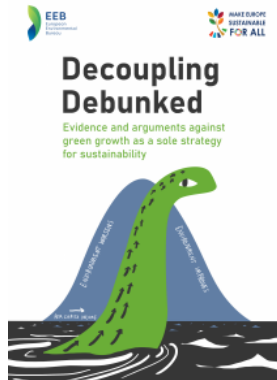


DECOUPLING DEBUNKED

[trad. *Disaccoppiamento smascherato* ovvero “IL GRANDE BLUFF DELLA CRESCITA SOSTENIBILE”]

Evidence and argument against green growth as a sole strategy for sustainability (Prove ed argomenti contro la crescita verde quale unica strategia per la sostenibilità)



European Environment Bureau, luglio 2019

[NOTE DEL TRADUTTORE IN PARENTESI QUADRA]

Sintesi

È possibile godere sia della crescita economica che della sostenibilità ambientale? Questa domanda è di grande importanza nel dibattito politico tra i sostenitori della “crescita verde” e quelli della post-crescita. Nell’ultimo decennio la “crescita verde” ha dominato i governi con l’agenda politica dell’ONU, della UE e in numerosi Paesi, basandosi sull’assunto che il disaccoppiamento (*decoupling*) dell’impatto sull’ambiente dal PIL potesse consentire una crescita economica illimitata.

Considerando ciò che è in ballo, è necessaria una attenta analisi che consenta di stabilire se i fondamenti scientifici di questa “ipotesi del disaccoppiamento” sono solidi o no. Questo rapporto analizza la letteratura empirica e teorica per stabilire la validità di tale ipotesi. La conclusione è tanto chiara in modo schiacciante quanto deludente: non soltanto non c’è nessuna evidenza empirica che convalidi l’esistenza di un disaccoppiamento della crescita economica dall’impatto sull’ambiente, neanche vicino all’ordine di grandezza necessario per gestire il collasso ecologico, ma anche, cosa forse ancora più importante, che questo disaccoppiamento è improbabile che si verifichi in futuro.

Diventa urgente trarre le conseguenze di questi esiti in termini di politiche attive e allontanarsi prudentemente dalla continua ricerca della crescita economica nei paesi con maggiori consumi. Più precisamente, le strategie politiche miranti ad aumentare l’efficienza devono essere affiancate dalla ricerca della sufficienza, cioè la diminuzione diretta della produzione economica in molti settori e la parallela riduzione dei consumi, che insieme consentiranno una “buona vita” all’interno dei confini ecologici del pianeta. La riduzione della produzione e dei consumi nei paesi ricchi probabilmente risulterà in una diminuzione del PIL rispetto ai livelli attuali.

Nell’opinione degli autori di questo rapporto e sulla base delle migliori prove scientifiche disponibili, solo strategie di questo tipo rispettano il “principio di precauzione” della UE, che recita “quando il pericolo è elevato e gli esiti incerti, è meglio sbagliare in direzione della prudenza”.

Il fatto che il disaccoppiamento di per sé, cioè senza considerare il tema della crescita economica, non è stato e non sarà sufficiente a ridurre la pressione sull’ambiente nella misura necessaria, non è una ragione per opporsi al disaccoppiamento (nel senso letterale di separare l’impatto sull’ambiente dalla curva del PIL) o alle misure che lo consentono, al contrario senza molte di queste misure la situazione sarebbe ancora peggiore. È invece una ragione per preoccuparsi maggiormente dell’attenzione predominante che i politici rivolgono alla “crescita verde”, basata sul falso presupposto che un sufficiente disaccoppiamento può essere raggiunto tramite un incremento dell’efficienza senza limitare la produzione economica e i consumi.

Principali risultati

Una discussione sul disaccoppiamento richiede l'utilizzo di un rigoroso quadro analitico. A seconda degli indicatori usati per quantificare le attività economiche e le pressioni sull'ambiente, così come l'estensione della loro evoluzione, il disaccoppiamento può essere caratterizzato in diversi modi. Esso può essere globale o locale, relativo o assoluto, territoriale o basato sull'impronta, verificatosi su un lungo o breve intervallo temporale, e ultimo ma non ultimo, visto nella prospettiva delle relative soglie ambientali, degli obiettivi politici e del contesto socio-economico globale, quando si vuole valutare la grandezza da prendere in esame per considerazioni obiettive.

La validità della "crescita verde" si basa sul presupposto di un disaccoppiamento assoluto, permanente, globale, ampio e abbastanza rapido della crescita economica da tutte le pressioni critiche sull'ambiente. La letteratura esaminata dimostra che non c'è nessuna evidenza empirica che tale disaccoppiamento sia attualmente in corso. Questo vale per materiali, energia, acqua, gas serra, inquinanti dell'acqua e perdita di biodiversità, per i quali il disaccoppiamento è osservato solo come relativo, temporaneo e locale. Nei casi in cui è stato osservato un disaccoppiamento assoluto, questo ha avuto durata limitata, in relazione solo ad alcune forme di impatto, in località specifiche e con percentuali molto basse di mitigazione dell'impatto.

Vi sono almeno sette ragioni per essere scettici circa il verificarsi di un sufficiente disaccoppiamento in futuro. Ciascuna di esse, presa separatamente, solleva dubbi sulla possibilità di un sufficiente disaccoppiamento e, quindi, della fattibilità della "crescita verde". Considerate tutte insieme, l'ipotesi che il disaccoppiamento possa consentire la crescita economica senza un aumento della pressione sull'ambiente appare fortemente compromessa se non chiaramente irrealistica.

1. Crescita delle spese energetiche. Quando si estraggono risorse, generalmente si utilizzano per prime le opzioni più convenienti. L'estrazione degli stock rimanenti diviene quindi un processo che richiede un uso più intenso di risorse ed energia, col risultato di aumentare il degrado ambientale per unità di risorsa estratta.

2. Effetto "rimbalzo". I miglioramenti ottenuti con la maggiore efficienza sono spesso compensati dalla riallocazione parziale o totale delle risorse e del denaro risparmiati sia nel consumo pari o maggiore della stessa risorsa (per esempio utilizzare più spesso una vettura che utilizza carburante in modo più efficiente) ovvero in altri consumi impattanti (per esempio acquistare un biglietto aereo per vacanze esotiche con il denaro risparmiato con carburanti più efficienti). Tale effetto può generare dei cambiamenti strutturali nell'economia inducendo a consumi più elevati (per esempio, avere più autovetture efficienti in circolazione può intensificare il trasporto privato a discapito di mobilità alternative "verdi", come il trasporto pubblico o la bicicletta).

3. Trasferimento dei problemi. Le soluzioni tecnologiche per un problema ambientale ne possono generare di nuovi o aggravarne altri. Per esempio, la produzione di veicoli elettrici privati mette sotto pressione litio, rame e cobalto; la produzione di biocarburante solleva preoccupazione sull'uso dei suoli; la produzione di energia nucleare genera rischi e problemi riguardanti lo smaltimento delle scorie nucleari.

4. Impatto sottostimato dei servizi. L'economia dei servizi può esistere solo in cima all'economia materiale, non al suo posto. I servizi hanno un impatto significativo che spesso si somma, piuttosto che sostituirsi, a quello dei beni prodotti.

5. Limitato potenziale del riciclo. Le percentuali di riciclo attuali sono basse e crescono solo lentamente, e i processi di riciclo richiedono ancora una significativa quantità di energia e di materia prima. Più importante, il riciclo è strettamente limitato nella sua capacità di produrre risorse per una economia materiale in espansione.

6. Insufficienti e inappropriati cambiamenti tecnologici. Il progresso tecnologico non sta interessando i fattori di produzione che riguardano la sostenibilità ecologica e non sta conducendo al tipo di innovazione che riduce la pressione ambientale; non è sufficientemente dirompente e fallisce nel sostituire altre tecnologie indesiderate; e non è di per sé abbastanza rapido da consentire un disaccoppiamento sufficiente.

7. Trasferimento dei costi. Ciò che è stato osservato e definito come disaccoppiamento in qualche caso locale è stato solo apparente, risultando generalmente da una esternalizzazione dell'impatto da paesi ad alto consumo verso paesi a basso consumo, favorita dal commercio internazionale. Sulla base dell'esame dell'impatto ne viene fuori una immagine molto meno ottimistica, che solleva ulteriori dubbi sulla possibilità di un disaccoppiamento consistente nel futuro.

Questo rapporto evidenzia la necessità di un nuovo armamentario concettuale per sostenere la progettazione e la valutazione delle politiche ambientali. I politici devono riconoscere il fatto che affrontare il collasso ambientale potrebbe richiedere una diminuzione netta della produzione economica e dei consumi nei paesi più ricchi. In altre parole, noi sosteniamo che occorre affiancare alle politiche orientate all'efficienza con politiche di sufficienza, con un trasferimento di priorità dalle prime alle seconde, anche se entrambi svolgono un ruolo. Da questa prospettiva, appare urgente che i politici prestino maggiore attenzione e sostengano diverse alternative alla "crescita verde".

Cos'è il "decoupling"?

In generale, due variabili si dicono "accoppiate" se una è guidata (trainata) dall'altra, avendo come risultato la loro evoluzione proporzionale (per es. se A aumenta, anche B aumenta). La variabile trainante nel nostro caso è il PIL (valore aggregato di mercato di tutti i beni e i servizi prodotti in un paese in un dato periodo di tempo, solitamente un anno). La variabile trainata è costituita dall'*uso di risorse* e dagli *impatti sull'ambiente*. Il *decoupling* dalle risorse si definisce come lo sganciamento delle attività di mercato dal volume delle risorse usate (cioè estratte dall'ambiente), per esempio grazie ad una maggiore efficienza o un miglior riciclo. In questo report, le risorse utilizzate per le attività economiche sono state divise in quattro categorie: materiali, energia, acqua e terra (le ultime due definite includendo la biodiversità e i relativi servizi ecosistemici). Tali risorse possono essere misurate con indicatori basati sia sulla produzione che sul consumo.

Il *decoupling* dagli impatti si riferisce allo sganciamento del PIL dagli impatti ambientali, cioè la diminuzione dei danni per l'ambiente per unità di output economico. Gli impatti ambientali possono avere varie forme: rifiuti che danneggiano la vita nei mari o inquinanti pericolosi per la salute animale ed umana, alterazione dei cicli naturali (per es. i cicli di azoto, fosforo, carbonio e acqua dolce) o perdita di biodiversità.

Generalmente c'è un legame tra l'uso di risorse e impatto sull'ambiente: per es. l'estrazione e l'utilizzo di più combustibili fossili (risorse) generano emissioni di CO₂ che contribuiscono al cambiamento climatico (impatto). Sebbene la maggior parte degli studi empirici si concentrino sul cambiamento climatico e sull'emissione di gas serra, ogni effetto deleterio sulla biosfera deve essere preso in considerazione come variabile ambientale (per es. l'inquinamento luminoso che genera perdita di biodiversità o l'inquinamento dell'acqua che porta all'eutrofizzazione).

La crescita del 3% del PIL con una diminuzione del 2% delle emissioni totali di gas serra è per definizione un *decoupling* assoluto, ma lo sarebbe anche una diminuzione delle emissioni dello 0,02%. Il punto è il seguente: il successo di una strategia di *decoupling* deve essere stabilito in relazione agli specifici obiettivi ambientali, e non semplicemente in un astratto *decoupling* come spesso descritto negli studi analizzati. Per essere efficace il *decoupling* deve riguardare sia l'uso di risorse che l'impatto sull'ambiente, e in entrambe le dimensioni essere non solo assoluto, globale e permanente ma anche sufficientemente rapido. Sebbene sia difficilmente misurabile, il *decoupling* deve essere considerato sufficientemente rapido se il punto di disaccoppiamento assoluto viene raggiunto prima di oltrepassare soglie di danno irreversibili.

Il cambiamento climatico fornisce un buon esempio di soglia irreversibile per un *decoupling* assoluto. Con un *Carbon Budget* globale di 580 GtCO₂ [IL BILANCIO CHE INDICA, TOLTA LA PERCENTUALE ASSORBITA DA TERRA E OCEANI, LA QUANTITÀ DI CO₂ CHE POSSIAMO ANCORA EMETTERE IN ATMOSFERA SENZA SFORARE LA SOGLIA DEI 1,5 °C DI AUMENTO DELLA TEMPERATURA GLOBALE], che va assottigliandosi attualmente di 42 GtCO₂ all'anno, rimangono solo dodici anni all'attuale tasso di emissioni. Raggiungere nel 2040 il livello zero di emissioni antropiche, necessario per contenere con buona approssimazione l'aumento di temperatura a 1,5°C, richiede una diminuzione annuale almeno del 5% delle emissioni attuali, cioè una riduzione di 8,2 GtCO₂ all'anno. Seguendo questa traiettoria il budget durerà 20 anni e le emissioni saranno azzerate alla fine

del periodo – con una diminuzione del 45% delle emissioni come obiettivo transitorio nel 2030 (IPCC, 2018). Alla luce di questi limiti, anche la diminuzione di emissioni raggiunta nei casi nazionali di maggior successo di *decoupling* assoluto è ben distante dall'essere sufficiente per evitare che il riscaldamento globale superi la soglia critica.

L'urgenza non riguarda solo gli impatti sull'ambiente ma anche l'uso delle risorse. La preservazione delle risorse non rinnovabili è un tema di equità intra- e intergenerazionale. Ogni risorsa non rinnovabile impiegata in un luogo sarà una risorsa non disponibile in un altro, ed ogni risorsa non riciclabile utilizzata oggi è una risorsa che non sarà disponibile domani. Così per le risorse rinnovabili, la soglia di consumo sostenibile è data dalla velocità di ricostituzione di quella risorsa. Quando UNEP (2014) conclude il suo report affermando che "*il decoupling assoluto della crescita economica dall'uso di risorse è possibile*" vogliamo sottolineare che sono in gioco l'ampiezza e la tempistica di questo disaccoppiamento piuttosto che la sua mera esistenza statistica. Il *decoupling* deve essere sufficientemente ampio nei paesi ricchi per liberare lo spazio ecologico necessario per la produzione e il consumo nelle regioni dove i bisogni primari non sono soddisfatti. Il fatto che ci sono ancora [centinaia di] milioni di persone che non hanno accesso ai mezzi di sussistenza pone maggiore pressione sulle nazioni ricche per ridurre il più possibile il loro impatto sull'ambiente e lasciare il più ampio margine alle comunità vulnerabili. Il *decoupling* nei paesi ricchi può essere considerato sufficientemente ampio se riesce a compensare il crescente impatto ecologico delle nazioni povere continuando ad agire per sganciare in modo assoluto e permanente la crescita economica globale dall'impatto ambientale ad un ritmo tale da evitare il superamento delle soglie di sicurezza.

