provano le analisi dell’IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), porta oltre i 2 gradi di aumento della temperatura per fine secolo (dall’inizio della rivoluzione industriale) e quindi fuori dai margini di resilienza del sistema Terra. Per restare entro 1,5 gradi di aumento (l’aumento già avutosi è di 1.09 gradi, secondo l’ultimo Rapporto, il sesto), i margini sono decisamente risicati. Nello scenario tendenziale, con crescita lineare della CO₂, se il tasso di crescita della temperatura dovesse continuare ai ritmi attuali, si raggiungerebbe un incremento di 1.5 °C già intorno al 2040 e per fine secolo la temperatura cre-



scerebbe sicuramente oltre i 2°, fino a toccare anche 5°. A partire da queste considerazioni l'Unione Europea si è posta l'obiettivo di raggiungere entro il 2050 l'equilibrio emissivo della CO₂. L'articolo 4 dell'Accordo di Parigi recita infatti che "Per conseguire l'obiettivo a lungo termine relativo alla temperatura [...], le Parti mirano a raggiungere il picco mondiale di emissioni di gas a effetto serra al più presto possibile [...] e a intraprendere rapide riduzioni in seguito, in linea con le migliori conoscenze scientifiche a disposizione, così da raggiungere un equilibrio tra le fonti di emissioni e gli assorbimenti antropogenici di gas a effetto serra nella seconda metà del secolo"².

Nell'Accordo il termine "rigenerazione" non appare, mentre "mitigazione" appare 23 volte e ben 47 "adattamento". L'"equilibrio tra le fonti emissive e gli assorbimenti antropogenici" è una formula intelligente che evita il conflitto tra i sostenitori della sostenibilità mitigativa e i sostenitori della sostenibilità rigenerativa e forse suggerisce un superamento, operativo e ideologico, delle loro posizioni passando dalla disgiunzione esclusiva (out-out, alternativa) alla disgiunzione inclusiva (o l'una, o l'altra, o entrambe). Il conflitto tuttavia permane nelle diverse proposte economiche: la mitigazione fa infatti riferimento al paradigma dell'economia lineare che produce rifiuti

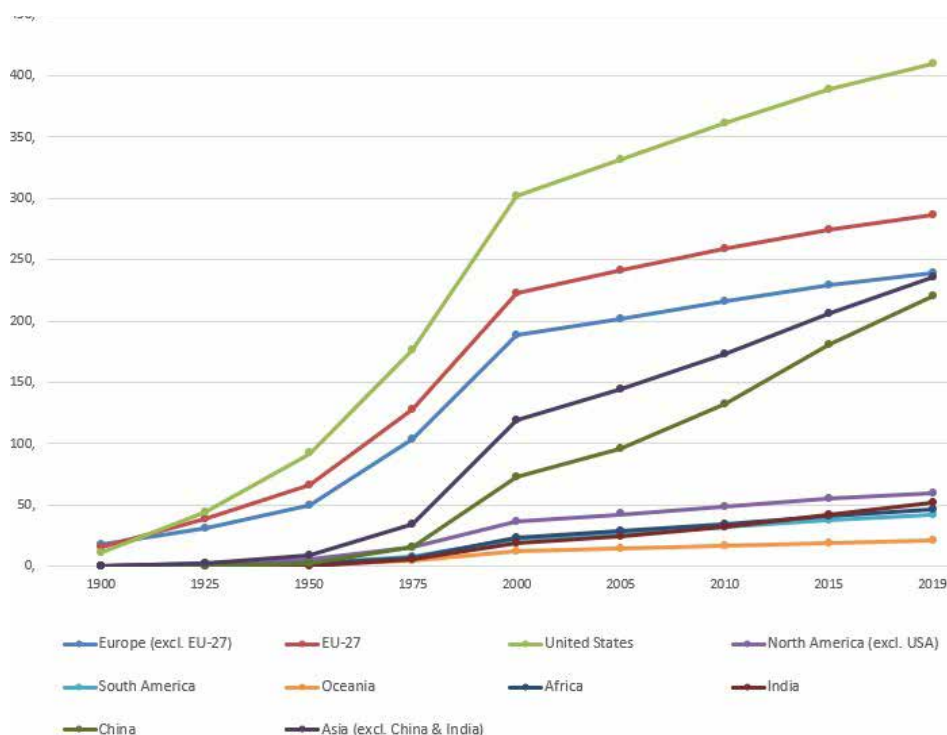


Fig. 1. Emissioni cumulative di CO₂ in miliardi di tonnellate prodotte nelle macroregioni quasi-continentali

e scorie radioattive, pertanto necessita di pozzi di stoccaggio, mentre la sostenibilità rigenerativa fa riferimento all'economia circolare che riusa, ricicla e rigenera i rifiuti e quindi, in linea di principio, non ammette lo stoccaggio degli stessi o lo ammette per temporalità brevi e tali da non lasciare il problema alle generazioni successive (rifiuti zero).

