

Sustainable and Responsible Management

The Journal of Sustainable Business



Volume No. 2, Issue No. 2 - 2021

Abruzzese Salute ETS

sustainable-and-responsible-management.org

Journal Information

Editor-in-Chief

Michele Samuele Borgia

Managing and Responsible Editor

Maurizio Cirillo

Copy Editors

Stefano Cesinaro

Katia Di Tommaso

ISSN

2724-4466

Online since 18th November, 2020

With authorization from the Court of Pescara no. 1 year 2020

Copyright Holder

Abruzzese Salute ETS

Via Umberto I n. 78/80

65010 Cappelle sul Tavo (PE)

Italy

Sostenibilità rigenerativa e mitigativa: scenari territoriali e conflitti energetici dell'Industria 5.0

Fiorenzo Ferlaino

Istituto di Ricerche Economiche e Sociali del Piemonte

E-mail: ferlaino.fiorenzo@gmail.com

Abstract

Il contributo affronta il tema dell'innovazione tecnologica, ripercorrendo la strada intrapresa dalla teoria della innovazione e verificandone la consistenza alla luce dei problemi posti dal riscaldamento globale. I risultati della riflessione evidenziano: la capacità euristica e non deterministica della teoria dei cicli economici di spiegare le dinamiche economiche e territoriali; la irrisolutezza di alcuni importanti strumenti usati dalla teoria dell'innovazione, come "ciclo", "tecnologia radicale", "tecnologia incrementale"; la necessaria complessità delle risposte date per affrontare il tema della sostenibilità, che indebolisce la dicotomia tra sostenibilità adattativa e sostenibilità rigenerativa; le altrettanto necessarie scelte geopolitiche e geoeconomiche che accompagnano le scelte tecnologiche. Il quadro strumentale che emerge è dunque un quadro euristico e critico, tuttavia, utile per l'analisi e la comprensione/conoscenza degli eventi economici e ambientali in atto.

Parole chiave – Sostenibilità rigenerativa; Sostenibilità adattativa; Cicli di Kondratiev; Territorio; Energia; Industria 5.0.

Tipo di articolo – Articolo accademico

Article history:

Received 12 August 2021

Received in revised form 6 September 2021

Accepted 18 October 2021

Available online

1 Introduzione

Le politiche per la sostenibilità ambientale suggeriscono azioni di adattamento e di mitigazione. “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, surriscaldato. Nell’Accordo di Parigi del 2015, teso a rafforzare la risposta mondiale alla minaccia posta dai cambiamenti climatici, il termine compare 47 volte.

“Mitigare” compare 23 volte nell’Accordo di Parigi. 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 (parola che compare una volta sola nell’Accordo di Parigi) 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”. Nell’Accordo di Parigi questo termine non compare. Tuttavia il conflitto tra chi si adopera per una sostenibilità rigenerativa e chi muove verso pratiche mitigative esiste e costituisce un modo di concepire differentemente l’economia e in particolare la teoria dell’innovazione. Come innovare e quali tecnologie adottare diventa la domanda centrale della riflessione economico-sociale, per il fatto che lo scenario tendenziale, quello cioè che non innova o innova in continuità con il paradigma tecnologico attuale, è destinato a produrre gravi conseguenze nell’ambiente fisico, economico, umano, sotto la pressione di un clima surriscaldato, che oltre i 2 gradi di aumento medio muta la stabilità strutturale del sistema Terra proiettandola in scenari catastrofici per la vita umana.

L’articolo affronta il tema dell’innovazione tecnologica in ambito energetico partendo dalla teoria dell’innovazione e verificandone la consistenza. I risultati della riflessione evidenziano: la capacità euristica della teoria di spiegare processi e dinamiche territoriali; la irrisolutezza degli strumenti propri della teoria dell’innovazione, quali “ciclo”, “tecnologia radicale”, “tecnologia incrementale”; la complessità necessaria per fornire risposte al tema della sostenibilità, che indebolisce la dicotomia tra sostenibilità adattativa e sostenibilità rigenerativa; le necessarie opzioni geopolitiche e geoeconomiche insite nelle scelte tecnologiche.

Il quadro strumentale che emerge non è previsionale ma euristico e critico, nondimeno utile all'analisi e alla comprensione/conoscenza degli eventi economici e ambientali in atto.

2 La teoria dell'innovazione e i cicli economici

Con la rivoluzione industriale la modalità evolutiva dello sviluppo, almeno alla macro scala e per le aree centrali dello sviluppo, è stata definita da fluttuazioni. Quello che chiamiamo genericamente “sviluppo economico” è in realtà un movimento ciclico che alterna a periodi di crescita altrettanti periodi di decrescita, sebbene entro un quadro generale di aumento della ricchezza e delle risorse utilizzate. All'interno di ogni ciclo possono evidenziarsi diverse morfologie territoriali che appaiono tuttavia regolate da pochi principi organizzatori dello spazio:

i) una tendenza a massimizzare le economie di agglomerazione e le “economie di scopo” (Goldstein & Grondberg, 1984), ovvero di estendere il proprio raggio d'azione su settori nodali con la propensione a collocare in spazi adiacenti – principio morfologico areale o della continuità spaziale – le attività aventi relazioni funzionali di natura cooperativa;

ii) una tendenza a massimizzare le “economie di rete”, cioè quei vantaggi che nascono da reti funzionali e di relazioni fra attori economici. Sono vantaggi ottenuti solo da chi fa parte della rete, sia essa una rete fisica (rete di telecomunicazione o rete dedicata, ad esempio) o una rete di relazioni economiche e sociali (Camagni e Capello, 1997).

Sono due movimenti che estendono lo spazio economico capitalistico a spazi e territori non ancora inglobati nelle dinamiche di sviluppo e che operano attraverso processi di deterritorializzazione e spoliamento delle specificità regionali e locali o di riterritorializzazione (Raffestin, 1984). Dinamiche che partono dalle reti lunghe e dai grandi processi di polarizzazione fino a toccare ogni livello di scala anche micro dove si riterritorializzano attraverso reticoli di prossimità e dinamiche di autocontenimento dei flussi. Tutto ciò rimanda a processi di riorganizzazione selettiva e di strutturazione e riconfigurazione dei sistemi locali e di quelli macroregionali.

3 Dall'Industria 1.0 all'Industria 4.0

Nel corso della storia dell'industrializzazione moderna si possono distinguere quattro “rivoluzioni” industriali: i) la prima rivoluzione industriale legata al settore tessile e del cotone che grosso modo va dal 1787 al 1842; ii) la seconda rivoluzione, *liberal-borghese*, dovuta alla diffusione della ferrovia (vapore) e della siderurgia e che Schumpeter (1977) colloca tra il 1843 e il 1897; iii) la successiva, *neomercantilistica*, connessa all'elettrificazione e alla meccanica, che va dal 1898 agli anni '40; iv) inoltre, la *intervenzionistica*, che concerne l'ultimo ciclo connesso allo sviluppo della metalmeccanica (auto) e della petrolchimica e che interessa l'intero dopoguerra fino alla crisi del 2008; v) infine, occorre considerare un nuovo ciclo che sviluppa alcuni cluster cambiando completamente il paradigma di crescita che ha caratterizzato i cicli precedenti.

Tabella 1 - Le onde lunghe dello sviluppo

Onde lunghe	Espansione	Recessione	Innovazioni
Industriale	1787-1813	1814-1842	tessile, carbone, vapore, ferro
Liberal-borghese	1843-1869	1870-1897	siderurgia, ferrovia, navigazione a vapore, carbone fossile
Neomercantilistica	1898-1914/20	1920-1935/40	elettricità, chimica, meccanica, petrolio
Intervenzionistica	1940/45-1973	1973- 2008 (?)	elettromeccanica, elettrochimica, elettronica, telecomunicazioni, trasporti veloci, gas naturale
Nuovo ciclo della sostenibilità	2009- (?)	(?)	idrogeno? nucleare? solare e altre FER?

Fonte: elaborazione su Schumpeter (1977)

Le date in tabella sono, per i primi tre cicli, quelle indicate da Schumpeter. Esse non sono condivise da tutti gli autori che hanno studiato i cicli di lunga durata. Esistono cioè delle differenze, degli scarti che, tuttavia, non falsificano la teoria ma, anzi, riconfermano il dato delle onde lunghe, essendo in generale convergenti intorno ad annualità critiche prossime tra loro.

Una definizione precisa è oltremodo impossibile perché, come ha dimostrato sempre Schumpeter, le onde lunghe si intersecano con ciclicità di medio periodo, relative agli investimenti, nonché con quelle

di corto periodo, relative alle scorte. Un'altra componente è data dai ritardi di sviluppo e declino delle diverse economie regionali che non si comportano tutte nello stesso modo. Ciò comporta che alcuni indicatori economici subiscano variazioni significative sia nello spazio sia nel tempo, difficili da attribuire a una o altra causa e quindi a una ciclicità o a un'altra o a meccanismi di ritardo (delay) geoeconomico.