Il *decoupling* sta avendo luogo?

L'obiettivo di questo lavoro è di verificare la validità dell'ipotesi del disaccoppiamento alla luce delle ricerche empiriche sinora svolte. Per farlo, abbiamo condotto una revisione complessiva della letteratura di studi empirici che hanno messo alla prova l'ipotesi del *decoupling*. Prima di immergerci in questa analisi vale la pena ricordare come gli scienziati siano arrivati da principio a parlare di *decoupling*. Negli anni '90 diversi economisti (Grossman e Krueger; Panayotou; Shafik e Bandyopadhyay) hanno svolto ricerche empiriche che li hanno portati a credere che la crescita economica fosse correlata negativamente con l'impatto sull'ambiente. Tale impatto appariva crescere all'inizio ma poi diminuire con un andamento cosiddetto "a campana rovesciata", cui si fa riferimento come "Curva Ambientale di Kuznets". Questa teoria ha avuto pesanti conseguenze politiche poiché significava che una nazione potesse crescere trovando la strada per uscire dalla crisi ecologica. Tale ipotesi, definita dall'UNEP il "*decoupling attraverso la maturazione*", ha ispirato un grande numero di studi nei decenni successivi, volti ad individuare la curva di Kuznets per variabili ambientali selezionate. Oggi, l'asserzione che il *decoupling* possa realizzarsi in modo quasi naturale ha perso sostegno sia in campo scientifico che politico, essendo riconosciuto che i cambiamenti strutturali dell'economia che conducono al *decoupling* sono determinati da scelte politiche.

Lo studio qui condotto risulta al momento il più comprensivo e aggiornato, sebbene non possa definirsi sistematico ed esaustivo in quanto i lavori esaminati sono in numero limitato e per lo più riferiti ai paesi sviluppati.

Quando si parla dell'uso aggregato di materiali, l'evidenza è chiara e indiscutibile: non c'è stato un *decoupling* assoluto della crescita economica dall'utilizzo di risorse. Infatti la quantità globale di risorse utilizzate è in crescita e il PIL globale è ancora strettamente correlato all'impiego di risorse estratte. L'estrazione globale di materiali è cresciuta di un fattore 12 tra il 1900 e il 2015 con una accelerazione costante dall'inizio del 21° secolo. Soltanto negli ultimi 40 anni l'utilizzo delle risorse è triplicato. L'impronta materiale delle nazioni OSCE è aumentata di circa il 50% tra il 1990 e il 2008 in stretta relazione con l'attività economica, per cui ad una crescita del PIL del 10% è corrisposto un aumento dell'impronta materiale del 6%. Infine, l'intensità materiale del PIL pro capite è cresciuta del 60% tra il 1900 e il 2009.

Gli obiettivi [di riduzione] dell'impronta globale dei materiali trovano meno consenso di quelli per il carbone, sebbene recentemente si stia arrivando all'ipotesi di un tetto massimo sul consumo dei materiali stimato in 50 miliardi di tonnellate all'anno, per rimanere all'interno di una sostenibilità ecologica. Nel 2009 il consumo era già oltre la soglia, a 67,6 miliardi di tonnellate. Un fatto sorprendente che emerge da tutti gli studi

analizzati è che mentre l'economia mondiale si è gradualmente dematerializzata per un lungo periodo, questa tendenza si è invertita negli ultimi due decenni.

Il caso dell'energia è meno netto di quello dei materiali. Gli studi divergono nelle loro conclusioni e sono meno comparabili in quanto misurano il consumo di energia in modo diverso e su diverse scale geografiche. Studiando il consumo finale di energia su base territoriale nel periodo 1971-2004, Luzzatti e Orsini (2009) non hanno trovato alcuna evidenza di una curva ambientale di Kuznets, né a livello globale né per singola nazione. Hanno riscontrato invece che la relazione tra il PIL pro capite e il consumo di energia è stabile ed entrambi crescono in modo monotono. Semeniuk (2018) utilizza dati di 180 paesi relativi al periodo 1950-2014 e trova che l'intensità primaria di energia è coerente con la crescita.

Wu e al. (2018) hanno trovato tre casi di *decoupling* assoluto (USA, UK e Francia) tra il 2005 e il 2015 utilizzando indicatori basati sulla produzione (non specificando quanto è diminuito realmente il consumo di energia) e uno di *decoupling* relativo in Germania. Wood e al. (2018) hanno trovato un trend di *decoupling* globale ma relativo nel periodo 1995-2011 tra consumo finale e PIL.

Anche qui, come per i materiali, il *decoupling* in una regione spesso nasconde un *recoupling* da qualche altra parte. Moreau e Vuille (2018) verificano questa ipotesi utilizzando una analisi di input e output per la Svizzera nel periodo 2000-2014. Risultato: la diminuzione dell'intensità finale di energia nel paese appare compensata dall'aumento di energia connessa alle importazioni.

L'illusione non è soltanto geografica ma anche talvolta settoriale. Utilizzando dati relativi ai diversi settori per 18 paesi UE nel periodo 1995-2008, Naqvi e Zwickl (2019) hanno riscontrato che, sebbene un *decoupling* medio relativo sia stato registrato in quasi tutti i settori, nessun paese è riuscito a sganciare in modo assoluto l'uso finale di energia dal PIL dell'intera economia.

Infine, il *decoupling* che avviene in un certo periodo non garantisce che venga mantenuto nel tempo. Questa effimera interruzione della correlazione è spesso causata da crisi economiche e ristrutturazioni politiche e non dall'introduzione costante di tecnologie o pratiche più efficienti.

Il disaccoppiamento può essere osservato su diverse misurazioni dell'uso di acqua, inclusa l'estrazione dell'acqua, che misura la quantità di acqua prelevata da una sorgente naturale come un lago o un fiume, e il consumo di acqua che misura l'acqua utilizzata che non verrà più riportata verso la sorgente e quindi non sarà più disponibile per il riuso. L' UNEP ha pubblicato recentemente un rapporto intitolato "*Decoupling economic growth from water use and water pollution*"(2015) nel quale si sostiene che, utilizzando degli indicatori territoriali di consumo di acqua, molti paesi hanno raggiunto una forma relativa di disaccoppiamento e così anche il mondo nella sua totalità dagli anni '40. Nonostante questi numeri sembrino promettenti, il disaccoppiamento relativo dall'acqua e i guadagni dell'efficienza sono stati più che annullati dall'espansione delle attività economiche, con il risultato di un incremento netto del consumo di acqua. Per esempio paesi o aree più industrializzate possono infatti ridurre il consumo totale di acqua diminuendo la produzione agricola. Ma la diminuzione della produzione agricola in un luogo richiede che si incrementi da qualche altra parte e anche una industrializzazione con una maggiore efficienza nel consumo di acqua spesso risulta in un incremento netto nel consumo industriale di acqua. Anche miglioramenti nel settore agricolo nel consumo di acqua possono alla fine avere un effetto "rimbalzo" con il risultato di avere un incremento netto dei consumi.

Proprio come visto per i materiali, è sufficiente dare uno sguardo al consumo globale per rendersi conto che i miglioramenti nell'efficienza sono praticamente annullati dall'aumento dei volumi. A livello globale si stima che il consumo umano di acqua è aumentato del doppio tra il 1960 e il 2010, la maggior parte del quale è da attribuire all'espansione dell'irrigazione dei campi. Un'altra osservazione deve essere fatta con il consumo di acqua incorporato nel commercio. La maggior parte degli studi esaminati sull'acqua non tengono conto del cosiddetto consumo di acqua virtuale che è l'acqua incorporata nei prodotti (p.e. un chilo di carne di manzo richiede circa 15.000 litri di acqua lungo l'intera catena di produzione). I paesi più ricchi diminuiscono il consumo nazionale di acqua importando prodotti che richiedono quantità notevole di acqua dall'estero, trasferendo quindi in realtà il loro impatto sul consumo di acqua e le relative incidenze ambientali ad altri paesi.

L'importazione di servizi che richiedono un elevato consumo di acqua, così come di materie prime ed energia può creare le condizioni per instabilità politica. Per quanti si preoccupano del rischio globale connesso

all'acqua e delle implicazioni per una equa distribuzione, il sacrificio di un bacino idrico per la salvezza di un altro va contro la comprensione e la promessa di un *decoupling* globale dal consumo di acqua.

Il caso dell'anidride carbonica è il più ambiguo di tutti e quindi richiede una discussione dettagliata. La maggior parte degli studi hanno trovato un *decoupling* relativo nei paesi industrializzati da più tempo – per esempio in 79 paesi nel periodo dal 1970-2008 (Lonhofer, Jorgenson, 2017). Qualche studio cita anche il caso di un *decoupling* assoluto, tuttavia limitato a brevi periodi, in località specifiche e spesso utilizzando indicatori territoriali (cioè basati sulla produzione). In conclusione, la letteratura esaminata converge nell'affermare che non c'è mai stato un *decoupling* assoluto di CO₂ dalla crescita economica.

Ma entriamo nel dettaglio iniziando con la letteratura sulla Curva Ambientale di Kuznets. Le tre meta-analisi che abbiamo esaminato non hanno evidenziato nessuna prova di *decoupling* nel periodo 1995-2005, a parte alcune eccezioni, per esempio per gas serra prodotti a livello locale (SO₂, NO_x, CO, NO₂ e SO_x) ma il punto più alto della curva [DI KUZNETS] era collocato a 37.000 \$ di Pil pro capite, di gran lunga al di sopra del Pil pro capite medio globale di 2.000 \$, quindi praticamente negligibile se l'obiettivo è rimanere al di sotto di 1,5°C di riscaldamento globale. Koirala e al. (2011) hanno utilizzato oltre 900 osservazioni da 103 studi per la loro meta analisi e non sono riusciti a trovare alcuna evidenza di una Curva di Kuznets per l'anidride carbonica. Lo studio più recente esaminato (2019) conclude: *“se il decoupling ha avuto luogo in termini assoluti in pochi paesi, l'andamento dei paesi più sviluppati mostra che le emissioni crescono o si stabilizzano a livelli elevati. Difficilmente si può sostenere che vi sono abbastanza evidenze empiriche a favore di una Curva di Kuznets per le emissioni di CO₂”*. Un *decoupling* assoluto può essere riconosciuto solo restringendo l'ambito di osservazione, ovvero il periodo di osservazione o il perimetro geografico.

Quattro considerazioni su questi risultati. Primo, se pure si è avuto un *decoupling* assoluto, questo rimane comunque infinitesimale. Con un 1,8% di minori emissioni a fronte di una crescita del Pil di 1,16%. L'effetto maggiore è stato registrato in Danimarca. A parte il fatto che questo possa essere un risultato incoraggiante, secondo lo IPCC (2018) esso dovrebbe essere tre volte più rapido ed avvenire simultaneamente in tutti i paesi per rimanere all'interno di 1,5°C di aumento della temperatura. Tutto ciò richiede una accelerazione degli sforzi. Ma gli studi rivelano una tendenza opposta: la velocità del *decoupling* nei paesi ad alto reddito sta diminuendo e il complesso delle misure facilmente adottabili viene progressivamente svuotato.

Secondo, se il *decoupling* è stato evidenziato in un determinato periodo di tempo, è molto probabile che si annulli estendendo l'arco temporale di osservazione.

Terzo, molti di questi studi tengono conto solo di misure basate sulla produzione. Per contro, quelle basate sul consumo arrivano a risultati considerevolmente differenti. Il più recente piano a lungo termine per il clima della Commissione Europea (2018) afferma che l'Europa è riuscita a disaccoppiare la crescita economica dalle emissioni di gas serra negli scorsi decenni. Però questo dato include solo le emissioni territoriali e non quelle “incorporate” nel commercio internazionale, basate sul consumo.

Quarto, si deve tenere in considerazione la crisi finanziaria globale del 2007-2008 e la conseguente crisi dell'Eurozona per le loro conseguenze sull'attività economica e quindi sulle emissioni. Desta poca sorpresa infatti una diminuzione delle emissioni durante la crisi.

Per concludere, abbiamo analizzato un rapporto ampiamente diffuso dai media nel 2016, pubblicato dal *World Resource Institute* col titolo *“The roads to decoupling: 21 countries are reducing carbon emission while growing GDP”*. Per la precisione, lo studio ha evidenziato un *decoupling* assoluto dal Pil delle emissioni territoriali di gas serra dal 200 al 2014 in 21 paesi. Anche prendendo tali risultati con il loro valore nominale, questo *decoupling* rimarrebbe troppo piccolo. Secondo le loro stime, il paese più virtuoso sarebbe la Danimarca con un taglio del 30% nel periodo indicato. Il dato di per sé sembrerebbe impressionante ma si tratta in realtà di una diminuzione del 2,5% all'anno, che è la metà di quanto richiesto dall'IPCC. La riduzione media dei 21 paesi in 14 anni risulta dell'1,15% all'anno con un totale di 1005 Mt di minori emissioni. Suddividendo per i 21 paesi, si ha per ciascuno 48 Mt di minori emissioni, corrispondenti a 3,4 Mt all'anno. Confrontiamo questo dato con la raccomandazione dell'IPCC di 8,2 GtCO₂ all'anno; suddividendo per i 195 paesi dell'ONU, risulta che la diminuzione minima richiesta per ciascun paese è di 42 Mt all'anno, ovvero un valore dodici volte superiore al valore del caso di maggior successo descritto nel rapporto del *World Resource Institute*.

Questi numeri diminuiscono fortemente quando si vanno a considerare le emissioni legate all'impronta ecologica, ovvero considerando indicatori basati sul consumo. Tre paesi escono subito dalla lista (Slovacchia, Svizzera e Ucraina). Lo sforzo di minori emissioni della Danimarca passa dal 30 al 12%. La diminuzione media dei 20 paesi (per l'Uzbekistan non vi sono dati per l'impronta ecologica) si riduce al 15,75% nell'intero periodo, ovvero uno 0,55% all'anno, con un risparmio di emissioni di 706,7 MtCO₂. Occorre infine ricordare che queste sono le nazioni che hanno avuto il maggior successo in termini di riduzione delle emissioni, mentre il resto del mondo segue un trend di maggior Pil-maggior emissioni.