I sostenitori della sostenibilità mitigativa leggono la curva di Figura 1 come una logistica in fase di raggiungimento della sua capacità di carico. Carico difficilmente riducibile senza interventi di Carbon Capture and Storage (stoccaggio sotterraneo o nei fondali marini profondi, CCS). L'inesorabilità del processo di crescita della CO₂ emessa condurrebbe verso una soglia di produzione di CO₂ riducibile solo attraverso tecniche CCS. In tal senso la decarbonizzazione sarebbe

1. [https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX-22016A1019\(01\)&from=SV](https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX-22016A1019(01)&from=SV)

2. Ausubel JH, *Nature Rebounds* (Long Now Foundation Seminar, San Francisco, 13 January 2015). <http://phe.rockefeller.edu/docs/>

già in atto e presto USA, Europa e Nord America raggiungeranno il massimo della curva logistica per poi calare intorno al 2050. Jesse H. Ausubel della Rockefeller University di New York (Fig. 2) si spinge oltre affermando l'avvenuta diminuzione della CO₂ emessa negli USA, con il massimo toccato nel 2007 e con il *delinking* (disaccoppiamento tra il PIL e l'emissione di CO₂) da tempo in atto. *Delinking* peraltro in atto anche in Unione Europea. Viene ipotizzato che qualora la curva continui con lo stesso andamento, tra 75 anni si ritornerà a valori molto prossimi a quelli registrati prima della rivoluzione industriale e questo grazie anche alle tecniche CCS.

Per i sostenitori della sostenibilità rigenerativa la diminuzione della CO₂ registrata nei paesi industrializzati a partire dal 2007 non sarebbe frutto della rivoluzione tecnica quanto della crisi economica sopraggiunta e dei processi di rilocalizzazione industriale nei paesi in crescita (Cina, Russia, Brasile, Sudafrica ecc.). Il risultato globale, come dimostrano i dati, è una crescita costante della CO₂ anche dopo il 2007 (con l'eccezione degli anni di pandemia). Per quanto riguarda le tecniche di CCS esse, si badi bene, sono ancora al di là da venire e al momento sono tecniche sperimentali non prive di rischi per l'ambiente³.

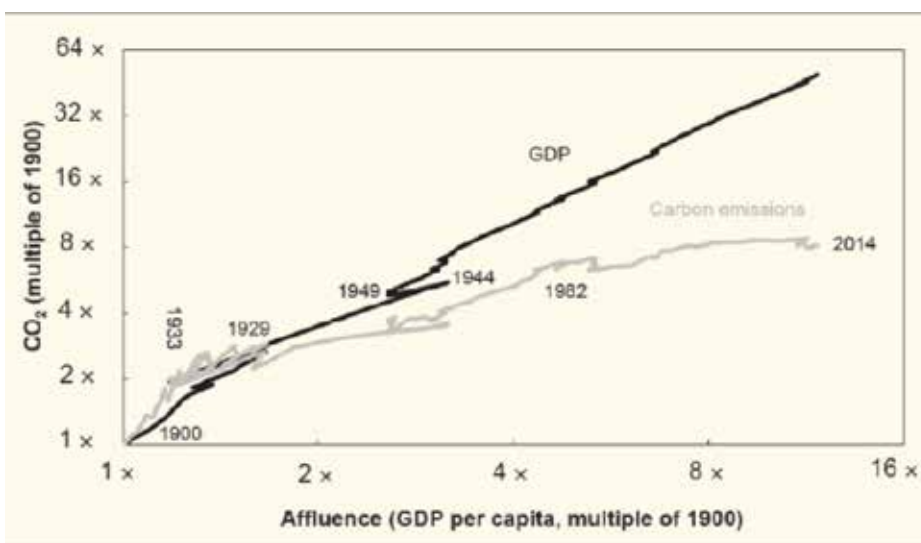


Fig. 2. Il *delinking* tra la crescita del PIL e le emissioni di carbonio secondo la Rockefeller University di New York

L'Industria 5.0, secondo la Commissione Europea, porrà "specificamente la ricerca e l'innovazione al servizio della transizione verso un'industria europea sostenibile: incentrata sull'uomo, resiliente e priva di emissioni di CO₂". Il conflitto tra sostenibilità mitigativa versus sostenibilità rigenerativa interessa chiaramente anche la futura industria e la produzione delle energie secondarie, quelle cioè che necessitano di un'energia primaria per essere prodotte. L'elettricità è un'energia secondaria che può essere stoccata in batterie che sono riciclabili al 96%. Questo la rende molto amata dai sostenitori della sostenibilità rigenerativa che mirano a chiudere i cicli e a produrre zero emissioni e zero scarti.