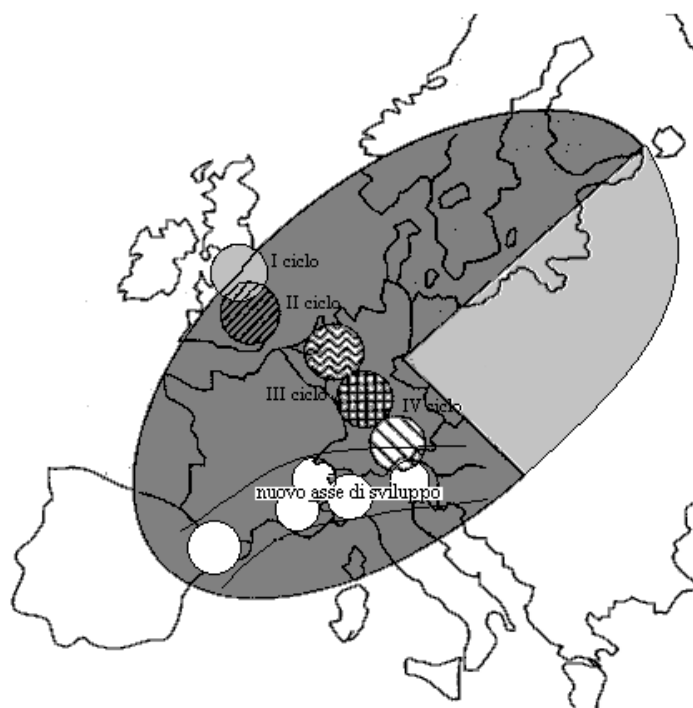
Tabella 2 - Cronologie secondo diversi autori

	1° Kondratiev	2° Kondratiev	3° Kondratiev	4° Kondratiev
	crescita-declino	crescita-declino	crescita-declino	crescita-declino
Kondratiev (1926)	ca. 1790-1810/17	1844/51-1870/75	1890/96-1914/20	—
De Wolff (1929)	-1825	1849/50-1873/74	1896-1913	—
Von Ciriacy-Wantrup (1936)	1792-1815	1842-1873	1895-1913	—
Schumpeter (1939)	1787-1813/14	1842/43-1869/70	1897/98-1924/25	—
Clark (1944)	— —	1850-1875	1900-1929	—
Dupriez (1947; 1978)	1789/92-1808/14	1846/51-1872/73	1895/96-1920	1939/46
Mandel (1973)	-1826	1847-1873	1893-1913	1939/48-1966
Bouvier (1974)	— —	1840-1865	1897-1913	—
Amin (1975)	1815-1840	1850-1870	1890-1914	1948-1967
Rostow (1978)	1790-1815	1848-1873	1896-1920	1935-1851
Payne (1979)	1760-1830	1830-1870	1870-1914	1915-1945
Kuczynski (1981)	— —	1850-1866	1896-1913	1951-1969
Stewart (1982)	1775-1830	1831-1883	1884-1938	1939-1995
Van Duijn (1983)	— —	1845-1872	1892-1929	1948-1973

Fonte: Kleinknecht & Bieshaar (1984); Payne (1979)

Come si vede in Tabella 2, i periodi di crescita e quelli di declino sono convergenti: grossomodo si ha una fase di crescita dall'ultima decade del Settecento fino agli anni Venti dell'Ottocento, un'ulteriore crescita da metà Ottocento (dai Moti del 1848) fino agli anni Settanta del secolo, quindi una crescita ben conosciuta e definita dal periodo della “belle époque” – cioè dalle ultime due decadi del XIX secolo allo scoppio della prima guerra mondiale (sono gli anni dell'Art Nouveau e del Liberty) – e infine l'ultima crescita si è avuta dagli anni Trenta/Quaranta alla fine degli anni Sessanta o inizio anni Settanta del secolo scorso.

Figura 1 - I “fuochi” dello sviluppo europeo



Fonte: Ferlaino (2002)

Queste oscillazioni di lungo periodo non sono indifferenti al territorio bensì lo strutturano definendone lo sviluppo o il declino e agendo sugli stessi comportamenti sociali ed economici.

A livello macro-territoriale occorre osservare che le dinamiche di *take-off* descritte da Rostow (1962), relative ai nuovi cicli tecnologici, non cominciano in modo diffuso ma partono, in Europa, e anche in America, da *fuochi* o centri di sviluppo, da aree in cui sono maggiormente sviluppati i processi innovativi e tecnologici. Il “triangolo delle capitali” di Parigi, Londra, Bruxelles (Meijer, 1993) o il “golden triangle” di Cheshire e Hay (1989) o, ancor prima, il modello di sviluppo a X (membra-corpo) di Karl Ritter (Dematteis, 1997) sono esempi di stratificazioni di questi centri di sviluppo dinamici sorti nel tempo storico e consolidatisi nel corso delle rivoluzioni industriali.

L’asse lotaringico, meglio conosciuto come la “banana blu”, individuato da GIP-Reclus e DATAR (1989), così come la “megalopoli europea” di Gottmann (1976) o il “core dello sviluppo europeo” (Comunità Economica Europea [CEE], 1997) appaiono pure descrizioni fenomeniche, se non le si

connette allo sviluppo storico dei “fuochi tecnologici” che hanno caratterizzato le quattro onde lunghe dello sviluppo industriale europeo (si veda Figura 1). Li chiamiamo “fuochi” in quanto questi centri di innovazione, questi *milieux innovateurs* (Aydalot, 1986; Camagni, 1991), hanno alimentato uno spazio molto più vasto irraggiando e irradiando lo spazio regionale e locale attraverso reticoli attivi di una periferia che vive di passato ma anche di innovazione e di modalità nuove di utilizzo delle proprie risorse locali. Sono motori geoeconomici dello sviluppo da cui si è diffusa la crescita grazie al loro apporto innovativo che ha investito cluster produttivi che hanno orientato per lungo tempo la domanda aggregata.

La letteratura economica ha detto molto su questi centri anche se non sempre in maniera sistematica. I primi due *fuochi*, lungo quest’asse Nord-Sud, si sono dispiegati in Inghilterra interessando nel primo ciclo Kondratiev, tra il 1787 e il 1842, la zona nord-ovest del Paese e nel secondo, tra il 1843 e il 1897, la parte sud-est (Marshall, 1987). Erano aree relativamente connesse allo sviluppo del settore tessile e alla trasformazione del cotone e quindi, in seguito, alla ferrovia e alla siderurgia.

Il *take-off* del Belgio e dell’alta Francia è avvenuto nella fase di declino del primo ciclo mentre la parte Nord della Germania ha dato luogo al suo *take-off* nel secondo ciclo, ma solo nel terzo ciclo – dal 1899 fino agli anni ’30, quello connesso alla meccanica, elettrificazione e alla chimica – quest’area, e più precisamente il bacino della Ruhr, l’attuale Nordrhein-Westfalen, è divenuta il baricentro dello sviluppo europeo del terzo ciclo.

Infine, l’ultimo “fuoco tecno-geografico”, incentrato sulla metalmeccanica, ha interessato l’area di Stuttgart e più recentemente l’evenienza nuova dell’elettronica e delle telecomunicazioni sembra aver spostato il baricentro sulla Baviera e sul bacino di Monaco col quarto ciclo mantenendo le connessioni con i motori di sviluppo del ciclo precedente. L’Industria 4.0 esprime proprio questa pervasività dell’elettronica a modificare e innovare i settori più tradizionali e nel contempo a implementare le connessioni e le reti di comunicazione dalle persone alle “cose”.

4 Locale e globale, centro e periferia

Dopo i lavori di Kondratiev (1926, 1928) e Schumpeter (1977), diverse sono le ricerche che confermano l’esistenza delle onde lunghe e resta ancora molto alto (dopo oltre 70 di studi) l’interesse teorico e applicativo. In particolare, le analisi hanno generalizzato e dimostrato come la struttura temporale dei macro cicli economici dipenda dalla crescita della curva logistica delle innovazioni e, più

in generale, dallo sviluppo di interi settori produttivi (cluster) che si innovano a seguito dell'introduzione di nuove tecnologie.

Stewart (1982), misurando le deviazioni dal "best fit" logistico dei consumi di energia primaria e di elettricità negli Stati Uniti, ha costruito un ciclo che presenta una periodicità di 54 anni e che conferma le analisi di Kondratiev-Schumpeter. Egli ha messo in evidenza come le innovazioni si collochino nella fase di depressione e anticipino l'inizio della ripresa. Diverso appare il discorso per quanto concerne le invenzioni e i brevetti che invece appaiono decisamente sfasati rispetto alla ripresa e richiedono quindi tempi più lunghi per passare alla fase applicativa.

Le critiche non mancano. Ricordiamo Kleinknecht (1987) che, richiamando la differenza tra innovazioni di prodotto e di processo, afferma che mentre le prime interessano l'inizio della fase di ripresa, concentrandosi quindi nella prima parte del ciclo, le seconde seguono l'andamento del ciclo e pertanto mantengono il profilo delle onde di lungo periodo. Freeman (1982) a sua volta afferma che non esistono particolari concentrazioni tecnologiche in una fase del ciclo, ma piuttosto concentrazioni delle invenzioni.

Mensch (1979) invece trova lo stesso risultato di Stewart e afferma che le innovazioni radicali, differentemente da quelle incrementali di miglioramento, sono raggruppate nei periodi di depressione dove appunto avvengono le prime commercializzazioni dei nuovi prodotti e la sostituzione con le vecchie tecnologie. Nei periodi di depressioni, oltre a introdurre nuove tecnologie e tecniche produttive, si sostituiscono anche le risorse umane con tutto ciò che comporta in termini di flessibilità, di capacità di interpretare e gestire le innovazioni, di stabilire nuove relazioni interne eccetera.