Queste cifre vanno lette con cautela, poiché il calcolo delle emissioni legate all'impronta ecologica è solo all'inizio ed estremamente complesso. Considerando l'assenza di dati e la sofisticazione del modello attuale, è più probabile che le emissioni vengano sottostimate che non il contrario. Per esempio le emissioni del trasporto aereo e marittimo vengono sistematicamente escluse dai conteggi nazionali. Nella UE a 28 (più Norvegia, Islanda e Svizzera) le emissioni del solo trasporto aereo sono state stimate in 151Mt nel 2014; sebbene siano cresciute solo del 5% dal 2000 ci si attende che crescano del 45% nel 2035. Assumendo emissioni per 150Mt all'anno nel periodo 2000-2014 si arriva a 2100Mt, ovvero il triplo delle emissioni risparmiate dai 21 paesi del World Resource, ricalcolate secondo il metodo dell'impronta ecologica.

Ci sono pochi studi empirici che hanno provato a verificare il *decoupling* scegliendo come variabile ambientale la misurazione del suolo. Nella letteratura vi sono differenti definizioni per descrivere l'uso di suolo. Secondo Weinzettel (2013) è "*l'uso del suolo e degli oceani per portare al consumo finale, attraverso le catene internazionali di fornitura, prodotti dell'agricoltura, cibo e legname*". Un'altra definizione tiene conto dell'indice di Appropriazione Umana della Produzione Primaria Netta (HANPP), ovvero le emissioni totali prodotte dalla crescita delle piante. Altri studi si riferiscono all'uso del suolo attraverso variabili singole come le terre coltivate o le foreste.

La letteratura disponibile non fornisce alcuna indicazione circa un *decoupling* assoluto tra attività economica e uso del suolo ma solo alcuni esempi di relativo. Globalmente l'impronta ecologica è aumentata di pari passo alla crescita economica senza mostrare alcun segno di *decoupling*. Prendiamo per esempio le terre coltivate. A livello globale le terre coltivate per la produzione di cibo sono aumentate del 32% dal 1963 al 2005, per lo più per la crescente domanda di calorie animali, quest'ultima fortemente influenzata dall'aumento del reddito pro capite. Si è stimato che per ogni raddoppio del reddito l'impronta sul suolo cresca del 35%.

Ma l'uso del suolo non è correlato solo al reddito bensì anche al trasferimento netto di suolo, motivo per il quale gli indicatori dell'impronta ecologica sono così importanti per capire la relazione tra uso del suolo e attività economica. Quando si tiene conto del commercio, si vede che i paesi a reddito più elevato utilizzano pro capite più suolo biologicamente produttivo dei paesi a basso reddito. L'impronta sul suolo dei paesi EU era (2013) di 2,5 ettari globali (gha) a persona rispetto alla media globale di 1,2 gha ed una biocapacità globale di 1,8 gha a persona. Per ogni reddito aggiuntivo pro capite di 10.000\$, da 0,1 a 0,4 ettari globali vengono trasferiti fuori dal paese consumatore. In totale il 60% del suolo è utilizzato per le esportazioni laddove i paesi ad alto reddito sono i più grandi importatori netti. Per esempio, il 33% dell'uso totale di suolo destinato al consumo negli USA ha luogo in altri paesi – questo rapporto cresce di molto per l'UE (più del 50%) e il Giappone (92%).

La produzione agricola è connessa alla pressione sull'ambiente e il trasferimento di suolo tramite il commercio internazionale significa che vengono trasferiti anche i costi ecologici. L'importazione in UE di prodotti agricoli e bestiame ha costituito una causa significativa di deforestazione nel periodo 1990-2008; per esempio più del 90% dell'impatto sulla biodiversità ha avuto luogo in altri paesi per il tramite delle importazioni. Le associate variazioni nell'uso del suolo produrranno secondo le previsioni un incremento delle emissioni di gas serra, un quarto delle quali già ora proviene dall'uso del suolo e dalle modifiche dell'uso del suolo. L'uso di pesticidi, erbicidi e fungicidi non diminuisce quando i paesi raggiungono un alto livello di reddito, ma restano saldamente associati alla produzione alimentare. La relazione tra attività economica e uso del suolo richiama anche altre problematiche ambientali, quali la perdita di biodiversità, la scarsità di acqua, il cambiamento climatico e il consumo energetico.

Mentre si sono fatti grandi progressi per limitare l'inquinamento delle acque da parte della produzione industriale ed agricola, la contaminazione dell'acqua rimane un problema globale che contribuisce ad

aumentare l'inquinamento delle acque. La maggior parte dell'inquinamento dell'acqua è causato dalla produzione di materie prime industriali ed agricole destinate al commercio regionale e globale. Il concetto di flusso di ritorno, dato dalla differenza tra il prelievo e il consumo, è di importanza critica per la nostra comprensione dell'inquinamento dell'acqua. Il flusso di ritorno concentra l'impatto dell'inquinamento sulle produzioni che dipendono dalla disponibilità di acqua. La depurazione del flusso di ritorno si consegue con migliorie nelle tecnologie di pulizia nella produzione, spesso attivate dalla introduzione ed applicazione di norme ambientali. Tali tecnologie hanno dei costi elevati, il che può stimolare il trasferimento delle produzioni in aree dove i regolamenti ambientali per l'inquinamento delle acque sono meno stringenti o scarsamente applicati. Produzioni più convenienti nelle economie emergenti continuano ad essere associate ad alti livelli di inquinamento dell'acqua. Il trasferimento delle produzioni tossiche e ad alto consumo di acqua può produrre, a livello locale, regionale o anche nazionale un *decoupling* della crescita economica dall'impatto sulla qualità dell'acqua nei bacini, ma, su scala globale, il problema rimane invariato o addirittura peggiora.

L'accumulo di azoto e fosforo, i due principali macro-nutrienti per la produzione agricola, porta alla eutrofizzazione e alla morte biologica di intere zone negli ecosistemi acquatici, con una espansione in crescita esponenziale sin dal 1960. L'azoto inoltre viene rilasciato nell'atmosfera, dove reagisce ed ha un effetto serra superiore a quello dell'anidride carbonica. Le percentuali di fertilizzanti a base di N e P impiegati per unità di terreno agricolo sono aumentate di 8 volte e 3 volte, rispettivamente, dal 1961. Inoltre, recenti analisi sulla domanda di fertilizzanti hanno mostrato che la richiesta di fertilizzanti azotati è in crescita anche nei paesi ricchi, Nord America ed Europa. Il flusso globale di azoto e fosforo di origine biochimica ha oltrepassato i loro limiti planetari, indicati nel 2009 per definire i confini ecologici entro i quali l'umanità può operare in modo sicuro. Dei nove confini originalmente proposti, tre sono stati superati proprio da azoto e fosforo, oltre che dal cambiamento climatico. Ciò è dovuto principalmente alle colture e agli allevamenti intensivi, che producono inquinamento atmosferico da azoto ed eutrofizzazione delle aree marine costiere e zone biologicamente morte. I residui dei nutrienti agricoli costituiscono il fattore principale dell'inquinamento delle acque superficiali e di falda, molto più che le aree urbane. Uno studio che ha esaminato i cambiamenti del ciclo dell'azoto e del fosforo in agricoltura, indotti dall'allevamento animale nel periodo 1900-2000, ha mostrato che l'input di azoto e fosforo di origine antropica è quintuplicato nel periodo e le previsioni per il 2050 indicano un ulteriore incremento del 20% per l'azoto e del 50% per il fosforo. La richiesta di prodotti animali e proteine continuerà probabilmente a crescere con la maggiore ricchezza delle nazioni, causando quindi anche una domanda crescente per l'uso dei nutrienti in agricoltura.

La biodiversità è difficile da misurare, ma né gli indicatori singoli né quelli aggregati sullo stato della biodiversità mostrano miglioramenti significativi rispetto alle percentuali di declino, mentre tutti gli indicatori di pressione evidenziano un trend in aumento, nessuno dei quali con una diminuzione di velocità. L'ultimo rapporto della IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, 2019) ha evidenziato come tutti i fattori di perdita di biodiversità siano in aumento, che è in atto un pericoloso declino di biodiversità senza precedenti, che la velocità di estinzione delle specie sta accelerando e che la risposta globale a tutto ciò è insufficiente.

La letteratura empirica sulla Curva di Kuznets della crescita economica in relazione alla biodiversità è scarsa ma significativa. La prima meta-analisi ha preso in esame 121 osservazioni, raccolta da 25 studi, e 11 variabili ambientali, inclusa la deforestazione. Per la deforestazione, utilizzata come indicatore secondario per la perdita di biodiversità, è stato ipotizzato un valore di reddito per il punto di inversione della curva tra i 5.000 e i 20.000 USD (ai prezzi del 1999). Koirala e al. (2011) hanno utilizzato circa 900 osservazioni da 103 studi e hanno disaggregato le misure di qualità ambientale in 12 variabili, per le quali non è stata osservata nessuna Curva di Kuznets né per la deforestazione né per il degrado ambientale/paesaggistico. Anche altri studi hanno escluso l'esistenza della Curva di Kuznets, sottolineando che i paesi più ricchi avrebbero la possibilità di investire maggiormente nella conservazione della biodiversità. Ancora peggiore è la conclusione dello studio di Asafu-Adjaye (2003) che rileva una relazione inversa tra crescita economica e diversità delle specie. Naidoo & Adamowicz (2001), utilizzando dati raccolti in oltre 100 nazioni, hanno studiato il rapporto tra il numero di specie a rischio e la crescita del reddito pro capite. Dopo aver diviso le specie in sette gruppi tassonomici (piante, mammiferi, uccelli, anfibi, rettili, pesci e invertebrati) hanno rilevato un *decoupling* assoluto solo per

gli uccelli. Per piante, anfibi, rettili e invertebrati la relazione era inversa, ovvero il numero di specie minacciate cresce con il reddito.

Alla luce di quanto esposto, si può concludere che non vi è evidenza empirica dell'esistenza di un *decoupling* del tipo descritto come necessario nella prima parte di questo rapporto, cioè assoluto, globale, permanente e sufficientemente rapido, delle pressioni ambientali (risorse e impatti) dalla crescita economica. Nei casi in cui è stato rilevato, per lo più relativi, ovvero locali o temporanei, esso è risultato ben al di sotto di quanto richiesto in ordine al raggiungimento degli obiettivi delle attuali politiche ambientali. Dopo questa estesa ricerca, è sicuramente possibile dire che il tipo di *decoupling* rivendicato dai sostenitori della "crescita verde" è essenzialmente una finzione statistica.

Comunque, anche se il successo della strategia di crescita verde non è visibile da nessuna parte, questa mancanza di prove empiriche non giustifica la dismissione completa dell'ipotesi del *decoupling*. Un adeguato livello di *decoupling* rimarrebbe possibile qualora la produttività delle risorse crescesse in modo sufficientemente più veloce, in modo globale e permanente, del Pil. Ciò potrebbe accadere, sostiene qualcuno, aumentando la copertura geografica del sistema di commercio delle emissioni [IL SISTEMA DELLE EMISSIONI (EMISSIONS TRADING SYSTEM O ETS IN INGLESE) È UNO STRUMENTO AMMINISTRATIVO UTILIZZATO DALL'UNIONE EUROPEA PER CONTROLLARE LE EMISSIONI DI INQUINANTI E GAS SERRA A LIVELLO INTERNAZIONALE ATTRAVERSO LA QUOTAZIONE MONETARIA DELLE EMISSIONI STESSE ED IL COMMERCIO DELLE QUOTE DI EMISSIONE TRA STATI DIVERSI, PER IL RISPETTO DI CIASCUNO DI QUESTI DEI VINCOLI AMBIENTALI IMPOSTI DAL PROTOCOLLO DI KYOTO] (Stiglitz e al. 2017) in combinazione con la riduzione dei sussidi per le fonti fossili (Schwanitz e al., 2014), investimenti diretti in infrastrutture sostenibili (Guivarch e Hallegate, 2011) ed una serie di altre misure per il *decoupling*. Ciò che è in discussione è l'impatto di una serie di fattori, tendenze e fenomeni che possono rendere possibile o impedire il verificarsi di un tale *decoupling*. Mettere a confronto, in prospettiva, l'ipotesi del *decoupling* con il potenziale impatto di questi fattori è lo scopo del capitolo seguente.

È probabile che il *decoupling* si verifichi in futuro?

Avendone cercate le prove, abbiamo trovato che il tipo di *decoupling* che sarebbe necessario per mitigare efficacemente ed equamente il cambiamento climatico ed affrontare le altre crisi ambientali non è visibile da nessuna parte. Peraltro, l'assenza di evidenze empiriche non è sufficiente per dismettere completamente l'ipotesi del *decoupling*, che qualcuno sostiene che potrebbe invece aver luogo in futuro con un corretto paniere di misure politiche. La terza parte di questo studio è dedicata a verificare la validità di questa posizione. La nostra conclusione è questa: il verificarsi di un adeguato disaccoppiamento (cioè assoluto, permanente e sufficiente) è estremamente improbabile nel prossimo futuro.

Crescita delle spese energetiche.

Quando si estraggono delle risorse, le opzioni più economiche sono le prime ad essere usate, il che significa che la maggior parte delle risorse energetiche e materiali più prontamente disponibili mobilizzate dall'economia sono già state sfruttate. L'estrazione degli *stock* rimanenti quindi diventa un processo più complesso, richiederà un maggior impiego di tecnologia, più socialmente impattante e quindi in generale più costoso, per il quale sarà necessario una maggiore quantità di materiali ed energia, più inquinante e, in definitiva, avrà come risultato la crescita del degrado ambientale totale per unità di risorsa estratta. Questo è il caso dei metalli a bassa concentrazione e dei depositi di minerali, delle sabbie bituminose, dei pozzi profondi off-shore, degli *stock* situati nelle regioni polari o vicino a città densamente popolate, come i gas bituminosi nelle vicinanze di Parigi. L'aumento dei costi energetici di estrazione implica che una maggiore quantità di risorse intermedie sono necessarie per estrarre le risorse richieste per la produzione della stessa quantità di merci e servizi, cioè l'esatto contrario del *decoupling*.

All'argomento degli oneri energetici talvolta si controbatte insistendo che l'energia gioca solo un ruolo minore nelle attività economiche. E infatti, da un punto di vista monetario, il settore energetico spesso occupa solo una piccola frazione del PIL. Qui il senso comune è forse più utile dell'economia: la velocità media

di un'auto (la crescita del PIL) può sembrare che determini il suo consumo di benzina (l'uso di energia), ma non si può ragionevolmente assumere che un'auto possa viaggiare senza di essa.