La tabella 1 (alla pagina seguente) riporta le emissioni delle diverse tecnologie in grammi di CO₂-equivalente emessa per ogni kWh di elettricità prodotta.

Come si può notare (valori in grassetto) si hanno bassissime produzioni di CO₂ per il solare e le energie rinnovabili (idroelettrico compreso) e per il nucleare. Non sappiamo come l'Industria 5.0 sia centrata sul sociale e sui bisogni dell'umanità (termini troppo vaghi e retorici), ma sicuramente dovrà risolvere il problema del surriscaldamento del clima. L'alternativa tra nucleare e solare (più

le altre Fonti di Energia Rinnovabili, FER) definirà gli scenari della nuova Industria 5.0. Non sappiamo come l'Industria 5.0 sia centrata sul sociale e sui bisogni dell'umanità (termini troppo vaghi e retorici), ma sicuramente dovrà risolvere il problema del surri

3. Sui rischi di questa tecnologia sono in atto studi. Quello maggiore è l'incremento dell'acidificazione del mare qualora si stoccasse la CO₂ nei fondali marini, mentre per lo stoccaggio sotto terra oltre agli alti costi sono da valutare

scaldamento del clima. L'alternativa tra nucleare e solare (più le altre Fonti di Energia Rinnovabili, FER) definirà gli scenari della nuova Industria 5.0. In questo contesto l'idrogeno gioca un ruolo piuttosto importante in quanto vettore energetico secondario utilizzabile nei trasporti, nel riscaldamento e in altri impieghi dove oggi si usano derivati dal petrolio, produttori quindi di CO₂ e altri gas climalteranti o nocivi per l'organismo (Biossido di azoto NO₂ e particolato PM). Come si sa l'idrogeno ha il pregio di bruciare producendo come residuo della reazione semplicemen-

te acqua. È tuttavia un vettore (secondario) che necessita di una fonte primaria ad alta intensità energetica. La risposta a questo problema, secondo i sostenitori della sostenibilità mitigativa, conduce inesorabilmente al nucleare, unica energia oltre il solare a non produrre CO₂. La questione resta tuttavia controversa: il solare e le altre FER continuano, oramai da tempo, la loro crescita e negli USA hanno superato l'energia prodotta dal nucleare, che invece subisce una stasi, dopo numerose dimostrazioni di scarsa affidabilità⁴. Ma il cosiddetto "nucleare sicuro" è considerato da autorevoli fonti tra le tecnologie energetiche con-

i rischi di dispersione nell'ambiente, a breve (dispersione dei cicli di produzione) e a lungo termine (dispersione geofisica), e acidificazione delle falde acquifere.

Currently Commercially Available Technologies	(min/med/max)
Coal	740/820/910
Gas	410/490/650
Biomass—cofiring n.a	620/740/89
Biomass—dedicated	130/230/420
Geothermal	6.0/38/79
Hydropower	1.0/24/2200
Nuclear	3.7/12/110
Concentrated Solar Power	8.8/27/63
Solar PV	26/41/60
Solar PV—utility	18/48/180
Wind onshore	7.0/11/56
Wind offshore	8.0/12/35
Pre-commercial Technologies	
CCS—Coal—Oxyfuel	100/160/200
CCS—Coal—PC	190/220/250
CCS—Coal—IGCC	170/200/230
CCS—Gas—Combined Cycle	94/170/340
Ocean	5.6/17/28

**Tabella 1. Emissioni per la produzione di elettricità
Emissioni del ciclo di vita (incl. effetto albedo)**

Fonte: Elaborazione IPCC (2014, Table A.III.2)

correnti in grado di rispondere ai problemi posti dal riscaldamento climatico.

Per la produzione dell'idrogeno le scelte attualmente possibili sono tre.