È in questa fase che emerge la forza del locale. Le innovazioni nascono dalle differenze locali, dalla percezione diversa delle risorse naturali, dalla capacità di individuare nuove metodologie, nuove produzioni e prodotti, dal recupero di matrici culturali oscurate dalle visioni egemoniche del ciclo precedente. La crisi non è quindi indifferenziata nello spazio. Essa favorisce le periferie, che appaiono spazi misti, anfibologici tra le vecchie centralità e le aree marginali, cioè quelle aree/regioni che non esprimono isologia tra le risorse locali e le capacità tecnico-scientifiche di utilizzo delle stesse e, pertanto, vengono emarginate dai processi di valorizzazione capitalistica.

Le periferie nei periodi di crisi appaiono invece avvantaggiate in quanto in grado di comunicare con i processi di valorizzazione in atto, ma nello stesso tempo sono depositi di potenziale innovazione e differenza in quanto solo in parte hanno contribuito a costruire il paradigma tecnologico dominante (Boschma & Martin, 2010). In altri termini, le regioni più prossime alle aree centrali, quelle periferiche che non hanno le diseconomie di agglomerazione proprie dello sviluppo maturo e non sono "vittime"

della *path dependency* del ciclo in crisi, hanno maggiori possibilità di performare, disegnare, contribuire a definire i nuovi cicli tecnologici. In Europa questo movimento appare molto chiaro e i fuochi, i centri delle innovazioni, si mostrano nel tempo, come un'onda che dall'Inghilterra tende a muoversi verso la periferia strutturando nuove centralità. La crescita storica europea, la famosa “banana blu”, l'area del radicamento dello sviluppo europeo individuata da Roger Brunet (DATAR & GIP-Reclus, 1989), appare così definita dall'onda che tali centri hanno creato nel loro percorso. Intorno a questi centri si esplicita e prende corpo l'*ellisse centrale* (Cunha, 1988) dello sviluppo europeo, ovvero l'area territoriale interessata dall'onda d'urto e di prossimità regionale della crescita la cui centralità è stata espressa in vario modo e con vari modelli (X, Corridoi, Nuclei ecc.).

L'area dello sviluppo produttivo europeo tende così a costituire un'ellisse il cui asse maggiore va da Barcellona a Helsinki e l'asse minore da Liverpool a Budapest. Un'ellisse spezzata sul versante Est da quarant'anni di imposizione di un modello di sviluppo superato, in quanto ancora connesso al terzo ciclo e che non è stato quindi in grado di afferrare il nuovo trend di crescita del quarto ciclo, nel dopoguerra¹: si è quindi semplicemente “arreso” all'evidenza dei fatti e al fallimento di un'esperienza economica (quella dei paesi socialisti), che si è tradotta anche, e non sempre a ragione, nel tracollo sociale e culturale di quei paesi, alcuni dei quali (quelli interni all'ellisse in particolare) in rapido ancoraggio.

Nell'insieme appare evidente, sia nella formazione dell'ellisse centrale dello sviluppo europeo che nella definizione delle centralità che la strutturano, il ruolo esplicativo dei cicli tecnologici, il loro impatto e la dinamica territoriale ad essi connessa.

Le diversità tra aree centrali e periferiche si esprimono pertanto entro onde di lungo periodo e danno luogo a fenomeni di attrazione differenziata, di urbanizzazione e disurbanizzazione, che si esplicitano in differenziali di crescita: a fasi di forte crescita delle aree centrali seguono fasi di rallentamento e controurbanizzazione che interessano aree periferiche e sistemi locali a minore crescita o addirittura esclusi dalla valorizzazione delle forze produttive precedentemente dominanti. È questo meccanismo alla base degli studi descrittivi ed empirici sulla controurbanizzazione (Berry, 1976), sul “ciclo di vita urbano” (Van Den Berg et al., 1987) o più di recente sulle aree periferiche e marginali montane (Ferlandino, 2021) o metromontane (Dematteis, 2018; De Rossi & Barbera, 2021). Più in generale, quindi, i processi di polarizzazione e depolarizzazione, di centralizzazione e diffusione, di declino dei grandi centri e relativa crescita dei centri minori periferici appaiono dinamiche del tutto interne al Long-term Cycle, causalmente motivate da leggi economico-sociali. Nello stesso tempo, le dinamiche di

¹ Per saperne di più, si veda Ferlaino (1994a, 1994b).

assoggettamento e/o valorizzazione delle risorse locali, in primo luogo quelle umane, non omologano l'intero spazio geografico ma lo differenziano in maniera gerarchica a partire dai nodi connessi ai mercati globali. Come dimostra la vasta letteratura sui cicli e in particolare i lavori di Rostow (1978), un sistema di mercato regionale (macro regionale o nazionale) una volta connesso ai flussi lunghi dell'interazione economica ne assume le principali caratterizzazioni e si allinea ai principali cluster economici che ne determinano il ciclo crescita-declino.

Tabella 3 - Il decollo delle economie capitalistiche secondo Rostow

Cicli	Paesi	Anni
1° ciclo - fase di crescita (1787-1813)	Gran Bretagna	1783-1830
1° ciclo - fase di declino (1814-1842)	Francia	1830-1870
	Belgio	1833-1860
2° ciclo - crescita (1843-1869)	Germania	1840-1870
	Stati Uniti	1843-1870
3° ciclo - fase di crescita (1898-1920)	Giappone	1885-1905
	Russia	1890-1905
	Italia	1895-1913
	Canada	1896-1914
	Australia	1901-1920
3° ciclo - fase di declino (1920-1940)	Argentina	1933-1950
	Brasile	1933-1950
	Turchia	1933-1961

Fonte: Rostow (1978)

Ciò significa che un'innovazione può iniziare la sua penetrazione di mercato in un punto qualsiasi del ciclo di Kondratiev ma essa tenderà, nel medio periodo, ad adeguarsi all'ordine fluttuante dell'economia. Detto in altri termini, il *take-off*, il cosiddetto “decollo economico” di un paese (o macroregione), può iniziare in qualsiasi punto del ciclo ma esso si allineerà, entro un certo periodo di tempo, alle ondate generali dei cicli globali di lunga durata. Sembrerebbe quindi che il capitalismo industriale, e ancor più quello finanziario, una volta entrato a definire e omologare la forma delle interazioni di mercato (le relazioni degli scambi di mercato), ne decreti poi i processi e le dinamiche specifiche locali sia della domanda aggregata sia dei cluster produttivi regionali. Aree il cui

“démarrage”, o *take-off* economico, è avvenuto in ritardo tendono così a saturare più velocemente i loro mercati di beni tradizionali seguendo e adeguandosi all’andamento delle onde di lungo periodo.

È il caso, ad esempio, della penetrazione delle automobili negli Stati Uniti che partita tardi, nel terzo ciclo, ha avuto un andamento estremamente accelerato rispetto a quello più costante e regolare che si è registrato in Europa. Un altro esempio è dato dalla produzione di *computer mainframe* in Giappone che partita tardi, negli anni Sessanta, ha avuto una saturazione parallela al resto delle nazioni occidentali più innovative. Ma altre verifiche empiriche sono state condotte per la produzione dell’acciaio, la diffusione della rete ferroviaria e autostradale, la diffusione di alcuni importanti testi e titoli di libri nelle differenti lingue, e per moltissimi altri prodotti e tecnologie (Marchetti, 1989). Recente è l’evidenza del completamento dell’ellisse di sviluppo europea alle aree della ex DDR, Polonia, Repubblica Ceca, Ungheria, Slovenia e Croazia, Estonia, Lettonia e Lituania, che in pochissimo tempo si sono “adeguate” al quarto ciclo Kondratiev.

5 Le rivoluzioni tecnologiche: il modello logistico

Si dice che un’innovazione è radicale quando introduce nuovi paradigmi tecnologici creando nuovi mercati e soddisfacendo nuovi bisogni attraverso nuovi prodotti e/o processi produttivi (Dahlin & Behrens, 2005)². In pratica, un’innovazione radicale o dirompente cambia l’organizzazione degli spazi regionali e dei tempi di vita e quindi l’esistenza di ognuno di noi. Normalmente un’innovazione “radicale” cresce in un ciclo, si afferma nel ciclo successivo e quindi decade nel ciclo seguente (Marchetti, 1989) divenendo una tecnologia matura destinata a ritagliarsi una nicchia specifica di mercato oppure entrando nel cluster delle numerose innovazioni incrementali, quelle che migliorano o aggiornano il paradigma tecnologico in atto.

Tra le tecnologie radicali, due appaiono particolarmente significative, quelle relative all’energia e quelle relative ai trasporti. Le prime definiscono di fatto la gran parte della tematica inerente alla sostenibilità ambientale e al cambiamento climatico, incidendo sulla quasi totalità delle emissioni e per circa il 60% dell’impronta ecologica totale; le seconde interessano un quinto del consumo energetico mondiale e più del 50% dei combustibili fossili, ma soprattutto strutturano le relazioni nello spazio e

² La letteratura sulle innovazioni tecnologiche è sterminata. Una disamina la si può trovare in Bresciani (2016).

quelle che possiamo genericamente chiamare le reti alla diversa scala, reti lunghe e reticoli di prossimità.

L'ipotesi che muoviamo è che sia le innovazioni energetiche sia quelle di trasporto si trovino oggi in un punto di biforcazione e che la crisi del quarto ciclo Kondratiev, cominciata in occidente a metà degli anni Settanta (simbolicamente con la crisi energetica del 1973) e che si è espressa a livello mondiale solo nel 2008 (a seguito della caduta del Muro di Berlino e della “liberazione” internazionale delle forze di mercato), apra un periodo di scelte tecnologiche decisive e dicotomiche per lo sviluppo regionale. Gli scenari possibili sono due: quello della mitigazione e adattamento e quello che chiamiamo della “rivoluzione solare”. Non sono scenari scontati, tutt'altro. In questo articolo li tratteremo per quanto attiene all'energia nell'auspicio di trattare in un articolo successivo le tecnologie di trasporto.