Parlando di risorse energetiche, l'efficienza dell'estrazione può essere quantificata tramite il concetto di EROI (o EROEI), che sta per *Energy Return on Energy Invested*. EROI è il rapporto tra la quantità di energia ottenuta da una risorsa e la quantità di energia impiegata per estrarla: è la misura dell'output netto di energia. Se il rapporto è 1:1, pe.es. del petrolio, vuol dire che per estrarre un barile di petrolio è necessaria l'energia equivalente ad un barile di petrolio; un rapporto 10:2 significa che sono necessari 2 barili di petrolio per estrarne 10. Più basso è l'EROI, più alto è il costo o l'onere energetico. Un EROI in diminuzione indica che una crescente porzione della produzione energetica deve essere reimpiegato per ottenere energia, ovvero l'aumento dell'uso di risorse e maggiore impatto sull'ambiente.

Molte ricerche affermano che alti oneri energetici sono associati con basse crescite economiche, o anche che il PIL non può crescere oltre una certa soglia di oneri energetici relativi (si va dal 5% all'11%). La logica è semplice: se l'onere energetico supera la soglia, inizia a pesare come fattore che limita l'impiego di lavoro e capitale.

Di particolare interesse è l'EROI dei combustibili fossili, che descrive anche quante emissioni di gas serra vengono generate da un'economia basata sui combustibili fossili per ciascuna unità aggiuntiva di energia da fonte fossile (in tonnellate o barili) – si potrebbe parlare di *costo climatico* per l'estrazione di un barile. Poiché l'intensità di emissioni per questo consumo è fissata (la combustione di un barile di petrolio genera circa 120 Kg di anidride carbonica), un EROI decrescente implica un aumento delle emissioni per unità di energia primaria utilizzata (le emissioni aggiuntive ai 120 Kg corrispondenti all'energia extra impiegata per estrarre un barile). Secondo alcune stime l'EROI per la produzione totale di petrolio e gas sarebbe cresciuto da 23:1 nel 1992 a 33:1 nel 1999 per poi discendere a 18:1 nel 2005, dando credito alla teoria che la maggior efficienza ottenuta con le migliori tecniche è stata nel tempo annullata dallo svuotamento [DELLE RISERVE].

Energia da fonti fossili a basso prezzo e apparentemente illimitata ha fatto sì che la società ignorasse l'importanza del contributo del mondo biofisico al processo economico così come i limiti potenziali alla crescita.

Alcuni autori attualmente parlano di un "*energy sprawl*", ovvero della inevitabile espansione delle strutture richieste per l'accesso all'energia e la crescente quota del PIL assorbita da queste. Tenendo conto sia delle energie rinnovabili che da fonti fossili, alcuni autori hanno rilevato che l'EROI del sistema energetico globale è passato dal 7:1 del 1995 al 6:1 del 2018.

Un primo esempio del processo di incremento dei costi marginali riguarda l'estrazione di tipi differenti di petroli non convenzionali. Sabbie e scisti bituminosi hanno un EROI medio di 7:1 e 4:1 ma probabilmente peggiore. L'ostacolo principale che si pone nell'esaminare le implicazioni sociali di una diminuzione dell'EROI risiede nel fatto che non si hanno delle conoscenze empiriche adeguate per stabilire come esso sia collegato, direttamente o indirettamente, alla capacità media di un cittadino di ottenere benessere.

Un altro esempio è fornito dal carbone. Lasciando da parte per un attimo la questione dell'inquinamento, le riserve globali di carbone suggeriscono che, in termini di volume, esso è ancora relativamente abbondante. Peraltro, non tutti i tipi di carbone sono uguali per qualità, L'antracite, che è quello più ricco in termini di contenuto energetico, sta diventando scarso, spingendo le aziende del carbone ad estrarre carboni bituminosi e sub-bituminosi meno densi di energia.

Si potrebbe obiettare che la crescita verde sarebbe basata solo sulle energie rinnovabili, quindi l'EROI dei combustibili fossili sarebbe irrilevante. Supponiamo per un attimo che sia possibile rimpiazzare i combustibili fossili con energie rinnovabili sia per i materiali (trovando abbastanza minerali e terreni per la costruzione delle relative infrastrutture) che per gli aspetti socioeconomici (facendo sì che la transizione completa verso le rinnovabili incontri accettazione sociale e gli investimenti necessari). Anche così, secondo Murphy e al. (2011) l'EROI delle energie rinnovabili (al di sotto di 20:1) è ancora significativamente al di sotto dei primi giorni dei combustibili fossili. Capellàn-Perez e al. (2018) hanno simulato lo scenario che si avrebbe con un EROI medio per un incremento di energie rinnovabili dal 15 al 30% (1°scenario) e dal 15 al 50% (2° scenario) nel 2050. Nel primo scenario EROI scende dall'attuale 6:1 a 5:1 e arriva a 3:1 nel secondo scenario. Se i costi

energetici giocano un ruolo importante nella dinamica della crescita economica, ciò vuol dire che le energie rinnovabili sono fundamentalmente incapaci di alimentare un'economia così velocemente come le fossili.

In modo simile, e per le stesse ragioni, il ruolo dei costi marginali crescenti, ovvero il principio *best-first*, si applica all'estrazione di materiali. Una serie di studi ha già mostrato che la qualità dei minerali degli elementi essenziali sta declinando. Un minor grado di contenuto di minerale significa maggior sovraccarico e danno ambientale. Una minor concentrazione dei minerali vuol dire un maggior volume di minerale grezzo che deve essere estratto e movimentato per estrarre la stessa quantità di minerale, e con più energia. Nel primo report UNEP, si stima che, in media, l'estrazione di minerali al giorno d'oggi richiede il triplo della materia di un secolo fa.

Ciò è particolarmente problematico quando si tratta di tecnologie "verdi". Infatti l'intensità dei materiali per le energie rinnovabili è più alta di quella per i combustibili fossili – 1 KWh di energie rinnovabili richiede una quantità di metalli 10 volte superiore a quella necessario per 1 KWh di energia da fonti fossili. Si aggiunga a questo un incremento della produzione ed emerge il seguente circolo vizioso: più energia sarà necessaria per estrarre più minerali necessari per costruire più infrastrutture energetiche, parte della quale sarà impiegata per fornire l'energia addizionale necessaria per estrarre più materiali e così via. Le energie rinnovabili possono mitigare qualche impatto sull'ambiente ma non possono averla vinta sulla scarsità di risorse materiali.

Ciò che viene spesso dimenticato è che la crescente scarsità di materiali si traduce anche in una ulteriore espansione della cosiddetta *commodity frontier*, cioè l'avanzamento verso aree precedentemente intatte, spesso a spese delle comunità indigene e della salute degli ecosistemi. Esempi attuali si possono trovare nell'estrazione di sabbie bituminose nello stato di Alberta, in Canada, del petrolio nella foresta pluviale peruviana e in un parco nazionale in Ecuador. Se questi esempi riguardano le fonti fossili, la ricerca dei minerali necessari per costruire le infrastrutture per le energie rinnovabili costituisce una minaccia analoga alla diversità biologica e sociale.

Effetto "rimbalzo"

L'aumento di efficienza nell'uso delle risorse è probabilmente l'argomento più utilizzato a difesa del *decoupling*. In ogni caso, ogni azione che ottiene un risparmio di risorse è soggetta ad effetti di rimbalzo (*rebound*), che è la differenza tra il risparmio atteso e quello effettivo dopo un miglioramento dell'efficienza. Gli effetti rimbalzo si manifestano in molte forme, a seconda se le risorse liberate portino alla crescita dei consumi dello stesso prodotto o servizio (*direct rebound*), oppure siano riallocate altrove (*indirect rebound*) ovvero se i cambiamenti strutturali dell'economia nel suo complesso producano maggior consumo (*structural rebound*).

Il primo caso si applica in modo particolare ai beni di uso comune, laddove una diminuzione del prezzo si traduce in consumi più elevati. Per esempio, usare più spesso, a maggior velocità o su percorsi più lunghi una automobile più efficiente si traduce nel "rimbalzo" del carburante risparmiato nel maggior utilizzo dell'auto.

Il *direct rebound* può interessare anche la produzione, per esempio quando l'acquisto di più macchine con maggiore efficienza energetica causa una produzione aggiuntiva di quelle stesse macchine (*output effect*).

Nel secondo caso, se per esempio si utilizza un veicolo più efficiente o si decide di utilizzarlo meno, si può decidere di impiegare il denaro risparmiato in altri prodotti o servizi che hanno un impatto ambientale (p.es. un viaggio in aereo verso una località esotica) oppure investirlo in prodotti finanziari problematici (per es. collegati all'estrazione di risorse fossili). Per i produttori, i profitti risultanti dalla maggiore produttività potrebbero essere reinvestiti nell'espansione della capacità produttiva. In una economia globalizzata, dove con il denaro si può comprare praticamente di tutto, ogni potere d'acquisto è in pratica un potere d'inquinamento. Anche se gli euro vengono spesi per prodotti verdi, e anche se i venditori di questi prodotti spendono i loro euro in modo sostenibile, in qualche punto della catena è probabile che questi euro vengano spesi in modo da inquinare. Anche gli euro non spesi potranno causare un consumo di risorse e inquinamento nel momento in cui la banca li concede in prestito per finanziare nuovi investimenti. L'unico modo di evitare un tale effetto sarebbe quello di modificare il sistema economico stesso (abbandonare il mercato delle *commodities*, localizzare, usare monete di scopo come valuta complementare ecc.).

Il terzo tipo di rimbalzo si manifesta a livello macroscopico (*economy-wide*). Per esempio, i miglioramenti dell'efficienza dei motori a combustione interna hanno aiutato a rendere il trasporto privato efficace e a costi

contenuti ed è risultato nella ampia diffusione di questa tecnologia. La generalizzazione del trasporto automobilistico privato ha per contro influenzato la configurazione delle città e dei territori, producendo una più estesa configurazione spaziale che fa affidamento, e si basa, sull'utilizzo di auto private. Questa modifica su grande scala del sistema delle necessità ha come risvolto un consumo di energia enormemente più alto nel settore dei trasporti. In altre parole, automobili più efficienti rinforzano l'egemonia delle automobili a spese dei sistemi di trasporto più sostenibili come treni o biciclette. L'efficienza delle risorse può anche comportare una ristrutturazione dell'economia attorno ad attività con maggior impatto ambientale. Per esempio lo sfruttamento di miniere abbandonate può essere ripreso se nuove tecnologie lo rendono di nuovo profittevole economicamente, com'è per esempio il caso delle miniere d'oro dove anche i minerali di basso grado possono essere riprocessati.

Poiché gli effetti di rimbalzo indiretto e strutturale risultano più complessi, le ricerche empiriche si concentrano sugli effetti diretti, più semplici da misurare. Nell'uso di energia il rimbalzo è stimato in media dal 10 al 30%, mentre un rimbalzo del 100% appare inesistente. Altri studi valutano l'effetto al 15% per l'illuminazione, al 19% nel trasporto aereo ma al 96% per il trasporto privato. Il consumo di acqua non sarebbe ridotto dall'uso di tecnologie più efficienti. L'illuminazione stradale a tecnologia LED avrebbe un rimbalzo totale (*backfire*). Magee e Davezas (2017), stimando con diverse fonti statistiche l'impiego di 69 diversi materiali dal 1960 al 2010, hanno riscontrato solo 6 casi di declino assoluto. Quattro di questi – asbesto, berillio, mercurio e tallio – sono stati eliminati dai divieti legali per i loro effetti tossici. Gli altri due sono: lana, diminuita senza un calo della popolazione globale di pecore o altri animali da lana, e tellurio, un sottoprodotto della lavorazione del rame, il cui uso nei pannelli solari fa prevedere una ricrescita dei consumi. Benché gli effetti del secondo e terzo ordine (*indirect, structural*) siano quelli più determinanti, rimangono i più difficili da studiare empiricamente.

Trasferimento dei problemi.

Un altro argomento da considerare insieme all'effetto "rimbalzo" è che gli sforzi per cercare di risolvere un problema ambientale possono crearne e/o amplificarne altri. In altre parole il *decoupling* di un fattore ambientale può avvenire a spese del *re-coupling* di un altro. In ciò che segue, consideriamo l'esempio della mitigazione del cambiamento climatico e mostriamo come quattro differenti fonti energetiche spesso ritenute una soluzione per la crescita verde invece cambiano semplicemente la forma assunta dal fardello ambientale, spesso con imprevisti effetti di propagazione/ricaduta.

Le energie rinnovabili sono spesso descritte come pulite ed illimitate, ma sono lontane dall'essere prive di ricadute sull'ambiente. Le energie rinnovabili e le tecnologie per l'informazione e la comunicazione (ICT Technologies), che ottengono un aumento dell'efficienza, riducono le emissioni di carbone ma esasperano il consumo di suolo (p.es. le "fattorie solari" e biomasse/biocombustibili) e i conflitti per l'acqua nel caso dell'idroelettrico. Incrementano la domanda di metalli e i conflitti locali connessi alla loro estrazione e, nel caso delle infrastrutture per il fotovoltaico, generano inquinamento ambientale e gas serra [VEDI IL CASO DEL GAS NF6, UTILIZZATO PER LA PREVENZIONI DEGLI INCENDI NELLE CENTRALI ELETTRICHE]. L'estrazione di minerali per le cosiddette "terre rare", essenziali per molte tecnologie "verdi" comprese le eoliche, causano enormi danni ambientali, per esempio in Cina.

Prendiamo tre esempi tra tutti. La produzione per le batterie delle auto elettriche mette notevole pressione per l'estrazione di litio, cobalto, nichel e manganese. L'espansione delle biomasse per i biocarburanti può sconfinare in aree protette e portare ad un incremento delle monoculture, con un impatto negativo sulla biodiversità e la sua conservazione: ad esempio la deforestazione della foresta pluviale indonesiana per le piantagioni della palma da olio. Una centrale idroelettrica produce emissioni di metano quando la crescita di alghe viene catalizzata dal limo intrappolato dalla diga, generando talvolta più emissioni di gas serra di una centrale a combustibili fossili.