La prima è quella incrementale dell'idrogeno grigio. Il metano e il petrolio possono essere oggetto di idrogenazione attraverso un processo ad alta intensità energetica che produce 9 kg di CO₂ ogni kg di idrogeno prodotto. L'eco-efficienza è pertanto bassissima ma l'industria petrolifera spinge chiaramente per questa soluzione per continuare a valorizzare il suo "core" produttivo. La soluzione di mitigazione per le 9 parti di CO₂ prodotte e

4. Considerando i soli incidenti di categoria 5, 6 e 7, cioè con rischio esterno alla centrale, grave e molto grave, si ricordano l'incidente di Three Mile Island, negli USA (1979), l'incidente di Windscale, in Gran

Bretagna (1957), e l'incidente di Goiânia, in Brasile (1987); per il livello 6 (incidente grave) l'incidente di Kys'tym, in URSS (1957); per il livello 7 (incidente molto grave) l'incidente di Černobyl', in URSS

(1986) e l'incidente di Fukushima, in Giappone (2011).

per il contrasto al cambiamento climatico è quella di stipare l'anidride carbonica sotto terra e di stoccarla nei giacimenti esausti di petrolio e gas, oppure di depositarla sul fondo marino, attraverso tecniche di CCS.

La seconda soluzione si basa sull'utilizzo della fusione nucleare e del nucleare sicuro. L'idrogeno è infatti il principale costituente delle stelle e del sole e un ipotetico reattore nucleare a fusione alimentato con deuterio o trizio e con piccole parti di idrogeno genererebbe una enorme quantità di energia utilizzabile: un modello di sole a scala micro. Esiste un progetto internazionale, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), che sta tentando di produrre energia stabile in questo modo ma l'innovazione appare al momento lontana dall'essere prodotta. Esistono d'altra parte progetti per rendere più sicuro il nucleare da fissione attraverso centrali TWR (Traveling Wave Reactor) che userebbero (usiamo il condizionale dato che tali centrali non sono state ancora prodotte) un'unica carica di uranio impoverito, per l'intera durata della centrale, di 40-60 anni. L'elettricità diverrebbe in questo modo una fonte primaria non fossile attraverso cui generare idrogeno e gli scarti radioattivi resterebbero "bloccati" entro la centrale "morta".

La terza scelta è più semplice. È una scelta ad altissima eco-efficienza ma a bassissimo rendimento energetico. Si tratta della produzione di idrogeno attraverso un processo elettrolitico che scinde due molecole d'acqua in due di idrogeno e una di ossigeno. Per attuarlo c'è bisogno di moltissima energia elettrica che però può essere fornita dal sole attraverso centrali fotovoltaiche o centrali di Archimede o da altre fonti rinnovabili (idroelettrico, vento, biomassa): sole + acqua = idrogeno e via i combustibili fossili (che infatti non appaiono nella formula): $2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$. Questa scelta è chiaramente sostenuta dai propugnatori della sostenibilità rigenerativa. La critica a questa modalità produttiva è relativa al costo, dai 4 ai 6 euro per un kg di idrogeno verde contro 1,5 euro di quello grigio. Tuttavia per il futuro è previsto un abbattimento dei costi, dati dal continuo calo dei costi energetici da fotovoltaico e

	2009	2019
Coal	111	109
Solar PV	359	40
Wind	135	41
Gas	83	56
Nuclear	123	155

Tabella 2 - Costo energetico livellato (LCOE)10 dell'elettricità prodotta in grandi impianti (> 1MWh)
Fonte Roser (2020)

da FER decisamente concorrenziali: oggi il costo dell'elettricità prodotto da mega impianti di fotovoltaico è il più basso (in grassetto), come si vede in tabella 2.

Per anni il costo è stato la motivazione principale dei sostenitori della sostenibilità mitigativa. Oggi, non potendo andare contro l'evidenza del mercato, hanno evidenziato un altro punto debole delle energie rinnovabili: lo spazio. Il Program for the Human Environment della The Rockefeller University ha prodotto per diversi anni pubblicazioni in cui si evidenzia come le tecnologie rinnovabili, in particolare quelle eoliche e fotovoltaiche, di fatto sono contro la natura perché la loro estensione, se dovessero prevalere, coprirebbe qualsiasi ambiente naturale: "Per sostituire i chilowattora prodotti dalla centrale nucleare di Diablo Canyon [in California] da 2200 MW, che occupa 1,5 miglia quadrate, ci vorrebbe un quadrato di 250 miglia quadrate di parco eolico". Lo stesso dicasi per le turbine alimentate a gas naturale di 14 GW localizzate al largo delle coste israeliane attraverso un impianto onshore compatto fatto da poche piattaforme, che "richiederebbe 900 miglia quadrate (2.400 km quadrati) di energia solare"⁵⁵ (Ausubel, 2017, p. 7). Cioè un quadrato di 50 km di lato su valori di produttività del 2004. Un'enormità, sebbene meglio dell'idroelettrico e delle biomasse. Ma anche in questo caso la tecnologia ha fatto passi da gigante e oggi per produrre 1kW di energia elettrica bastano 8 m² di pannelli fotovoltaici: la stessa centrale di 14 GW occuperebbe uno spazio di 110,25 km², cioè un quadrato di 10,5 km di lato. Non è poco ma