A livello internazionale, la definizione di mitigazione è fornita dall'Intergovernmental Panel on Climate Change. Il Quarto Rapporto (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014) afferma che la mitigazione è “il cambiamento e la sostituzione di tipo tecnologico che riducono gli input di risorse e le emissioni per unità di prodotto di gas a effetto serra” (p. 818). La mitigazione è quindi un processo di sostituzione e di riduzione degli input di risorse e degli output di scarti a effetto serra.

Questo processo di sostituzione non avviene in modo lineare ma, come è stato evidenziato da una vasta letteratura (Hagerstrand, 1952; Mansfield, 1961, 1968), segue una crescita a S del modello canonico logistico³. Il modello definisce la propagazione e consolidamento della tecnologia che può essere distinta entro tre diversi stadi di sviluppo, corrispondenti con i nostri cicli Kondratiev:

1. Lo stadio cosiddetto “originario” in cui gli investimenti diretti verso la nuova tecnologia sono scarsi e ad alto rischio. Gli investitori sono pochi e la diffusione è di tipo “concorrenziale-selettiva”. Pertanto le innovazioni si dispiegano nel territorio in modo discontinuo. È questa la fase in cui si ridefiniscono le gerarchie territoriali e in cui diventa importante la concorrenza tra i poli tecnologici e i poli metropolitani. I settori interessati sono soprattutto, seguendo la definizione

³ La formalizzazione del modello è data da una equazione logistica canonica e segue la formulazione:

$$\frac{dX}{dt} = rX \left(1 - \frac{X}{K} \right)$$

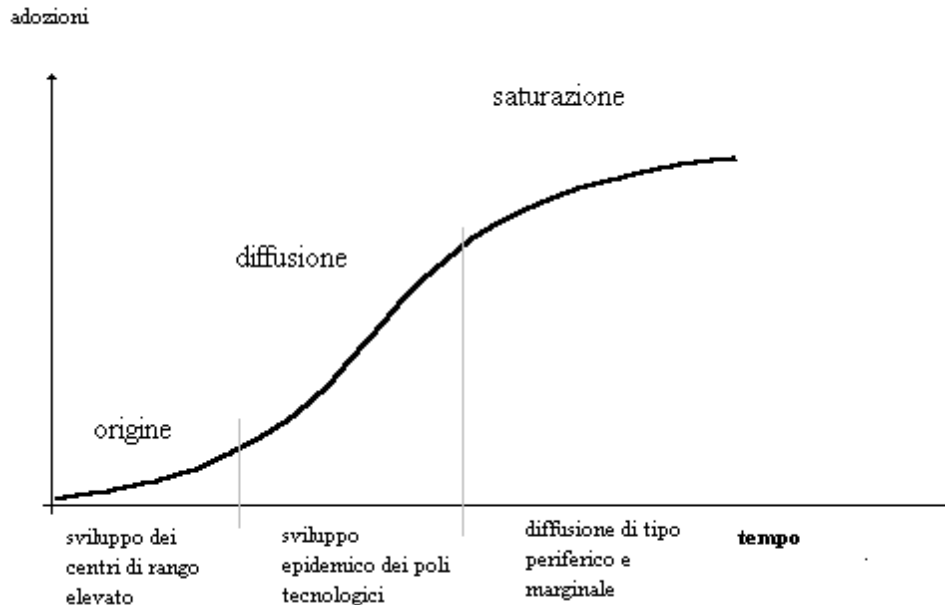
dove: X è il numero degli adottanti la tecnologia; t è il tempo; r è un parametro che definisce la velocità con cui si adotta la tecnologia. È un fattore regionale endogeno dovuto alla presenza e capacità imprenditoriale che abbiamo sintetizzato attraverso l'indicatore di Mansfield, ovvero il “tasso di adozione tecnologica”. Questo indicatore presuppone una serie di concausalità che si ritengono basilari e pertanto implicite quali le maggiori/minori esternalità, il livello di flessibilità e di cultura tecnologica, la “cultura dell'impresa”, la presenza di manodopera qualificata eccetera. In pratica esso è una misura delle esternalità locali e di ciò che oggi è definito “milieu innovatore”. K è la popolazione che può accedere alla tecnologia e che può adottarla, è cioè la *carrying capacity* del sistema. È un fattore “esogeno” che definisce il potenziale di mercato relativo alla tecnologia o al prodotto considerato oppure, più in generale, alle attività che si svolgono nel polo.

di Pavitt (1984), quelli “basati sulla scienza” (*science-based*). In questa fase le imprese innovative dirompenti e ad alta intensità di capitale competono per l’affermazione della tecnologia contro le imprese a innovazioni incrementali, sicuramente facilitate dalla robustezza del *path* tecnologico.

2. Lo stadio di “diffusione” definito da una crescita esponenziale delle adozioni della nuova tecnologia. È la fase di vera rivoluzione che vede estendersi l’influsso delle innovazioni radicali e il dominio dei poli tecnologici che l’hanno adottate e l’emergere di poli secondari. La diffusione è di tipo “gerarchico-epidemico”, l’imitazione segue un carattere anche areale in un contesto polarizzativo gerarchico che definisce la scala internazionale dei mercati.

3. Lo stadio di “saturazione” corrispondente alla soglia di diffusione della tecnologia che tende a coprire l’intero mercato. I settori tradizionali dominati dall’offerta (*supplier-dominated*) vengono indotti a innovarsi attraverso processi di spinta tecnologica (*technology push*) tendenti a risparmiare lavoro (*labour intensive*). L’innovazione è incrementale e spinge alla frammentazione, all’esternalizzazione, alla flessibilità, al controllo delle filiere produttive e delle catene di valore, al controllo delle risorse umane e tecniche.

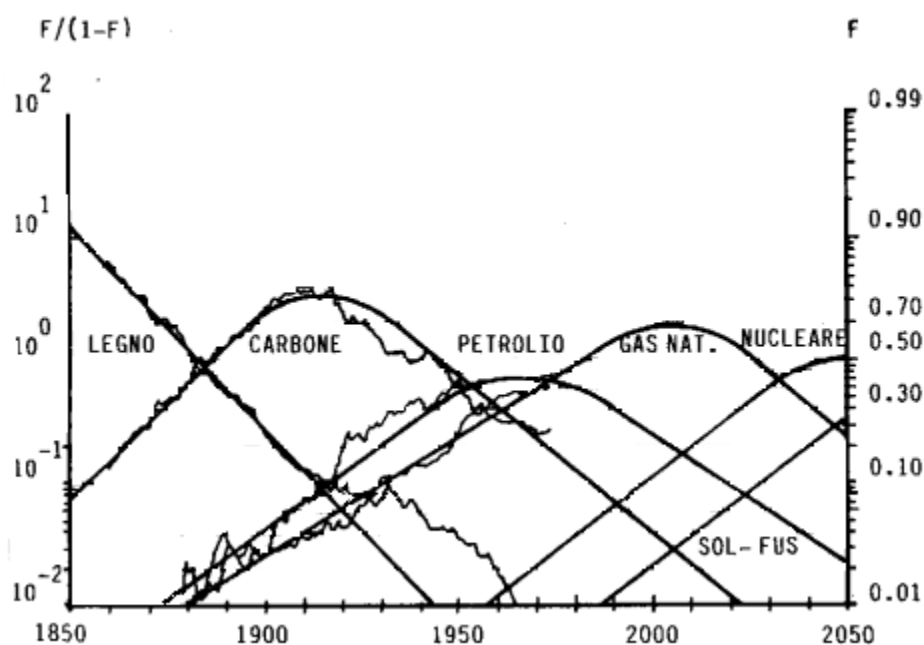
Figura 2 - Il modello logistico di diffusione delle innovazioni



Fonte: Ferlaino (2002, p. 259)

Secondo gli studi dell'International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) e della Rockefeller University⁴, gli scenari energetici avrebbero visto negli USA, e poi nel mondo, la crescita del gas naturale fino al 2010 quindi l'imposizione del nucleare nel 2040. Solo dopo, nel 2050, il solare avrebbe avuto una sua consistente legittimità. Le cose fortunatamente non sono andate così e le energie rinnovabili sono cresciute molto di più di quanto predetto mentre il nucleare ha avuto una battuta d'arresto e sarà difficile un suo significativo rilancio.

Figura 3 - Sostituzione dell'energia primaria negli Stati Uniti



Fonte: Marchetti & Nakicenovic (1979, p. 40)

La crescita dell'estrazione del gas naturale è tuttavia un dato di fatto e da decenni si chiudono le centrali a carbone ad alto impatto e si aprono reti di distribuzione e centrali a gas. L'Italia in questo caso è stato un paese precursore e, grazie alle ricerche ENI e alla precoce fuoriuscita dal nucleare, ha incrementato notevolmente l'utilizzo del gas e l'eco-efficienza energetica, mantenendo così il passo nella

⁴ Fondamentalmente i lavori di Cesare Marchetti, qui ampiamente citati.

competizione europea verso la decarbonizzazione. Il gas è sicuramente la tecnologia che caratterizza il presente e probabilmente anche buona parte del futuro⁵.