L'energia nucleare è considerata il principale fattore che consente a paesi come Francia, Svezia, UK e Germania di ridurre le emissioni connesse alla produzione di energia. Ma l'energia nucleare richiede l'estrazione di uranio, come combustibile, e di titanio, cobalto, tantalio, zirconio, afnio, indio, argento, selenio

e litio come materiali per la costruzione. A parte l'accoppiamento intenso della attività economica con tali materiali, estrarli e trasportarli causa inquinamento dell'acqua e perdita di biodiversità. Inoltre l'energia nucleare comporta un'altra serie di rischi sociali ed ecologici legati all'accumulo di rifiuti radioattivi, agli incidenti nucleari e alla proliferazione di armi nucleari. In sostanza: l'elettrificazione nucleare sposta l'accoppiamento da un tipo di impatto (emissioni di CO₂) ad altri tipi di impatto (perdita di biodiversità, inquinamento di acqua, estrazione e trasporto, rifiuti tossici) e uso di risorse (uranio).

Il passaggio dal carbone al gas naturale è un buon esempio di spostamento del problema da un gas serra ad un altro. Il *World Resource Institute* (2016) riporta un 6% in meno di gas serra misurati negli USA tra il 2000 e il 2014, che insieme ad un incremento del PIL del 28% risulterebbe un *decoupling* assoluto benché temporaneo. Questo dato corrisponde ad un consistente passaggio dal carbone al gas naturale, salutato con soddisfazione dalle autorità per i suoi benefici ecologici. Il problema è che l'estrazione di gas naturale emette metano, un gas il cui effetto "riscaldante" è di 28 volte superiore a quello della CO₂ nell'arco di un secolo (IPCC, 2013) e che facilmente si disperde in aria prima di essere immesso nelle tubazioni. Le emissioni di metano negli USA sono aumentate di oltre il 30% nel periodo 2002-2014, più che cancellando il risultato ottenuto con la riduzione di CO₂. Analoghi risultati mostrano che, se oltre il 3% del metano estratto nelle perforazioni dei giacimenti scistososi si disperde in atmosfera, questo sarebbe più dannoso del carbone per gli effetti sul clima (gli studi riportano una percentuale di perdite di gas tra il 3,6 e 7,9%). Il problema delle perdite di metano va oltre il fenomeno relativamente nuovo dei gas di scisto e riguarda anche le operazioni convenzionali con i gas, in particolare quelle che coinvolgono infrastrutture difettose.

Impatto sottostimato dei servizi

Un'altra speranza per il *decoupling* della crescita economica dalle conseguenze sull'ambiente risiede nella cosiddetta *terziarizzazione* dell'economia, cioè lo spostamento dall'industria estrattiva (agricoltura e miniere) e manifatturiera ai servizi. Questa era stata una delle spiegazioni proposte dagli studiosi che per primi avevano descritto la Curva Ambientale di Kuznets: *"la crescita economica porta con sé cambiamenti strutturali che spostano il centro di gravità dell'economia da un punto di basso inquinamento dell'agricoltura ad uno di lato inquinamento dell'industria e alla fine di nuovo indietro verso i servizi a basso inquinamento"*. Infatti il settore dei servizi in quanto tale (considerando soltanto i consumi diretti) è molto meno impattante sulla natura rispetto a quello primario e secondario, e quindi, se l'economia è trainata per lo più da attività che hanno come prodotto principale l'informazione (finanza, assicurazioni, formazione), ci si attenderebbe che i consumi di materie prime ed energia così come gli impatti sull'ambiente diminuissero. Noi contestiamo questa possibilità di *dematerializzazione-attraverso-i-servizi* per diverse ragioni.

Perché la terziarizzazione contribuisca al *decoupling*, essa dovrebbe tradursi in una decrescita assoluta, e non solo relativa, del volume delle attività industriali. Una situazione dove il volume dei servizi cresce senza un corrispondente e simultaneo restringimento di altri settori può infatti essere definita una terziarizzazione "relativa" dell'economia (la quota percentuale di attività industriali nell'intera economia diminuisce ma il suo volume è ancora in aumento) ma in realtà produce una pressione ancora maggiore sull'ambiente.

Con un impatto costante dovuto ai settori primario e secondario, un settore terziario in crescita aggiunge pressione, anche se l'intensità media di energia per euro [DI PIL] diminuisce. In realtà questa sembra essere proprio la regola e non l'eccezione. Lo sviluppo di nuovi tipi di servizi si somma alle altre attività inquinanti invece di sostituirle: i consumatori acquistano un account Netflix "con" un computer e non "invece" di un computer, e i lavoratori possono fornire servizi se sono nutriti, trasportati e alloggiati e non al posto di cibo, veicoli e alloggi. I prodotti immateriali necessitano di infrastrutture materiali. Il software richiede l'hardware, un massaggio richiede una stanza riscaldata, e la piattaforma sulla quale si scrivono proprio queste parole richiede un computer con tutti gli annessi e l'energia necessari per far funzionare Internet. I servizi non possono essere generati senza estrazione di materie prime, forniture di energia e costruzione di infrastrutture, tutte cose strettamente legate all'impatto sull'ambiente. L'espansione del settore dei servizi difficilmente può essere disaccoppiata in quanto è parte di una economia che cresce come un insieme integrato.

Alla domanda “possono le società con un più ampio settore dei servizi dematerializzarsi realmente?” è stato risposto con un inequivocabile “no”. Osservando 217 paesi durante il periodo 1991-2017, Fix (2019) conclude che “*le evidenze indicano che una transizione verso i servizi non conduce ad una decarbonizzazione assoluta*”. Inoltre i lavoratori del settore terziario percepiscono salari che utilizzano per l’acquisto di prodotti del settore manifatturiero. Se il valore dei beni immateriali cresce, significa che cresce anche il potere d’acquisto di coloro che vendono questi beni (“rimbalzo di spesa”) e che gli acquirenti dovranno lavorare di più per poterseli permettere (“rimbalzo di reinvestimento” potenziale), in entrambi i casi con un effetto sul consumo di risorse. L’impatto ecologico diretto di una società specializzata in pubblicità su Internet può essere relativamente basso, ma poiché fornisce ai suoi dipendenti un salario elevato e stimola il consumo di prodotti o servizi che necessitano quantità elevate di materiali o energia (come automobili, vestiario, gadget tecnologici e vacanze in paesi lontani), il suo impatto ecologico indiretto è più elevato di quanto sembri.

Dal punto di vista dell’ambiente non tutti i servizi sono ugualmente preferibili e quindi certe forme di terziarizzazione sono più auspicabili di altre. Servizi in un settore spesso provocano aumento di produzione e consumo in un altro. Si pensi ai servizi finanziari o di marketing, il cui scopo è di far salire le vendite di prodotti della manifattura e gli investimenti in industrie estrattive. Ma anche i servizi nelle Information Technologies (IT) e lo sviluppo di software, che consente alle imprese di impegnarsi nella obsolescenza programmata, o più in generale in un miglioramento più veloce dell’hardware. Per contro la crescita dei centri yoga, dei terapeuti di coppia e dei circoli di *climbers* può essere meno impattante sulla natura, anche se non è necessariamente così.

La terziarizzazione produce solo un *decoupling* parziale e, cosa molto importante, questo ha già avuto luogo nelle economie dei paesi OCSE. In queste economie la quota dei servizi nel PIL è spesso già elevata, cosa che è problematica perché è precisamente in questi paesi che si ha la più elevata “impronta” ambientale pro capite e che quindi dovrebbero maggiormente ridurre il loro impatto sull’ambiente. Nei paesi che hanno già raggiunto un alto grado di terziarizzazione (più del 70% del valore aggiunto è generato dal terzo settore) rimane una piccola quota industriale che è difficile comprimere ulteriormente.

Questo accade perché certi settori semplicemente non sono dematerializzabili. È il caso di agricoltura, trasporti e costruzioni, che spesso sono in cima alla lista dei comparti che contribuiscono maggiormente in termini di emissioni e consumo di materiali [E DI SUOLO].

Il cemento è un ottimo esempio. Rappresentando il 5% delle emissioni globali di gas serra, la sua produzione implica non solo alti livelli di emissioni e consumo di energia, ma contribuisce anche a rendere scarse le sabbie marine. [NEL PROCESSO DI PRODUZIONE DEL CEMENTO IN PARTICOLARE VENGONO UTILIZZATI COME COMBUSTIBILE I RIFIUTI, IN PARTICOLARE LE PLASTICHE SCARTATE DOPO LA SELEZIONE PER IL RICICLO, CON IL LORO “MAGICO” PASSAGGIO A MATERIE PRIME SECONDE]. Se il cemento potrebbe essere sostituito con altri materiali da costruzione, è difficile immaginare quali servizi potrebbero eventualmente sostituire la maggior parte della produzione industriale che ruota attorno ai bisogni primari (cibo, alloggio, mobilità): la consegna a domicilio di una pizza richiede strade, veicoli e, non ultimo, gli ingredienti della pizza. Quindi la dematerializzazione riguarda soltanto una frazione limitata dell’economia globale, lasciando inalterata la maggior parte della pressione sull’ambiente.

Anche se i servizi hanno un impatto minore sull’ambiente rispetto all’industria, essi hanno comunque bisogno di materiali e producono ripercussioni sull’ambiente e non ci si può attendere che alimentino un processo di creazione di valore scollegato dal mondo biofisico. In uno dei suoi report sul *decoupling*, UNEP (2014) riscontra una relazione lineare tra le spese nei servizi e le emissioni di CO₂, ovvero più servizi più emissioni. Vi sono tre fattori che spiegano questa correlazione.

I servizi richiedono gente che si sposti, sia dal fornitore al cliente (per es. la consegna di posta) o viceversa (andare a scuola), il che è reso possibile dall’uso di infrastrutture materiali, veicoli ed energia. Secondo, i servizi sono spesso fissati in spazi materiali specifici (università, stazioni ferroviarie, aeroporti, ospedali, uffici) la cui costruzione, conduzione e manutenzione richiedono materiali ed energia. Terzo, essi si basano su strumenti materiali la cui produzione e utilizzo è lungi dall’essere neutrale per l’impatto sull’ambiente

(Information and Communication Technology – ICT, computer, lettori di carte, schermi e display, climatizzatori nei centri di dati ecc.).

In termini di materiali consumati, la realizzazione di prodotti ICT, quali computer, telefoni cellulari, schermi LED, batterie e pannelli solari, richiede metalli di limitata disponibilità quali gallio, indio, cobalto e platino in aggiunta alle “terre rare”. Una espansione dei servizi implica una espansione delle transazioni e dei dispositivi, che richiede più minerali la cui espansione implica un impatto ambientale. Non soltanto questa necessità di materiali implica un impatto significativo sull’ambiente (causato dalla loro estrazione non meno che dalla loro limitata disponibilità e possibilità di riciclo – vedi successivo) ma pone anche un limite assoluto alla crescita di servizi basati sui materiali. E anche se si osserva usualmente una diminuzione della quantità di materiali necessari per produrre un dispositivo, questo guadagno di efficienza è vanificato dalla crescita in volume dei dispositivi e dall’intensità di utilizzo, spesso in relazione con il loro minor periodo di vita dovuto all’obsolescenza programmata.

I servizi richiedono energia, non solo per costruire le infrastrutture materiali su cui sono basati, ma semplicemente per funzionare. Non solo per i dispositivi *end-user* (laptop, smartphone, router) ma anche per l’infrastruttura, come i centri dati e le reti di accesso (i cablaggi e le antenne che trasportano i dati). È stato calcolato che la ICT nel 2007 ha utilizzato il 3,7% dell’energia globale, con una quota di emissioni di gas serra pari all’1,3% del totale.

In questo documento valutiamo il consumo di elettricità delle ICT nella fase di evoluzione dal 2007 al 2012 in base a tre principali categorie ICT: reti di comunicazione, personal computer e centri dati. Le nostre stime mostrano che la crescita annua di tutte e tre le categorie individuali (rispettivamente 10%, 5% e 4%) è arrivata al 4,6% nel 2012. Le proiezioni al 2030 stimano che il consumo di elettricità delle ICT potrebbero raggiungere il 51% del consumo globale, contribuendo con il 23% delle emissioni globali di gas serra.

Da solo, Internet consuma tra l’1,5 e il 2% dell’energia globale. Solo considerando la parte degli utenti, i 100 siti web in Francia più visitati hanno richiesto 8.3 GWh, l’equivalente di 3.007 utenze domestiche. Bitcoin produce emissioni per 69 mt di CO₂ e, se l’utilizzo dovesse crescere, potrebbe da solo in meno di tre decenni produrre emissioni sufficienti a innalzare il riscaldamento globale sopra i 2°C. Osservando i costi ecologici della musica negli USA, anche se la musica è diventata quasi completamente digitale, essa è diventata più inquinante, in termini di gas serra, di quanto lo sia mai stata: da 140 milioni di Kg di CO₂ nel 1977 a 157 nel 2000 e tra 200 e 350 milioni di Kg nel 2016.

A causa della prevalenza di fonti fossili nell’attuale mix energetico dei paesi che ospitano i centri dati, l’ICT finisce per contribuire pesantemente in termini di emissioni. Nel rapporto di Greenpeace “*How clean is your cloud*” (2012) si dice che, per esempio, il 39,4% dell’elettricità usata dai server Facebook è generata da centrali a carbone e il 49,7% per Apple. Questo consumo di energia si somma ad una domanda energetica già elevata, esasperando l’impatto sull’ambiente di tutto il settore energetico. Forse questo impatto sul clima potrebbe svanire se tutti i servizi potessero essere alimentati con fonti rinnovabili, ma pure assumendo che ciò sia possibile, si genererebbe ancora (come visto) una serie di problematiche ambientali.

Anche qui, non si argomenta contro i servizi, al contrario è cruciale sostituire i posti di lavoro ad alto impatto ambientale con attività ad alta intensità di lavoro. Piuttosto il punto che sosteniamo è che sarebbe più efficace ridurre l’output di settori problematici che sviluppare attorno ad essi nuove attività, sperando che queste possano in qualche modo sostituirli.

Limitato potenziale del riciclo

Il riciclo è una strategia comune a sostegno del *decoupling* spesso associata all’idea di una economia circolare. Il concetto è che il *decoupling* sarebbe possibile se tutti i materiali richiesti per la manifattura di nuovi prodotti venissero estratti dai vecchi prodotti che vengono gettati via e non più [PRELEVATI] dalla natura. Il tradizionale processo lineare di produzione si trasformerebbe così in un “anello chiuso”, “zero rifiuti”, “dalla culla alla culla”. Certamente chiudere il cerchio tra rifiuti e estrazione attraverso il riciclo è un obiettivo di rilievo e, in teoria, si vorrebbe un’economia quanto più circolare possibile. Ciò che stiamo per sostenere è

che ci sono dei limiti a questa circolarità e che questi limiti vengono rapidamente raggiunti da economie in veloce crescita.