nel deserto israeliano del Neghev di circa 12.000 km² (un quadrato di 110 km di lato) si potrebbe impiantare comodamente.

Siamo giunti alla questione fondamentale. È indubbio che le energie rinnovabili siano delle grandi consumatrici di spazio e, sebbene la loro produttività sia in costante crescita, esse continueranno a occupare spazio. Questo comporta forti cambiamenti nella geopolitica dell'energia. Gli spazi dove localizzare megacentrali per la produzione industriale di idrogeno verde, necessario a sostituire i combustibili fossili, soprattutto per i trasporti merci (navi, cargo e TIR muovono il 98% delle merci mondiali), dovranno essere localizzati nelle grandi aree desertiche, dove più forte batte il sole (subtropicali) e il vento (deserti freddi). Aree che dovranno essere connesse via mare o con una rete diffusa di idrogenodotti. Aree che interesseranno probabilmente i paesi sahariani (Algeria, Ciad, Egitto, Libia, Mali, Niger, Mauritania, Marocco, Sudan e Tunisia), quelli del deserto Rub' al-Khali (Arabia Saudita, Giordania, Iraq, Kuwait, Qatar, Emirati Arabi Uniti, Oman e Yemen), del Gobi (Mongolia e Cina), la Patagonia, il deserto Siriano, il deserto Vittoria australiano, eccetera. Dunque aree marginali che dovranno integrarsi alle aree centrali dello sviluppo. Uno scenario geoeconomico quindi nuovo, contrastato sia dai sostenitori della sostenibilità mitigativa delle tecniche di CCS e del nucleare sia dai difensori del paesaggio incontaminato e della natura inviolata dalle azioni umane. ●

5. Ausubel JH, *Density: Key to Fake and True News About Energy and Environment* (Presented at a meeting of the American Association of Petroleum Geologists, *Next 100 Years of Global Energy Use:*

Resources, Impacts and Economics, Houston Convention Center, 4 April 2017). <http://phe.rockefeller.edu/docs/Density.pdf>

Nuovi orientamenti di economia e diritto in tema di tutela ambientale
a cura di Sergio Sparacia e Filippo Alessandro Cimino
 Wolters Kluwer 12/2019



Il libro approfondisce l'esigenza di conciliare crescita economica e tutela ambientale per salvaguardare il "nostro futuro comune", esigenza alla base dello *sviluppo sostenibile* nella società globalizzata. Emerge la necessità di definire cogenti obiettivi politici che, coniugando profili ecologici, sociali ed economici, indirizzino la transizione verso una società decarbonizzata fondata sull'economia circolare.

La prima parte, dedicata a "Risorse, economia circolare e ambiente", affronta tematiche originali relative ai rapporti tra sostenibilità ambientale ed economia circolare, all'etica motivazionale e ai sistemi di gestione ambientale.

Nella seconda parte, che si occupa di "Responsabilità e ambiente", vengono esaminati profili attinenti alla responsabilità penale, al principio di precauzione, e all'influenza della criminalità organizzata sul settore ambientale.

L'ultima parte è dedicata a "Fiscalità, sviluppo sostenibile e ambiente". Il filo conduttore è la considerazione della norma tributaria come strumento indirizzato a contrastare le attività inquinanti e ad agevolare i comportamenti coerenti con la tutela ambientale. Gli autori si soffermano: sulla categoria dei cosiddetti tributi ambientali, sul ruolo ambientale delle accise, sull'imposta di soggiorno, sugli strumenti della fiscalità ambientale a livello locale e sulla tassazione dei rifiuti nella prospettiva comunitaria. Nell'ambito dello sviluppo sostenibile e dei potenziali ostacoli ai flussi mercantili internazionali vengono analizzate le misure e le barriere non tariffarie.