6 Ancoraggi e radicamenti regionali

L'idea del modello risiede nella crescita epidemica della nuova tecnologia simile a quella dell'evoluzione biologica e alla competizione tra specie diverse. Le specie più forti eliminano dalla propria nicchia le specie preesistenti o le riducono significativamente. Sono inoltre modelli che presuppongono alcune invarianze strutturali: un PIL in costante crescita e quindi una relativa crescita della spesa energetica e dei consumi. Due condizioni che è presumibile si mantengano tali a livello globale fintanto che la popolazione mondiale continuerà ad aumentare. Diverse, invece, sono le dinamiche a livello regionale in quanto la crescita è oggetto di enormi variazioni regionali. In questa differenza si gioca la competizione tra territori, tra sistemi regionali che precorrono e anticipano o che non sono in grado di ancorarsi alla crescita. Gli scenari di crescita regionale dipendono cioè da molti fattori quali la composizione dei settori presenti in esso, le capacità innovative delle sue forze produttive, le politiche pubbliche e l'identità economico-sociale dei soggetti che vi operano, le infrastrutture, la posizione rispetto alle aree centrali dello sviluppo eccetera. È chiaro infatti che se una regione produce beni e servizi per mercati che sono in fase d'espansione essa disporrà di un ampio potenziale di crescita in quanto non sarà soggetta a forti pressioni competitive, mentre una regione che produce beni maturi sarà differentemente soggetta a forti pressioni competitive e potrà quindi anticipare processi di declino e di crisi. Possono darsi altri casi, quali quelli di regioni che producono beni e servizi complementari, di processi integrativi a somma positiva, o di persistenza di "nicchie di mercato" o, ancora, meccanismi di dipendenza eccetera. Non sempre è possibile innescare un "milieu innovateur", un ambiente innovativo, ovvero quell'insieme di relazioni che si strutturano entro contesti definiti, dando luogo a una cultura innovativa e produttiva con una propria morfologia e con connotati specifici difficilmente riproducibili altrove. Lo sviluppo territoriale dipende cioè dalle capacità innovative locali, ma queste dipendono a loro volta da fattori complessi, dalla presenza di specifici settori produttivi più o

⁵ Molto dipenderà dalle ricerche in corso per l'estrazione di idrati di metano dai sottofondi marini e dal permafrost. Al momento questa tecnologia appare estremamente rischiosa per il rilascio nell'atmosfera di metano. Si stima che già oggi il 2% del metano vada perso in atmosfera. Si tenga conto che una unità di metano emessa in atmosfera (1 kg) è valutata 25 unità di CO₂ (25 kg) per quanto attiene agli effetti sul cambiamento climatico.

meno competitivi e da reti di relazioni strutturate e storiche: i territori si esprimono cioè attraverso soggettività ma sono anche il portato di processi storici non sempre adatti a intercettare le innovazioni.

Questa capacità di radicamento o ancoraggio si esprime a livello regionale in modi differenti. Marshall (1987) ha classificato sei differenti forme di sviluppo correlati ai cicli di lunga durata.

Il primo scenario è quello detto “carrier”, portatore/portatrice. Definisce un processo di radicamento che si ha quando una regione porta sviluppo attraverso un particolare cluster innovativo, che è motore di crescita in un solo ciclo di lunga durata e poi diviene, nel ciclo successivo, tecnologicamente dipendente.

Il secondo scenario regionale è quello detto di “replacement”, sostituzione. È questo il caso più dinamico di ancoraggio e presuppone che la regione sia in grado di generare innovazione e sviluppo per più cicli di lunga durata individuando nuove risorse e nuovi cluster innovativi, lasciando declinare i cluster e i settori tradizionali. Una simile condizione è difficile da attuare e presuppone la presenza nella regione di risorse particolari e di un milieu innovativo orientato all’innovazione e alla ricerca.

Un terzo scenario è quello del declino strutturale, lo “structural decline”. Si verifica quando una regione resta ancorata o radicata a un passato glorioso e non riesce a sviluppare alcun processo di rinnovamento dello stesso. I cluster tradizionali che erano nei cicli precedenti motivo di espansione si traducono in vincoli e la caduta sarà inarrestabile.

Opposto è il quarto scenario, dell’espansione, della “structural expansion”, dove la regione in questione si afferma per una sua intrinseca capacità di utilizzo delle sue risorse che si mostrano ancorate alle nuove evenienze tecnologiche e ai nuovi processi di valorizzazione. Anche in questo caso si è ancorati al passato ma ciò produce innovazione e definisce nuovi cluster che nei precedenti cicli occupavano un posto meno importante. La regione valorizza le sue risorse che nel tempo si mostrano quali fattori d’espansione e di eccellenza.

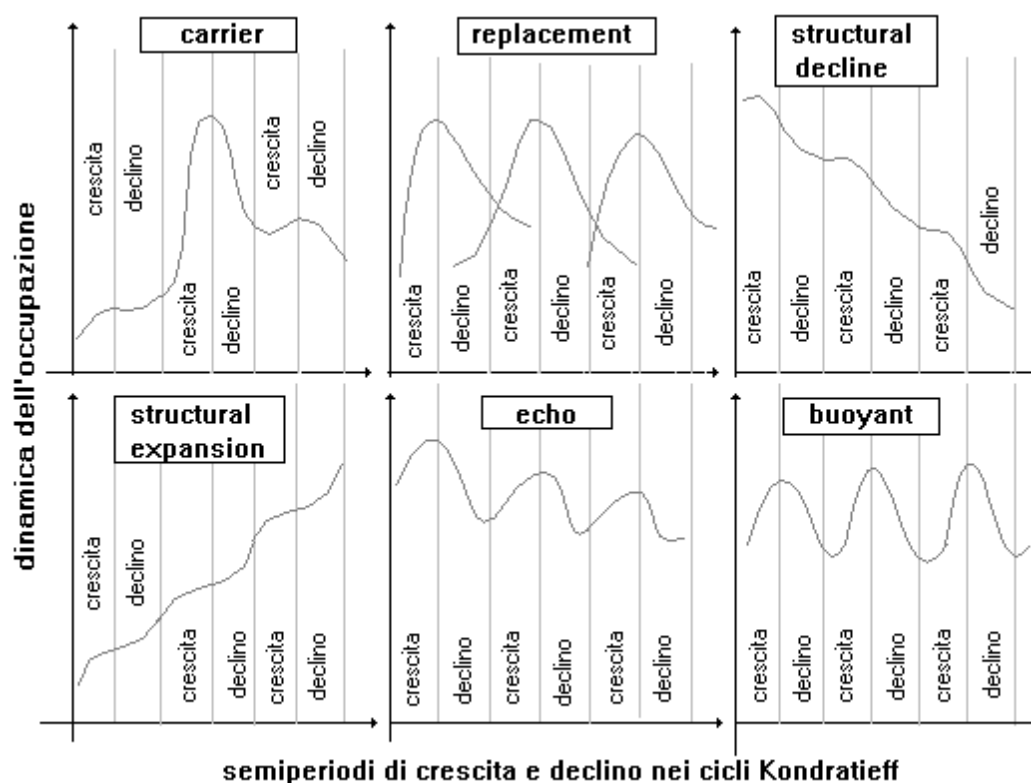
Il quinto scenario possibile è un declino lento e inavvertibile definito “echo”. I settori regionali sono in grado di innovare, da un ciclo all’altro, i cluster tecnologici di riferimento ma senza essere portatori. Ci si ancora ai nuovi cluster in modo sempre più declinante e ciò conduce nel tempo la regione verso la periferizzazione controllata. Le innovazioni concedono margini di mercato significativi ma via via calanti nei successivi cicli.

Infine il sesto scenario è detto “buoyant”, galleggiamento. In questo caso i settori locali restano in grado di auto-innovarsi e di conformarsi alle tecnologie trainanti dello sviluppo per diversi cicli di lunga durata. La regione riesce cioè a tenere alto il livello della qualità delle sue risorse integrandosi con i

nuovi cluster ed espandendo il suo mercato. In tal modo la regione non subisce crisi e segue le fluttuazioni cicliche dei cluster innovativi mantenendo costante il suo rango gerarchico o migliorandolo.

Come si può notare, solo nel secondo, quello di sostituzione, la regione attua degli ancoraggi nuovi delle proprie risorse a cluster innovativi che non sono legati al passato, cambia cioè “pelle” e identità a ogni ciclo. In tutti gli altri casi, la forza della *path dependency* è decisiva e conduce la regione in situazioni positive o negative senza che si modifichino i radicamenti regionali. La crescita o declino dipende dalle condizioni di utilizzo delle risorse o, se si vuole, dalla “fortuna” della regione di ancorarsi ai nuovi cluster e di vedere valorizzate o meno le proprie risorse.