La macchina a moto perpetuo nella realtà non esiste. Anche se ci si possono attendere vantaggi significativi da un miglior riciclo, il processo stesso di riciclo richiede energia e, nella maggior parte dei casi, materiali vergini, che dovranno a loro volta essere riciclati, comportando quindi l'uso di nuove materie prime, e così via *ad infinitum* (Georgescu-Roegen parla di un "regresso infinito", 1971). Ciò vuol dire che a causa di ineludibili leggi di natura (l'entropia) le percentuali di riciclo tecnicamente possibili saranno sempre inferiori a quelle teoriche. Ma in cima a tutto questo, le percentuali [DI RICICLO] economicamente convenienti sono sempre di molto al disotto di quelle tecnicamente fattibili, in quanto il costo marginale [DI OGNI NUOVA UNITÀ PRODOTTA] tende a crescere quanto più il processo si avvicina al suo massimo teorico.

Poiché inevitabilmente i materiali si degradano (seconda legge dell'entropia), essi possono essere riciclati nello stesso prodotto solo un numero limitato di volte prima di essere utilizzati per produrre oggetti di minore qualità. Messa in un altro modo, ogni riciclo prima o poi diventa un subciclo [*DOWNCYCLING*]. Per esempio, le bottiglie di plastica possono essere riciclate in fibre plastiche per l'abbigliamento e non in altre bottiglie di plastica, per finire poi come pannelli per l'isolamento acustico lungo le autostrade. Le fibre cellulosiche della carta possono sopportare da 3 a 6 ricicli, nei quali devono essere aggiunte fibre nuove, finché non diventano troppo fragili per essere utilizzate di nuovo come carta e dopo essere state usate come cartone diventano pannelli isolanti degli appartamenti e, alla fine, biocombustibili. Come per l'energia, questo logoramento dei materiali pone un limite assoluto a quanto una economia possa diventare circolare.

Giampietro (2013) propone un altro modo di vedere la cosa. In qualche modo, la natura già ricicla tutti i materiali a costo zero, ma troppo lentamente rispetto ai ritmi di prelievo. Supponendo che tutti i materiali e l'energia possano essere riciclati all'interno del sistema economico, e non fuori da esso, ne viene fuori un "cartellino del prezzo" energetico. Come sempre, la produzione richiede lavoro, strumenti ed energia, con la differenza che in questo caso ciò che viene prodotto è il servizio di riciclo. Messa diversamente, è con l'uso di energia primaria e materie prime che si ottengono energia secondaria e materie prime "seconde". In un mondo dove l'economia fosse relativamente piccola rispetto all'ambiente e dove il flusso primario di energia e materiali fosse maggiore del flusso secondario, una economia potrebbe anche essere circolare. Ma non appena la dimensione del secondo raggiunge uno dei primi, la circolarità è compromessa. L'autore spiega: "*ciò che conta realmente riguardo al potenziale del riciclo è la dimensione dell'input richiesto e del flusso di rifiuti generato dall'economia (tecnosfera) in confronto alla dimensione delle sorgenti primarie e delle riserve rese disponibili dai processi ecologici (biosfera)*". Se la crescita economica produce una dimensione maggiore dell'economia rispetto all'ambiente, ciò vuol dire che prima o poi le economie in crescita raggiungeranno i limiti della circolarità.

Certamente si potrebbe ribattere che il fattore di entropia è irrilevante (?) in situazioni dove le percentuali di riciclo sono basse e che basterebbe semplicemente aumentare tali percentuali per eguagliare il ritmo di consumo delle risorse e raggiungere il *decoupling* assoluto.

Ma qui sorge una considerazione pratica: quanta probabilità c'è che le percentuali di riciclo aumentino così tanto? Supponiamo per il momento che il riciclo non necessiti di energia extra e che tutti i materiali siano completamente riciclabili. Nel 2005 sono state trattate 62 Gt/anno di materiali, generando 41 Gt di prodotti (19 Gt di biomassa per mangime, cibo e foraggio, 12 Gt di combustibili fossili, 4.5 Gt minerali) (UNEP 2011). Nello stesso anno sono state riciclate solo 4 Gt di materiali. Questo non deve sorprendere in quanto certi materiali attualmente impiegati non possono essere riciclati. Per esempio i combustibili fossili e le biomasse bruciate per l'energia. Un quinto delle risorse totali utilizzate nel mondo sono combustibili fossili e circa la metà sono vettori energetici. Il 98% dei combustibili fossili bruciate come fonte di energia, insieme alle biomasse consumate per mangime, cibo e foraggio non possono essere usati per il riciclo. Certo, un passaggio al 100% di energie rinnovabili risolverebbe questo problema (al costo forse di crearne altri, come visto) ma siamo ancora lontani da questa situazione.

Un altro problema è dato dal fatto che molti prodotti moderni sono troppo complessi per essere riciclati. La miniaturizzazione fa risparmiare materiali ma rende il loro recupero più difficile, e, quando questo è tecnicamente possibile (e non accade spesso), più costoso e quindi economicamente meno interessante. Studiando la riciclabilità di uno degli *smartphone* più modulari (Fairphone2) si è visto che nel miglior scenario possibile di riciclo era possibile recuperare solo il 30% dei materiali. Ancor più problematico è il caso delle tecnologie per generare e accumulare energie rinnovabili. UNEP (2011) stima che venga riciclato solo l'1% dei metalli speciali impiegati.

Un terzo punto è che il miglioramento del riciclo è spesso vanificato dalle percentuali di crescita della sostituzione dei prodotti (talvolta alimentata dalla obsolescenza programmata). Infatti se le percentuali di riciclo aumentano ad un ritmo inferiore della diminuzione della "vita" media dei prodotti (cioè alla percentuale di sostituzione dei prodotti), l'uso di risorse è destinato ad aumentare. Se la capacità di riciclo è più lenta della volontà di produrre, allora devono essere impiegate materie prime vergini.

L'ultima osservazione è un elemento di aritmetica di base. Solo per un attimo, si assuma che le percentuali di riciclo crescano in modo significativo rispetto all'andamento attuale (ma sempre considerando che il riciclo stesso necessita di energia e nuovi materiali). Ebbene, anche questo non garantirebbe il mantenimento del flusso di una economia in crescita, poiché in un'economia che richiede una quantità di risorse sempre maggiore, la quantità di materiali che può essere riciclata sarà sempre minore di quella richiesta per la crescita. Nel momento in cui un'economia si espande, richiede più materiali di quelli disponibili dal periodo precedente e quindi i materiali disponibili per il riciclo nell'economia in crescita non saranno sufficienti. È come un serpente che cerchi di tirar fuori una pelle più lunga dai brandelli di quella precedente più corta.

In una economia nella quale il consumo di risorse cresce, il riciclo può solo ritardare l'esaurimento delle riserve. Si fa l'esempio dell'acciaio, il materiale maggiormente riciclato al mondo. Ad una percentuale di riciclo del 62% e con un consumo annuale in crescita del 3,5%, il riciclo può solo ritardare l'esaurimento di 12 anni. Tenendo costante la percentuale di consumo e anche aumentando quella di riciclo al 90%, si aggiungerebbero solo 7 anni prima dell'esaurimento.

Applicando lo stesso ragionamento al rame, per il quale si assume una permanenza nell'economia di 40 anni e una percentuale di riciclo del 60% con le tecnologie attuali, dei 6 milioni di tonnellate di rame usate nel 1975 solo 4 milioni potrebbero essere state recuperate nel 2015. In ogni caso, il consumo di rame ha raggiunto i 16 milioni di tonnellate negli ultimi 40 anni e quindi, nonostante il riciclo, dovranno esserne estratte ancora 12 milioni. In questo caso, anche assumendo una illusoria percentuale di riciclo del 100%, l'estrazione sarebbe più che raddoppiata nel periodo.

Ad aggravare la limitata disponibilità di prodotti che possono essere riciclati è il fatto che una parte significativa di tutte le risorse usate finisce nelle infrastrutture, spesso per lunghi periodi. Nel 2005 sono state utilizzate globalmente 62 Gt di risorse naturali: 4Gt per prodotti monouso di durata inferiore ad un anno e 26 Gt in edifici, infrastrutture e prodotti durevoli più di un anno. Nello stesso anno sono state scartate 9 Gt di risorse derivanti dai processi di produzione. Allora si conclude che la quantità di materiali disponibili per il riciclo all'inizio del secondo anno di produzione ammonta a 13 Gt (4 Gt di prodotti monouso + 9 Gt di scarti di lavorazione) delle quali solo un terzo è effettivamente riciclabile. È evidente che questa quantità non solo è inferiore a quella che sarebbe necessaria per avere una produzione pari all'anno precedente, ma lo sarebbe ancora meno per una economia in crescita.

Una economia circolare infinitamente crescente è aritmeticamente impossibile e una contraddizione in termini. Il riciclo stesso è limitato per fornire risorse ad una economia materiale in espansione. Il punto allora non è mettere in discussione l'utilità e l'importanza del riciclo, che al contrario potrebbe avere un ruolo cruciale in una economia non in crescita, ma semplicemente evidenziare il fatto che le speranze di un *decoupling* basato sul riciclo sono frutto di disinformazione.

La realtà è che le percentuali di riciclo sono attualmente basse e crescono solo lentamente, che i processi di riciclo richiedono generalmente una significativa quantità di energia e materie prime vergini e che è

matematicamente impossibile per il riciclo raggiungere le percentuali di sostituzione dei prodotti in un contesto di aumento dei consumi.

Insufficienti e inappropriati cambiamenti tecnologici

Il dibattito sulla possibilità futura del *decoupling* è, in sostanza, un dibattito sul potenziale dell'innovazione tecnologica. Il *decoupling* potrebbe non essere ancora avvenuto, e la crescita economica potrebbe sembrare limitata da confini biofisici, sia per i crescenti costi di estrazione, imprevisti trasferimenti dei problemi, infrastrutture materiali o riciclo troppo esiguo, ma il discorso della crescita verde si sviluppa sull'assunto che le innovazioni future porranno fine a tutto ciò. Noi siamo dell'opinione che questa ipotesi ha parecchie criticità/punti deboli, in riferimento agli obiettivi, alle conseguenze impreviste e al ritmo dei cambiamenti tecnologici. Detto semplicemente: (1) il cambiamento tecnologico non sta puntando a quei fattori di produzione che riguardano la sostenibilità ecologica e non sta producendo quelle innovazioni che possono ridurre l'impatto sull'ambiente; (2) non è sufficientemente potente e non riesce a sostituire altre tecnologie dannose; (3) non è di per sé abbastanza veloce da consentire un *decoupling* assoluto, globale, permanente e sufficientemente rapido. Non stiamo qui obiettando contro l'innovazione in quanto tale. Il nostro punto è che l'innovazione tecnologica è per lo più ambivalente nel momento in cui affronta le difficoltà ambientali, e che il potenziale futuro dell'innovazione tecnologica è molto probabilmente troppo limitato e, in ogni caso, incerto. Fare affidamento alla convinzione che l'innovazione tecnologica porterà tutte le soluzioni necessarie per i problemi ecologici sembra un azzardo estremamente rischioso e irragionevole.

L'innovazione non è necessariamente una buona cosa per la sostenibilità ecologica. Il tipo di innovazione auspicabile è l'*eco-innovazione*, ovvero quella che produce *“una riduzione del rischio ambientale, dell'inquinamento e degli altri impatti negativi [GENERATI] dall'uso delle risorse in comparazione con altre alternative analoghe”*. Ma questo è solo un tipo di innovazione tra molte altre. In generale, le imprese sono incentivate ad innovare per risparmiare sui fattori di produzione più costosi e massimizzare i profitti. Poiché il lavoro e il capitale sono solitamente più costosi delle risorse naturali, è probabile che la maggior parte del progresso tecnologico continui ad essere rivolto verso innovazioni che facciano risparmiare forza lavoro e capitale, con pochi benefici, o anche nessuno, per la produttività delle risorse e un potenziale aumento dell'impatto globale [SULL'AMBIENTE] causato dalla crescita della produzione. Ma il *decoupling* non potrà avere luogo se l'innovazione tecnologica contribuisce a far risparmiare forza lavoro e capitali lasciando immutati l'uso delle risorse e il degrado ambientale.

Un altro aspetto è che le tecnologie non soltanto risolvono i problemi ambientali ma tendono a crearne di nuovi. Per esempio, le ricerche sui procedimenti estrattivi possono portare ad una migliore localizzazione delle risorse (con tecniche di *imaging* e analisi dei dati), estrazione (perforazioni orizzontali, fratturazione idraulica, automazione delle perforazioni) e trasporto (rotte di navigazione nell'Artico). Queste innovazioni possono ottimizzare l'uso delle risorse ma con un risultato opposto all'obiettivo del *decoupling*, cioè una maggiore estrazione. E ciò anche senza considerare effetti collaterali indesiderati, che spesso accompagnano le nuove tecnologie.

Un altro problema riguarda la sostituzione delle tecnologie pericolose. Infatti non è sufficiente che le nuove tecnologie emergano (innovazione) ma esse devono anche arrivare a sostituire le vecchie in un processo cosiddetto di *“exnovation”*. È richiesta una strategia *“push and pull”* (spingere e tirare): tirare dentro la società le tecnologie *eco-friendly* e spingerne fuori quelle pericolose, come, tra queste, le infrastrutture basate sui fossili.

In primo luogo, in realtà, un tale processo è lungo e difficile da attivare. Le infrastrutture più inquinanti (centrali di energia, edifici e strutture urbane, sistema dei trasporti) richiedono investimenti imponenti che quindi creano inerzia e blocchi. Si considerino per esempio i settori dell'energia, dell'edilizia e dei trasporti, che sono responsabili per la quota maggiore a livello mondiale del consumo di energia ed emissione di gas serra: la vita iniziale di una centrale nucleare o di una a carbone è di circa 40 anni. Gli edifici possono durare almeno un uguale periodo. La vita media di una automobile è di 12-15 anni, e questo è anche il tempo che impiega una innovazione ad estendersi a tutto il parco dei veicoli. L'ampia diffusione delle stazioni di

rifornimento di carburante fossile fornisce un vantaggio infrastrutturale ai veicoli a benzina/gasolio, laddove invece c'è la situazione opposta per quelli elettrici, a gas o a idrogeno, che hanno bisogno di nuove e diverse infrastrutture di supporto. Costruire una autostrada o una centrale nucleare costituisce un impegno a generare emissioni perlomeno per tutto il periodo di vita di tali infrastrutture.

L'energia è un buon esempio in tal senso: usare più energia rinnovabile non è lo stesso che usare meno combustibili fossili. La storia dell'impiego dell'energia non è un racconto di sostituzioni, piuttosto di successive aggiunte di nuove forme di energia. Nel momento in cui nuove fonti di energia vengono scoperte, sviluppate e impiegate, le vecchie non diminuiscono; invece il consumo totale di energia cresce con livelli sovrapposti sulla "torta" del mix energetico [IL GRAFICO NON C'È]. Si stima che ogni unità di energia prodotta da fonti non fossili rimpiazza solo un quarto di unità della sua controparte fossile, fornendo sostegno empirico all'assunto che l'espansione delle energie rinnovabili è ben lontana dal tagliare l'uso dei combustibili fossili. La parte relativa al carbone nel mix energetico globale si è ridotta dopo l'avvento del petrolio ma ciò è avvenuto nonostante il fatto che si è assistito ad una crescita in termini assoluti dell'uso del carbone.

Inoltre, anche se fosse presa la decisione di sostituire con energie rinnovabili tutte quelle da fonti fossili, non è certo che questo processo avvenga in modo sufficientemente rapido – o che avvenga proprio, tenendo conto della domanda di materiali. In uno studio recente, la *International Renewable Energy Association* (IRENA, 2018) stima che, per mantenere una crescita del Pil del 2% compatibile con un aumento della temperatura [LIMITATO] a 2°C, sarebbe necessario aggiungere 12.200 GW di potenza eolica e solare per il 2050. Ciò vuol dire aggiungere percentuali di incremento della quantità di energia rinnovabile prodotta da 2.3 a 4.6 volte. Si dovrebbe costruire una centrale nucleare al giorno, ovvero l'equivalente in rinnovabile, per decarbonizzare una domanda energetica ai tassi attuali di crescita costante.

Questa situazione riscontrata per quanto riguarda l'energia, ovvero che le nuove tecnologie si aggiungono alle vecchie piuttosto che soppiantarle, è presente in molti altri settori. I computer non hanno eliminato la carta dagli uffici perché computer e carta sono in realtà complementari gli uni all'altra. La crescita della gomma sintetica, la cui produzione è iniziata durante la seconda guerra mondiale, non ha fermato quella della gomma naturale e del suo consumo, aumentato costantemente durante tutto il XX secolo. Analogamente, l'esplosione delle fibre sintetiche come il poliestere e il nylon non ha soppiantato la produzione di quelle naturali. Mentre la produzione globale annuale di fibre sintetiche è cresciuta da meno di 2 Mt nel 1950 a più di 60 Mt ad oggi, la produzione di fibre naturali è più che triplicata, da meno di 10 a circa 30 Mt, con variazioni annuali dovute alle condizioni climatiche. Il consumo aggiuntivo ha abbondantemente superato la sostituzione.

In conclusione, le tecnologie non sono la panacea. Ovviamente è impossibile prevedere cosa avverrà in futuro in termini di innovazioni nel lungo termine. Rimane il fatto che vi sono molteplici e serie ragioni per essere scettici sul fatto che il potenziale dei cambiamenti tecnologici sia tale da realizzare quel tipo di *decoupling* ritenuto necessario.

Trasferimento dei costi

Il *decoupling* assoluto registrato nei paesi industrializzati da più tempo è solo apparente se queste nazioni trasferiscono altrove (*outsourc*e) le loro produzioni ad alto impatto biofisico. Questo trasferimento è intenzionale o diretto se lo spostamento geografico della produzione [DELOCALIZZAZIONE] è frutto di una scelta per spostarsi in giurisdizioni dove le norme ambientali sono meno stringenti – riferendosi a tale fenomeno come "ipotesi dei paradisi dell'inquinamento" – ovvero congiunturale o indiretto se è da attribuire ad un insieme più ampio di fattori (per es. differenze nel costo del lavoro, capacità industriale, accesso alle risorse o alle tecnologie). Su questi presupposti, la globalizzazione spinge la concentrazione delle attività inquinanti nelle aree con norme meno stringenti, che il più delle volte coincidono con quelle a più basso reddito. In altre parole, il commercio [GLOBALE] consente il *decoupling* di certe regioni a spese dell'intensificazione della pressione ambientale altrove; ovvero consenti ai paesi con i più alti consumi di

“esternalizzare” i costi ambientali della produzione nei paesi con i consumi più bassi (si parla, in questi casi, di “emissioni incorporate” o “energie incorporate”).

La letteratura empirica sulle pressioni ambientali “incorporate” nel commercio è rilevante. Secondo studi sulle emissioni incorporate, è stato identificato un ampio e crescente volume delle emissioni di anidride carbonica nel commercio internazionale, stimato nel 2006 contare per circa un quinto delle emissioni globali. Con riferimento a 113 paesi, è stato quantificato che il trasferimento netto di emissioni tramite il commercio internazionale è quadruplicato nel periodo dal 1990 al 2008. Il discorso non riguarda solo le emissioni ma anche il consumo di risorse. Tra il 1997 e il 2001, il 16% del consumo globale di acqua è stato “incorporato” nel commercio internazionale. Le materie prime “incorporate” rappresentano il 30% dell’aumento del consumo globale di materiali nel periodo 1990-2010, *“effetto dovuto al crescente contributo di paesi meno efficienti nel consumo di materiali alla produzione globale”*. Analogamente, viene riportato che l’efficienza globale nel consumo di materiali è in declino a causa di *“un ampio trasferimento di attività economiche da paesi molto efficienti [NELL’USO DEI MATERIALI], quali Giappone, Repubblica di Corea ed Europa, a paesi attualmente con economie molto meno efficienti [NELL’USO DEI MATERIALI] come la Cina, l’India e il Sud-Est asiatico”*.

Per esempio, secondo un rapporto dell’OCSE del 2011 Germania, Canada, **Italia** e Giappone hanno raggiunto un *decoupling* assoluto nelle emissioni di gas serra sin dal 1980. Gli autori del rapporto però sottolineano che “parte” di questo *decoupling* è dovuto al trasferimento di attività manifatturiere in paesi emergenti o in via di sviluppo. La differenza tra emissioni “lorde” (cioè misurate tenendo conto delle emissioni delle attività produttive) e quelle “nette” (rilevate in base ai consumi) è del 27,7% per la Germania e del 24,7% per l’Italia nel 2004, e addirittura del 44% per la Francia.

Più in generale, la differenza stimata tra le emissioni calcolate secondo la produzione o il consumo è di circa il 30% nei paesi più ricchi. Se comparata con le percentuali di supposto *decoupling* assoluto annunciate in certi studi, il fattore di trasferimento dei costi da solo è sufficiente a spiegare tali risultati.

Le osservazioni empiriche hanno una spiegazione teorica nella teoria di analisi e dipendenza del sistema mondiale. Secondo tale schema tradizionale (Amin, 1976; Emmanuel, 1972; Wallerstein, 1974) questo processo viene definito “scambio ecologicamente disuguale”: *“una relazione di scambio, anche se stabilita volontariamente, può generare il deterioramento sistematico delle risorse, della indipendenza e del potenziale di sviluppo di una delle parti [CONTRAENTI]”*. Da questa particolare prospettiva, il mondo può essere diviso in paesi centrali, semi-periferici e periferici, dove i primi hanno più potere di importare ricchezza da - ed esportare danni verso - gli altri.

Emmanuel (1972) ha evidenziato come le differenze del costo del lavoro tra nazioni portino ad un trasferimento netto di lavoro “incorporato” dai paesi più poveri a quelli più ricchi. Ciò che ha importanza per il *decoupling* è che lo stesso meccanismo si applica ai materiali, all’energia e all’inquinamento. Se è più conveniente produrre altrove ciò che inquina di più, ci sarà inevitabilmente un trasferimento netto del carico ambientale dal Nord globale al Sud globale. In termini di *decoupling*, ciò significa che i paesi *centrali* si trovano in una situazione di debito ecologico nei confronti di quelli *periferici*.

Il *decoupling* in certe regioni del mondo è una “illusione locale” o una “illusione geografica”, giustificata da un processo di “trasferimento del carico ambientale” o dal “trasferimento dei costi” da una località ad un’altra o dal presente al futuro. Seguendo questa linea di pensiero, Hornborg (2001) ci invita a *“pensare al mondo come un sistema, nel quale i problemi ambientali di un paese possono essere l’altro lato della medaglia della crescita [ECONOMICA] di un altro”*. Questo è particolarmente vero quando si parla di innovazione tecnologica. Sempre Hornborg (2019) sottolinea che la moderna tecnologia *“non dovrebbe essere intesa semplicemente come un indice di ingegnosità, ma come una strategia sociale di appropriazione (di lavoro e territori)”* o *“una strategia di trasferimento (di lavoro e carico ambientale)”*. Un’aspirapolvere può farci risparmiare tempo nelle pulizie di casa, ma lo fa a spese di qualcun altro che ha impiegato tempo ed energia nel fabbricarlo, e di molte più persone che hanno estratto i materiali necessari per farlo.

Sarebbe inutile celebrare il *decoupling* in un paese se questo venisse realizzato a spese del *coupling* in un altro, specialmente se il secondo è più povero del primo. Finché individui, imprese e nazioni saranno impegnati in una competizione per abbassare i costi [ECONOMICI], ci saranno incentivi a spazzare i costi ecologici sotto al tappeto, restando il sollievo per l'ambiente un mero valore statistico.

Conclusioni. Addio alla crescita verde.

Le ricerche scientifiche e le discussioni politiche sul *decoupling* devono essere più precise nel definire tale termine e soprattutto come esso si rapporta alle soglie ambientali e agli obiettivi politici. È sufficiente raggiungere l'obiettivo? È idoneo per una equa distribuzione degli oneri e dei benefici?

La letteratura di studi empirici esaminata ha dato un risultato chiaro: è un pagliaio senza ago. Non vi è traccia di elementi che possano sostenere le speranze riposte nel *decoupling*. Soprattutto l'idea che con la crescita "verde" si possano affrontare le crisi ambientali in atto è supportata in modo insufficiente dai risultati empirici. Considerando gli ultimi due decenni come periodo di prova, ci si deve confrontare con il dato di fatto che il *decoupling* ha fallito nel fornire la sostenibilità ecologica che aveva promesso e ci sono molte ragioni per essere scettici sul fatto che il *decoupling* possa realizzarsi in futuro [VEDI I SETTE MOTIVI SOPRA]. Per questo non si vuol dire che i miglioramenti dell'efficienza non siano necessari (e in questo senso si devono supportare le misure politiche richieste da UNEP nel rapporto del 2014), ma piuttosto che è teoricamente e praticamente irrealistico attendersi che questi "sgancino" in modo, assoluto, globale e permanente un metabolismo economico in costante crescita dalla sua base biofisica. Alla luce di quanto emerso in questo report, solo la prudenza può garantire l'abbandono del *decoupling* e della crescita verde quali unica strategia per la sostenibilità.

Affermazioni di tipo straordinario richiedono prove straordinarie, e in questo caso l'onere della prova è a carico dei sostenitori del *decoupling*. Finora, la letteratura della crescita "verde" è risultata silenziosa o non convincente sui sette argomenti che sono stati elencati in questo rapporto. Riflettendo su tali risultati, si raccomanda che i politici riconoscano il dato di fatto che la crisi climatica e della biodiversità (che sono solo due delle diverse crisi ambientali) possano richiedere una riduzione della produzione economica e dei consumi nei paesi più ricchi. In altre parole, si richiede uno scambio nella lista delle priorità tra efficienza e sufficienza, con la seconda posta avanti alla prima.

La strategia del *decoupling* garantisce i consumi e fa affidamento sulla speranza che ulteriore crescita economica possa fornire i mezzi per (sovra)compensare il suo stesso impatto ambientale. È un approccio chiaramente attraente per i politici, per il fatto che richiede solo piccoli aggiustamenti nella struttura economica e sociale. L'ossessione del *decoupling* nelle cancellerie europee mostra una problematica carenza di creatività politica e ambizione, così come l'incapacità dei politici di immaginare una economia differente dalla sua forma attuale.

Il problema è che, anche se fosse definitivamente dimostrato che il *decoupling* è impossibile, sarebbe necessario del tempo per convincere adeguatamente i suoi sostenitori. Il *decoupling* agisce come una fantasia distrattiva, che garantisce un percorso sempre più distruttivo, con il rinvio al futuro sia della sua promessa di successo che della dimostrazione della sua impossibilità.

Ma se il *decoupling* non si materializza, le risorse naturali si esauriscono e gli ecosistemi collassano. In tal senso il *decoupling* non è una opportunità ma una minaccia. In definitiva, finché il PIL non sarà realmente disgiunto dalle pressioni sull'ambiente, ogni produzione aggiuntiva richiederà uno sforzo maggiore nella riduzione delle risorse e dell'intensità dell'impatto, per tenersi lontani dai conflitti per le risorse e dal collasso ecologico.

La produzione e il consumo meno impattanti sono quelli che non hanno luogo. Il fatto che questa soluzione del senso comune non venga presa in considerazione tra le opzioni dei rapporti che studiano le misure politiche, è la prova parlante di quanto sia divenuta dominante l'enfasi unidimensionale sull'eco-efficienza.

Al contrario di auto alimentate a idrogeno, *smart-grid* regionali e mercati delle emissioni perfettamente funzionanti, la riduzione di produzione e consumi non è una narrativa astratta. Negli ultimi due decenni, i movimenti del Nord globale (*transition towns*, decrescita, eco-villaggi, *slow cities*, economie eque e solidali, economie dei beni comuni ecc.) hanno iniziato ad organizzarsi attorno al concetto di sufficienza, che può

ispirare un approccio politico trasversale. Ciò che questi movimenti dicono è che il di più non è sempre meglio, e che in un mondo minacciato dal clima, il sufficiente può essere abbondante. Molti di questi attori affermano che la sufficienza non è una scelta di sacrificio, disoccupazione, crescita delle disuguaglianze, povertà e “dimagrimento” dello stato sociale, ma è la scelta di una economia giusta che rimanga all’interno della capacità di carico della biosfera, come definito dal 7° EU *Environmental Action Programme* “vivere bene all’interno dei limiti ecologici del pianeta”.