Figura 4 - Scenari regionali di crescita secondo Marshall (1987)



Fonte: Marshall (1987)

7 *Path dependency e mitigazione ambientale*

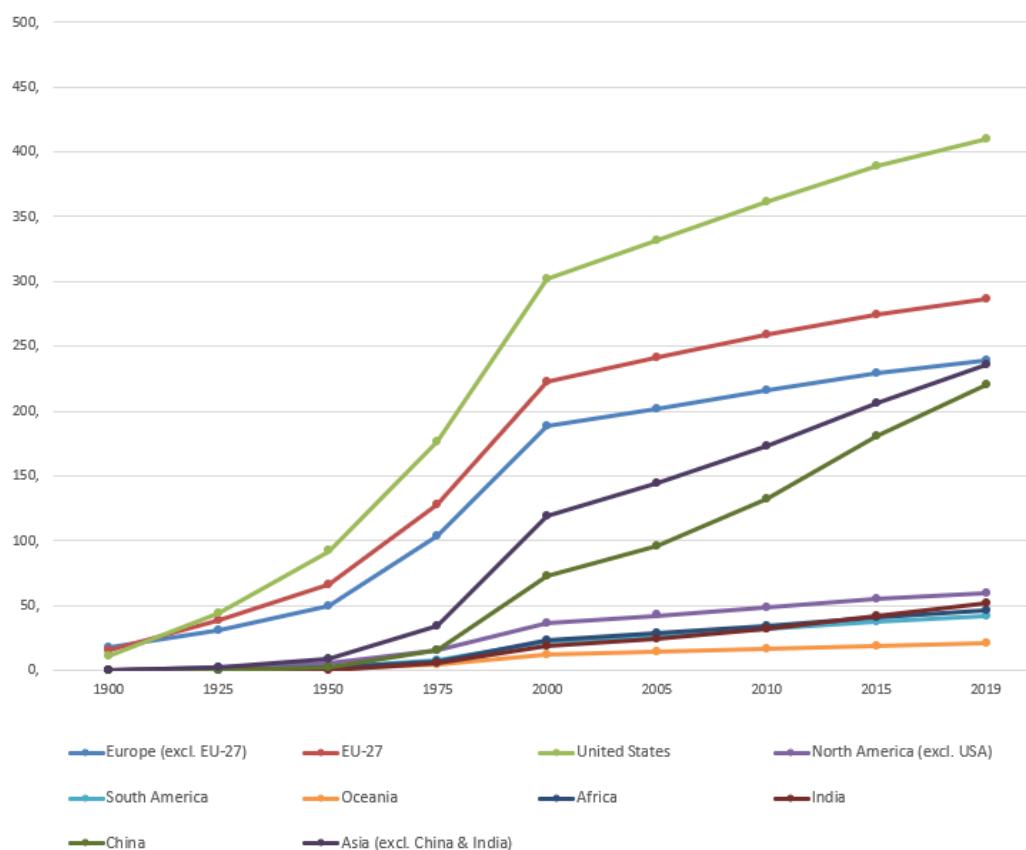
La Figura 5 mostra l'andamento delle emissioni di CO₂ nelle macro-regioni quasi-continentali. Come si nota, l'andamento evidenzia due fasi: la prima, fino al 2000, di crescita esponenziale e la seconda, nel nuovo Millennio, di crescita lineare. Una dinamica in crescita che, come provano le analisi dell'IPCC, 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 crescerebbe 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”⁶.

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 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).

⁶ [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)&from=SV](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01)&from=SV)

Figura 5 - Emissioni cumulative di CO₂ in miliardi di tonnellate prodotte nelle macroregioni Quasi-continentali

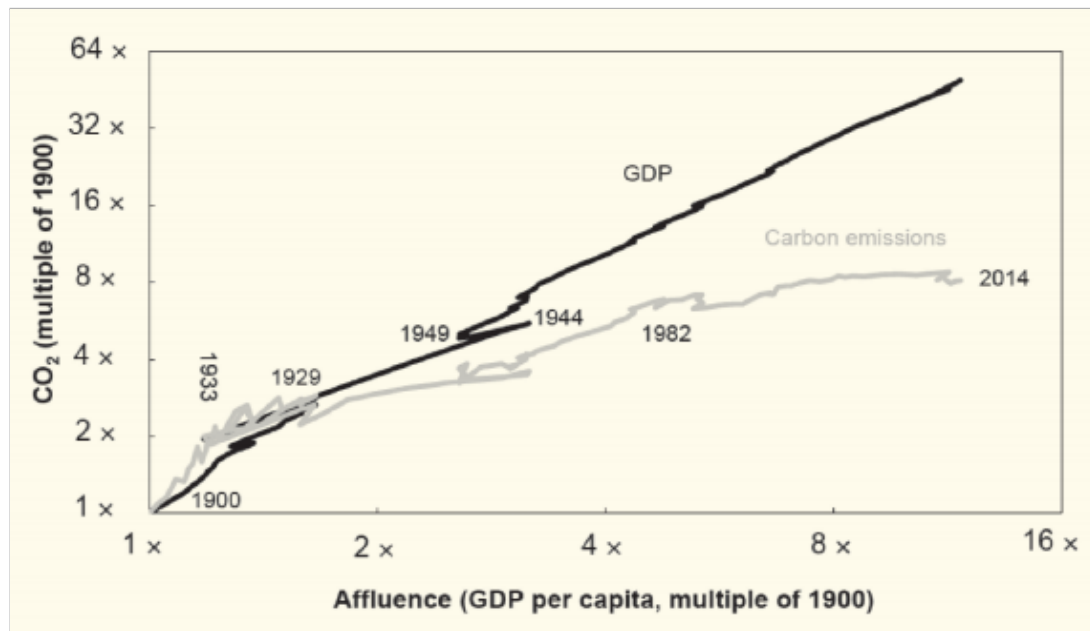


Fonte: World Bank, ottobre 2019 (<https://www.statista.com>)

I sostenitori della sostenibilità mitigativa leggono la curva di Figura 5 in modo diverso. La curva può essere infatti interpretata come una logistica in fase di raggiungimento della sua capacità di carico. Carico difficilmente riducibile senza interventi di Carbon Capture and Storage (di 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 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 (2015,

2017) della Rockefeller University di New York 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.

Figura 6 - Il *delinking* tra la crescita del PIL e le emissioni di carbonio secondo la Rockefeller University di New York



Fonte: Ausubel (2017)

Viene infine 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 (delocalizzazione centrale e localizzazione periferica dell'industria) 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. 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'ambiente⁷.

8 Sostenibilità e Industria 5.0

L'Industria 5.0, secondo la Commissione Europea (2020), 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 4 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 FER) definirà gli scenari della nuova Industria 5.0 verso la sostenibilità mitigativa o verso la *circular economy*.

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 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 semplicemente 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

⁷ 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 i rischi di dispersione nell'ambiente, a breve (dispersione dei cicli di produzione) e a lungo tempo (dispersione geofisica), e acidificazione delle falde acquifere.

crescita e negli USA hanno superato l'energia prodotta dal nucleare, che invece subisce una stasi, dopo numerose dimostrazioni di scarsa affidabilità⁸. Ma il cosiddetto “nucleare sicuro” è considerato da autorevoli fonti tra le tecnologie energetiche concorrenti in grado di rispondere ai problemi posti dal riscaldamento climatico (citiamo ad es. TerraPower di Bill Gates, l'International Institute for Applied Systems Analysis, la Rockefeller University).

Tabella 4 - Emissioni per la produzione di elettricità (gCO_{2eq}/kWh)

Emissioni del ciclo di vita (incl. effetto albedo)	
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

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

⁸ 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 Kyštym, 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 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 per il contrasto al cambiamento climatico è, lo abbiamo visto, quella di stipare l'anidride carbonica sotto terra e di stoccarla nei giacimenti esausti di petrolio e gas, oppure di depositarla nel fondo marino, attraverso tecniche di CCS (Carbon Capture and Storage).

La seconda 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.

Dall'altra esistono 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 Archimede⁹ o da altre fonti rinnovabili (idroelettrico, vento, biomassa): sole + acqua = idrogeno e via i combustibili fossili (che infatti non appaiono nella formula): $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$.

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

⁹ La centrale di Archimede (o di Carlo Rubbia, dal premio Nobel italiano in Fisica del 1984, che l'ha suggerita) è una centrale che sfrutta la concentrazione energetica solare attraverso riflessione su uno spazio concavo di Archimede producendo così calore che alimenta una turbina elettrica a vapore d'acqua. Oggi il rendimento dei pannelli fotovoltaici è di gran lunga maggiore.

dei costi energetici da fotovoltaico e 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 5.

Tabella 5 - Costo energetico livellato (LCOE)¹⁰ dell'elettricità, prodotta in grandi impianti (> 1MWh)

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

Fonte Roser (2020)

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, "richiederebbe 900 miglia quadrate (2.400 km quadrati) di energia solare" (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 biomasse¹¹. 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

¹⁰ Il costo energetico livellato (LCOE) è un "metro di misura" che consente di confrontare il costo medio dell'energia prodotta dai diversi tipi di impianto, tenendo conto della loro vita media e delle fonti energetiche che essi sfruttano, e si misura in unità monetarie divise per unità di misura di lavoro dell'energia prodotta (per esempio, euro/chilowattora). Il LCOE comprende, cioè, il costo di costruzione e manutenzione della centrale, il costo operativo, quello del combustibile e il ritorno sull'investimento.

¹¹ I valori di produttività forniti da Hayden (2005) e riportati da Ausubel (2017) sono i seguenti: per l'idroelettrico da 0,0012 a 0,049 W/m²; biomassa da 3,7 W/m² della canna da zucchero a 0,75 W/m² del granturco; 0,12 della foresta (del New England); 0,047 dell'etanolo prodotto da granturco; per il vento 1,2 W/m²; per il solare termico 3,2 W/m²; per il solare fotovoltaico 6 W/m². Oggi la produttività del solare fotovoltaico è di 125 W/m².

stessa centrale di 14 GW occuperebbe uno spazio di 112 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.

9 Conclusioni

Per concludere proponiamo alcuni punti di riflessione sul modello teorico usato in questo articolo.

Primo. I vettori energetici da fonti fossili, del carbone, petrolio, gas naturale, possono essere interpretati come prodromici di una nuova modalità energetica secondaria, l'idrogeno, non ancora matura e verosimilmente prefigurabile quale vettore trainante del prossimo ciclo. In tal senso, l'intero processo energetico e le sue rivoluzioni segnate dall'inizio della rivoluzione industriale altro non sarebbero che un processo di decarbonizzazione lento ma inarrestabile: "Quando l'uomo ha domato il fuoco, forse un milione di anni fa, ha iniziato a interferire con il ciclo del carbonio. Il legno, infatti, è principalmente cellulosa, un carboidrato che andrebbe definito dalla formula $(H_2OC)_n$ [...] La formula complessiva del carbon fossile può essere vista come $-(HC)-n$ con una parte dal carbonio e una parte di idrogeno, che riduce le emissioni di carbonio rispetto al legno". Quindi giunse il petrolio, in sostituzione degli oli vegetali e animali (di balena principalmente) usati per illuminare. "La formula complessiva

può essere vista come $-(CH_2)_n$, riducendo ulteriormente le emissioni di carbonio per la stessa quantità di energia liberata [...]” (Marchetti, 2005, p. 1). Infine il metano, la cui formula è CH_4 con il massimo contenuto di idrogeno per ogni atomo di carbonio. Oggi nel mondo si producono 73,9 milioni di tonnellate di idrogeno per un valore di mercato di circa 150 miliardi di dollari. Il 96% di questa proviene dall'idrogeno “grigio” e solo il 4% dall'idrogeno verde, solare o ricavato da biomassa rigenerabile.

In questo quadro interpretativo l'intera rivoluzione industriale viene vista come un processo incrementale di idrogenazione energetica e di decarbonizzazione relativa che destruttura il modello dei cicli tecnologici finora trattato e riconduce il tutto all'unico grande ciclo della decarbonizzazione relativa versus un secondo grande ciclo della decarbonizzazione assoluta, sia essa basata sul nucleare o sulle FER o, come propongono molti, su entrambe.

All'opposto, la produzione di combustibili liquidi dal carbone e la gassificazione del carbone possono essere interpretate come una tecnologia incrementale¹² orientata all'utilizzo del carbone anche nel terzo ciclo Kondratiev che, come abbiamo visto, è caratterizzato dal vettore energetico del petrolio, o del quarto ciclo, quello in atto, caratterizzato dall'estrazione di gas naturale.

Emergono quindi problemi di definizione e di classificazione nel modello dei cicli che ne destrutturano la pretesa oggettività di lettura dei processi e la loro invarianza.

Lo stesso può dirsi per le definizioni di “tecnologia radicale” e “dirompente” (quella che rivoluziona i paradigmi concettuali, di consumo e produttivi) o di “tecnologia incrementale” (quella interna al paradigma in atto). È ovvio che dipende dalla considerazione dirompente o incrementale dei cicli e, nel nostro caso, del concetto di decarbonizzazione come processo lungo e incrementale del rapporto H-C (idrogeno-carbonio) o come nuovo ciclo che ci libera dall'utilizzo di C (carbonio). L'interpretazione fa cioè parte del modello.

Liberati dalla visione neopositivista, dettata dall'inesorabilità dei processi, i cicli di lungo periodo e le definizioni di tecnologia radicale e incrementale mantengono tuttavia una forza euristica utile a chiarire concetti, dinamiche e prospettive.

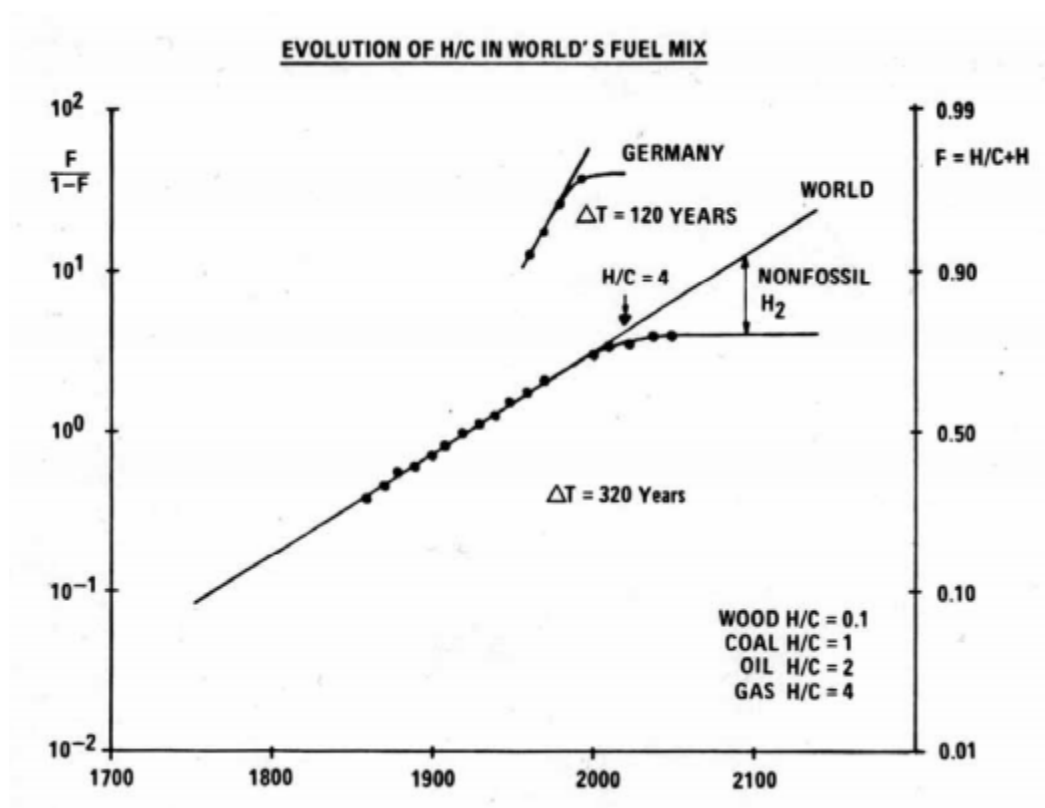
Secondo. In occasione del World Economic Forum del 2020, manifestazione non certamente iscrivibile in circoli estremistici, è stata lanciata l'iniziativa One Trillion Trees (<https://www.1t.org/>). L'idea (che potremmo anche definire “balzana”) è quella di piantare un trilione di alberi, quantità che risponderebbe in gran parte al problema del riscaldamento climatico, facendo ritornare indietro (circa

¹² La liquefazione del carbone necessita di un processo di idrogenazione e la reazione, sotto particolari condizioni, può essere sintetizzata come segue: $n C + (n + 1) H_2 \rightarrow C_n H_{2n+2}$

agli anni Settanta del secolo scorso) la quantità di CO₂ in atmosfera. È il massimo di quanto si possa fare per la sostenibilità rigenerativa.

Un trilione è tuttavia una quantità veramente notevole: equivale a un milione di bilioni, cioè un miliardo di miliardi, ossia un milione alla terza ($1\,000\,000^3 = 10^{18} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$). Finora gli oltre 130 grandi contributori dell'iniziativa hanno raggiunto la cifra di 63 milioni di alberi piantati. Ogni anno se ne abbattano 15,3 miliardi e se ne rifeosta poco meno di 14 miliardi, con un deficit di circa 1 miliardo di alberi l'anno.

Figura 7 - La lunga crescita logistica del rapporto Idrogeno-Carbonio



Fonte: Marchetti (2005)

Insieme alla sostenibilità rigenerativa forse alcune proposte della sostenibilità mitigativa vanno riconsiderate e reinterpretate. Nel Quinto Rapporto IPCC il concetto di “mitigazione” viene ulteriormente specificato aggiungendo parti non contenute nel Quarto Rapporto: mitigare significa

“implementare azioni e politiche per ridurre le emissioni di gas serra e aumentarne i pozzi/i serbatoi naturali”¹³. Tra le due versioni si nota un ambiguo spostamento del baricentro concettuale: da una definizione prettamente incentrata sulla tecnologia (Quarto Rapporto IPCC del 2007) si passa ad un ampliamento del concetto (Quinto Rapporto IPCC del 2013), che per un verso apre alle politiche sociali ma nel contempo apre, a nostro avviso, alla possibilità di stoccaggio dei gas serra in pozzi e serbatoi naturali.

L’apertura sociale scompare (o diventa implicita) nel Sesto Rapporto IPCC (2021): mitigazione è “Un intervento umano per ridurre le emissioni o potenziare i pozzi di gas serra”. La sostenibilità solo rigenerativa diventa cioè difficilissima senza lo stoccaggio di gas serra. L’alternativa non è solo FER versus Nucleare ma, molto probabilmente, dati i tempi sempre più brevi che restano per raggiungere la neutralità carbonica, gli scenari sono più complessi e compongono le alternative FER + CCS versus Nucleare + CCS. Lo stoccaggio di CO₂ va in tal senso considerato come la reintroduzione nel sottofondo terrestre del carbonio estratto, a seguito dell’utilizzo di fonti energetiche fossili.

Terzo. La sostenibilità rigenerativa non produce scorie né scarti. Il nuovo nucleare potrebbe essere una tecnologia a bassa produzione di scorie. La fusione nucleare non produce scorie e il nucleare di nuova generazione, ancora da costruire, dovrebbe riciclare gran parte delle scorie radioattive prodotte utilizzandole come combustibile. La differenza sta nel fatto che il “solare” e le FER sono già operative, il nucleare auto-riciclante è una promessa. Ma in un ipotetico futuro tecnologico anche la distinzione tecnologica tra sostenibilità rigenerativa e mitigativa potrebbe dover essere riconsiderata. Oggi non vi sono ancora le premesse tecnologiche per questa riconsiderazione.

Quarto. Come abbiamo già evidenziato, le pale eoliche, i pannelli fotovoltaici, le turbine marine, le FER in genere, impattano sul paesaggio, sebbene non ne compromettano permanentemente lo spazio fisico (è un impatto reversibile). Tuttavia il “paesaggio”, come ha evidenziato il dibattito, non è un concetto neutro. Secondo la Convenzione europea del Paesaggio esso “designa una determinata parte di territorio, così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall’azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni”¹⁴. È bene pertanto concentrare e localizzare queste tecnologie in aree marginali, quelle maggiormente vocate a sostenere lo scenario rigenerativo, ma dipenderà dalla cultura e dall’azione politica l’affermarsi o meno del modello di sostenibilità.

¹³ “Mitigation: Technological change and substitution that reduce resource inputs and emissions per unit of output. Although several social, economic and technological policies would produce an emission reduction, with respect to climate change, mitigation means implementing policies to reduce GHG emissions and enhance sink” (https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/annex1-ensglossary-j-p.html).

¹⁴ http://www.convenzioneeuropeapaesaggio.beniculturali.it/uploads/2010_10_12_11_22_02.pdf

Qui le domande fondamentali: le aree centrali sono disposte a cedere “centralità” alle aree marginali o prevarrà ancora la forza della *path dependency* tecnologica e quella (forse ancora maggiore) della conservazione degli assetti geoeconomici e geopolitici esistenti? Le aree marginali sono disposte ad accogliere le FER e ad integrarle nel loro spazio geofisico? Detto in termini più espliciti: è possibile un'alleanza geopolitica, economica, tecnologica, ambientale, tra aree centrali (che posseggono le risorse economiche, tecnologiche e scientifiche) e aree marginali (che posseggono risorse naturali e spazio fisico) o prevarrà la forza distruttiva della conservazione dello “status quo”?

Bibliografia

- Ausubel, J. H., Marchetti, C., & Meyer, P. S. (2000). *To\Nard Green Mobility: The Evolution of Transport*. IIASA.
- Ausubel, J. H. (2015). *Nature Rebounds* (Long Now Foundation Seminar, San Francisco, 13 January 2015). <http://phe.rockefeller.edu/docs/>
- Ausubel, J. H. (2017). *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>
- Aydalot, P. (Ed.). (1986). *Milieux innovateurs en Europe*. Groupe de Recherche Européen sur les Milieux Innovateurs (GREMI).
- Berry, B. J. (Ed.). (1976). *Urban and Counter-urbanization*. Sage.
- Boschma, R. & Martin, R. (Eds.). (2010). *The Handbook of Evolutionary Economic Geography*. Edward Elgar Publishing.
- Bresciani, S. (2016). *Le innovazioni dirompenti*. G. Giappichelli Editore.
- Camagni, R., & Capello, R. (Eds.). (1997). *Strategie di competitività territoriale: il paradigma a rete*. SEAT.
- Camagni, R. (1991). Local “Milieu”, Uncertainty and Innovation Networks: Towards a New Dynamic Theory of Economic Space. In Camagni, R. (Ed.), *Innovation Networks: Spatial Perspectives* (pp. 121-144). Belhaven.
- Comunità Economica Europea. (1997). *Schema di sviluppo dello spazio europeo (S.S.S.E)*. CEE.
- Comunità Economica Europea. (2020). *Industry 5.0 Towards a sustainable, humancentric and resilient European industry* (Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. [Eds.]). CEE.
- Cheshire, P. C., & Hay, D. G. (1989). *Urban problems in Western Europe: An economic analysis*. Unwin Hyman.
- Cunha, A. (1988). Centralité, périphéricité et développement territorial, le cas de la Suisse. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, 2, 293-333.

- Dahlin, K. B., & Behrens, D. M. (2005). When is an Invention Really Radical? Defining and Measuring Technological Radicalness. *Research Policy*, 34(5), 717-737.
- De Rossi, A., & Barbera, F. (Eds.). (2021). *Metromontagna. Un progetto per riabitare l'Italia*. Donzelli.
- Dematteis, G. (1997). Le città come nodi di reti: la transizione urbana in una prospettiva spaziale. In Dematteis, G., Bonaverio, P. (Eds.), *Il sistema urbano italiano nello spazio unificato europeo* (pp. 15-35). Il Mulino.
- Dematteis, G. (2018). La metro-montagna di fronte alle sfide globali. Riflessioni a partire dal caso di Torino. *Journal of Alpine Research/Revue de Géographie Alpine*, 106, 2-13. <http://journals.openedition.org/rga/4318>
- Ferlaino, F. (1994a). Est-Ovest: modelli e schemi dello sviluppo europeo. Rivoluzione politica dell'est e rivoluzioni tecnologiche dell'ovest. *Archivio di Studi urbani e Regionali*, 50, 61-102.
- Ferlaino, F. (1994b). Est-Ovest: modelli e schemi dello sviluppo europeo. Gli aspetti nodali. Il ruolo dei soggetti urbani e delle metropoli. *Archivio di studi urbani e regionali*, 51, 128-176.
- Ferlaino, F. (2002). *Geografia sistemica dello sviluppo*. UTET.
- Ferlaino, F. (2021). Politiche per la centralità della montagna. In Bolognesi, M. & Corrado, F., La nuova centralità della montagna. (Eds.). *Scienze del territorio*, 9, 77-88. Firenze University Press.
- Freeman, C., Clark, J., & Soete, L. (1982). *Unemployment and Technical Innovation*. F. Pinter.
- GIP-Reclus e DATAR. (1989). *Les villes européennes: rapport pour la DATAR, Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale*. GIP Reclus.
- Goldstein, G. S., & Grondberg, T. J. (1984). Economies of Scope and Economies of Agglomeration. *Journal of Urban Economies*, 16, 91-104.
- Gottmann, J. (1976). Megalopolitan Systems around the World. *Ekistics*, 243, 109-113.
- Hagerstrand, T. (1952). *The propagation of Innovation Waves* (Lund Studies in Geography. Ser. B, Human Geography; no. 4). The Royal University of Lund, Department of Geography.
- Hayden, H. C. (2005). *The Solar Fraud-Why Solar Energy Won't Run the World*. Vales Lake Publishing LLC. <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/5140aa95e4b089809dbf518e>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T. & Minx, J. C. (Eds.)]. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (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* [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. & Zhou, B. (Eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Kleinknecht, A. (1987). *Innovations Patterns in Crisis and Prosperity*. MacMillan Press.

- Kleinknecht, A. & Bieshaar, H. (1984). Kondratieff Long Waves in Aggregate Output? An Econometric Test. *Konjunkturpolitik*, 30(5), 279-303.
- Kondratiev, N. D. (1926). Die Langen Wellen der Konjunktur, *Archiv Für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik*, 56, 573-609.
- Kondratiev, N. D. (1928). I cicli economici maggiori. In De Matteo, M., & Vercelli, A. (Eds.), *Onde lunghe e teoria economica* (Rassegna di lavori dell'ISCO, n. 16, 1992).
- Mansfield, E. (1961). Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*, 29, 741-765.
- Mansfield, E. (1968). *Industrial Research and Technological Innovation: An Econometric Analysis*. W. W. Norton.
- Marchetti, C. (1989). Kondratiev rivisitato. Dopo un ciclo di Kondratiev. *Rassegna della letteratura sui cicli economici*, 1-2, 27-76.
- Marchetti, C. (2005). *On Decarbonization: Historically and Perspectively. Interim Report IR-05-005*. IIASA. <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/7830/>
- Marchetti, C. & Nakicenovic, N. (1979). *The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model*. IIASA.
- Marshall, M. (1987). *Long Waves of Regional Development*. MacMillan.
- Martin, R., & Sunley, P. (2010). The place of path dependence in an evolutionary perspective on the economic landscape. In Boschma, R., & Martin, R. (Eds.). *The Handbook of Evolutionary Economic Geography* (pp. 62-92). Edward Elgar Publishing.
- Meijer, M. (1993). Growth and Decline of European Cities: Changing Positions of Cities in Europe. *Urban Studies*, 30(6), 981-990.
- Mensch, G. (1979). *Stalemate in Technology*. Ballinger.
- Pavitt, K. (1984). Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory. *Research Policy*, 13(6), 342-374.
- Payne, P. (1979). Impresa industriale e management in Gran Bretagna (1760-1971). In *Storia Economica di Cambridge* (Vol. 7, *L'età del Capitale*, pp. 254-337). Einaudi.
- Raffestin, C. (1984). Territorializzazione, deterritorializzazione, riterritorializzazione e informazione. In Turco, A. (Ed.). *Regione e regionalizzazione: colloquio internazionale* (pp. 69-82). Franco Angeli. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:4502>
- Roser, M. (2020). *Why did renewables become so cheap so fast? And what can we do to use this global opportunity for green growth?* <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth>
- Rostow, W. W. (1962). *Gli stadi dello sviluppo economico*. Einaudi.
- Rostow, W. W. (1978). *The world economy*. Macmillan.
- Schumpeter, J. A. (1977). *Il processo capitalistico. Cicli economici*. Boringhieri.
- Stewart, H. B. (1982). *Technology Innovation and Business Growth*. Nutevco.
- Van Den Berg, L., Burns, L. S., & Klaassen, L. H. (Eds.). (1987). *Spatial Cycles*. Gower Publishing Company.