Ciò che si deve disaccoppiare non è la crescita economica dalle pressioni sull’ambiente, ma la prosperità e la “buona vita” dalla crescita economica.

Osservare la lezione proveniente dalla diversità delle persone e dei contesti impegnati nell’immaginare e mettere in pratica modi di vita alternativi è una via promettente per risolvere quella che viene percepita come una crisi di immaginazione politica.

Bibliografía

Ackerman, F., Stanton, E.A., 2013. *Climate Economics : The State of the Art*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203066317>

Aden, N., 2016. The Roads to Decoupling: 21 Countries Are Reducing Carbon Emissions While Growing GDP. *World Resour. Inst.* URL <https://www.wri.org/blog/2016/04/roads-decoupling-21-countries-are-reducing-carbon-emissions-while-growing-gdp> (accessed 6.4.19).

AghaKouchak, A., Feldman, D., Hoerling, M., Huxman, T., Lund, J., 2015. Water and climate: Recognize anthropogenic drought. *Nat. News* 524, 409. <https://doi.org/10.1038/524409a>

Akizu-Gardoki, O., Bueno, G., Wiedmann, T., Lopez-Guede, J.M., Arto, I., Hernandez, P., Moran, D., 2018. Decoupling between human development and energy consumption within footprint accounts. *J. Clean. Prod.* 202, 1145–1157. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.235>

Alcántara, V., Padilla, E., 2009. Input–output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO2 emissions in Spain. *Ecol. Econ.* 68, 905–914. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.010>

Ali, S.H., 2014. Social and Environmental Impact of the Rare Earth Industries. *Resources* 3, 123–134. <https://doi.org/10.3390/resources3010123>

Allan, J.A., 1998. Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits. *Groundwater* 36, 545–546. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1998.tb02825.x>

Amin, S., 1976. *Unequal Development*. Monthly Review Press, New York.

Andersen, O., 2013. *Unintended Consequences of Renewable Energy: Problems to be Solved*. Springer Science & Business Media, London.

Andrae, A.S.G., Edler, T., 2015. On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges* 6, 117–157. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>

Antal, M., van den Bergh, J.C.J.M., 2014. Re-spending rebound: A macro-level assessment for OECD countries and emerging economies. *Energy Policy* 68, 585–590. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.016>

Arnsperger, C., Bourg, D., 2017. *Écologie intégrale. Pour une société permacirculaire*. Presses Universitaires de France, Paris.

Asafu-Adjaye, J., 2003. Biodiversity Loss and Economic Growth: A Cross-Country Analysis. *Contemp. Econ. Policy* 21, 173–185. <https://doi.org/10.1093/cep/byg003>

Ashraf, B., AghaKouchak, A., Alizadeh, A., Baygi, M.M., Moftakhari, H.R., Mirchi, A., Anjileli, H., Madani, K., 2017. Quantifying Anthropogenic Stress on Groundwater Resources. *Sci. Rep.* 7, 12910. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12877-4>

Ayres, R.U., Warr, B., 2009. *The Economic Growth Engine: How Energy and Work Drive Material Prosperity*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham.

- Azam, M., Khan, A.Q., 2016. Testing the Environmental Kuznets Curve hypothesis: A comparative empirical study for low, lower middle, upper middle and high income countries. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 63, 556–567. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.052>
- Baeumler, A., Chen, M., Dastur, A., Zhang, Y., Filewood, R., Al-Jamal, K., Peterson, C., Randale, M., Pinnoi, N., 2009. Sino-Singapore Tianjin Eco-City (SSTEC) : a case study of an emerging eco-city in China (No. 59012). The World Bank.
- Bagliani, M., Bravo, G., Dalmazzone, S., 2008. A consumption-based approach to environmental Kuznets curves using the ecological footprint indicator. *Ecol. Econ.* 65, 650–661. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.01.010>
- Barnosky, A.D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G.O.U., Swartz, B., Quental, T.B., Marshall, C., McGuire, J.L., Lindsey, E.L., Maguire, K.C., Mersey, B., Ferrer, E.A., 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471, 51–57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- Bashmakov, I., 2007. Three laws of energy transitions. *Energy Policy* 35, 3583–3594. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.023>
- Beça, P., Santos, R., 2014. A comparison between GDP and ISEW in decoupling analysis. *Ecol. Indic.* 46, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.010>
- Bednik, A., 2016. Extractivisme. Exploitation industrielle de la nature : logiques, conséquences, résistances. Le passager clandestin, Neuvy-en-Champagne.
- Behrens, A., Giljum, S., Kovanda, J., Niza, S., 2007. The material basis of the global economy: Worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies. *Ecol. Econ., Special Section - Ecosystem Services and Agriculture* 64, 444–453. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.03461>
- Bhattarai, M., Hammig, M., 2001. Institutions and the Environmental Kuznets Curve for Deforestation: A Crosscountry Analysis for Latin America, Africa and Asia. *World Dev.* 29, 995–1010. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00019-5)
- Billen, G., Garnier, J., Lassaletta, L., 2013. The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 368, 20130123. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0123>
- Bithas, K., Kalimeris, P., 2018. Unmasking decoupling: Redefining the Resource Intensity of the Economy. *Sci. Total Environ.* 619–620, 338–351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.061>
- Bonaiuti, M., 2018. Are we entering the age of involuntary degrowth? Promethean technologies and declining returns of innovation. *J. Clean. Prod., Technology and Degrowth* 197, 1800–1809. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.196>
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J.C., Wackernagel, M., Galli, A., 2013. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecol. Indic.* 24, 518–533. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.005>
- Bouwman, A.F., Beusen, A.H.W., Griffioen, J., Van Groenigen, J., Hefting M., M., Oenema, O., Van Puijenbroek P. J. T., M., Seitzinger, S., Slomp C., P., Stehfest, E., 2013. Global trends and uncertainties in terrestrial denitrification and N₂O emissions. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 368, 20130112. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0112>
- Bringezu, S., 2015. Possible Target Corridor for Sustainable Use of Global Material Resources. *Resources* 4, 25–54. <https://doi.org/10.3390/resources4010025>

- Brookes, L., 1990. The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution. *Energy Policy* 18, 199–201. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(90\)90145-T](https://doi.org/10.1016/0301-4215(90)90145-T)
- Brown, T.W., Bischof-Niemz, T., Blok, K., Breyer, C., Lund, H., Mathiesen, B.V., 2018. Response to 'Burden of proof: A comprehensive review of the feasibility of 100% renewable-electricity systems.' *Renew. Sustain. Energy Rev.* 92, 834–847. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.113>
- Bruner, A.G., Gullison, R.E., Rice, R.E., Fonseca, G.A.B. da, 2001. Effectiveness of Parks in Protecting Tropical Biodiversity. *Science* 291, 125–128. <https://doi.org/10.1126/science.291.5501.125>
- Butchart, S.H.M., Scharlemann, J.P.W., Evans, M.I., Quader, S., Aricò, S., Arinaitwe, J., Balman, M., Bennun, L.A., Bertzky, B., Besançon, C., Boucher, T.M., Brooks, T.M., Burfield, I.J., Burgess, N.D., Chan, S., Clay, R.P., Crosby, M.J., Davidson, N.C., Silva, N.D., Devenish, C., Dutson, G.C.L., Fernández, D.F.D. z, Fishpool, L.D.C., Fitzgerald, C., Foster, M., Heath, M.F., Hockings, M., Hoffmann, M., Knox, D., Larsen, F.W., Lamoreux, J.F., Loucks, C., May, I., Millett, J., Molloy, D., Morling, P., Parr, M., Ricketts, T.H., Seddon, N., Skolnik, B., Stuart, S.N., Upgren, A., Woodley, S., 2012. Protecting Important Sites for Biodiversity Contributes to Meeting Global Conservation Targets. *PLOS ONE* 7, e32529. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032529>
- Calvo, G., Mudd, G., Valero, Alicia, Valero, Antonio, 2016. Decreasing Ore Grades in Global Metallic Mining: A Theoretical Issue or a Global Reality? *Resources* 5, 36. <https://doi.org/10.3390/resources5040036>
- Cansino, J.M., Moreno, R., 2018. Does forest matter regarding Chilean CO2 international abatement commitments? A multilevel decomposition approach. *Carbon Manag.* 9, 9–24. <https://doi.org/10.1080/17583004.2017.1409027>
- Capellán-Pérez, I., de Castro, C., Arto, I., 2017. Assessing vulnerabilities and limits in the transition to renewable energies: Land requirements under 100% solar energy scenarios. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 77, 760–782. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.137>
- Capellán-Pérez, I., de Castro, C., Salamanca, A., González, L.J.M., 2018. Dynamic EROI of the global energy system in future scenarios of transition to renewable energies. Presented at the South-East European Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Novi Sad.
- Caviglia-Harris, J.L., Chambers, D., Kahn, J.R., 2009. Taking the “U” out of Kuznets: A comprehensive analysis of the EKC and environmental degradation. *Ecol. Econ., Participation and Evaluation for Sustainable River Basin Governance* 68, 1149–1159. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.08.006>
- Cavlovic, T.A., Baker, K.H., Berrens, R.P., Gawande, K., 2000. A Meta-Analysis of Environmental Kuznets Curve Studies. *Agric. Resour. Econ. Rev.* 29, 32–42. <https://doi.org/10.1017/S1068280500001416>
- Ceballos, G., Ehrlich, P.R., Barnosky, A.D., García, A., Pringle, R.M., Palmer, T.M., 2015. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Sci. Adv.* 1, e1400253. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253> CEET, 2013. Annual Report 2013. Centre for Energy-Efficient Telecommunications, Bell Labs and University of Melbourne.
- Chancerel, P., Marwede, M., Nissen, N.F., Lang, K.-D., 2015. Estimating the quantities of critical metals embedded in ICT and consumer equipment. *Resour. Conserv. Recycl.* 98, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.03.003>
- Chen, J., Wang, P., Cui, L., Huang, S., Song, M., 2018. Decomposition and decoupling analysis of CO2 emissions in OECD. *Appl. Energy* 231, 937–950. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.179>
- Cohen, G., Jalles, J.T., Loungani, P., Marto, R., 2018. The long-run decoupling of emissions and output: Evidence from the largest emitters. *Energy Policy* 118, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.028>
- Conde, M., Kallis, G., 2012. The global uranium rush and its Africa frontier. Effects, reactions and social movements in Namibia. *Glob. Environ. Change, Global transformations, social metabolism and the dynamics of socio-environmental conflicts* 22, 596–610. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.03.007>

- Conrad, E., Cassar, L.F., 2014. Decoupling Economic Growth and Environmental Degradation: Reviewing Progress to Date in the Small Island State of Malta. *Sustainability* 6, 6729–6750. <https://doi.org/10.3390/su6106729>
- Cornish, K., 2001. Biochemistry of natural rubber, a vital raw material, emphasizing biosynthetic rate, molecular weight and compartmentalization, in evolutionarily divergent plant species. *Nat. Prod. Rep.* 18, 182–189. <https://doi.org/10.1039/A902191D>
- Csereklyei, Z., Rubio, M., Stern, D.I., 2016. Energy and Economic Growth: The Stylized Facts. *Energy J.* 37, 223–255.
- Daly, H.E., 1977. *Steady-State Economics: The Economics of Biophysical Equilibrium and Moral Growth*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Davis, S.J., Caldeira, K., 2010. Consumption-based accounting of CO₂ emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107, 5687–5692. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906974107>
- Davis, S.J., Socolow, R.H., 2014. Commitment accounting of CO₂ emissions. *Environ. Res. Lett.* 9, 084018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/084018>
- de Bruyn, S.M., Opschoor, J.B., 1997. Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations. *Ecol. Econ.* 20, 255–268. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(96\)00086-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(96)00086-9)
- De Decker, K., 2018. How Circular is the Circular Economy? *LOW-TECH Mag.* URL <http://www.lowtechmagazine.com/> (accessed 6.29.18).
- de Haan, P., Mueller, M.G., Peters, A., 2006. Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and number of cars previously owned by Swiss Prius buyers. *Ecol. Econ.* 58, 592–605. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.08.009>
- Declercq, B., Delarue, E., D'haeseleer, W., 2011. Impact of the economic recession on the European power sector's CO₂ emissions. *Energy Policy* 39, 1677–1686. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.043>
- Deemer, B.R., Harrison, J.A., Li, S., Beaulieu, J.J., DelSontro, T., Barros, N., Bezerra-Neto, J.F., Powers, S.M., dos Santos, M.A., Vonk, J.A., 2016. Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis. *BioScience* 66, 949–964. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw117>
- Devine, K., Brennan, M., 2019. Music streaming has a far worse carbon footprint than the heyday of records and CDs – new findings [WWW Document]. *The Conversation*. URL <http://theconversation.com/music-streaming-has-a-far-worse-carbon-footprint-than-the-heyday-of-records-and-cds-new-findings-114944> (accessed 6.3.19).
- Diaz, R.J., Rosenberg, R., 2008. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science* 321, 926–929. <https://doi.org/10.1126/science.1156401>
- Dietz, S., Adger, W.N., 2003. Economic growth, biodiversity loss and conservation effort. *J. Environ. Manage.* 68, 23–35. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(02\)00231-1](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(02)00231-1)
- Dimitropoulos, J., 2007. Energy productivity improvements and the rebound effect: An overview of the state of knowledge. *Energy Policy* 35, 6354–6363. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.028>
- Dittrich, M., Giljum, S., Lutter, S., Polzin, C., 2012. *Green economies around the world: implications of resource use for development and the environment*. SERI, Vienna.
- Dobbs, R., Smit, S., Remes, J., Manyika, J., Roxburgh, C., Restrepo, A., 2011. *Urban world: Mapping the economic power of cities*. McKinsey Global Institute.

- Druckman, A., Bradley, P., Papathanasopoulou, E., Jackson, T., 2008. Measuring progress towards carbon reduction in the UK. *Ecol. Econ.* 66, 594–604. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.10.020>
- EASA-EEA-EUROCONTROL, 2016. European Aviation Environmental Report 2016.
- EEA, 2018. Trends and Projections in Europe 2018. Tracking Progress towards Europe's Climate and Energy Targets (No. 16/2018). European Environment Agency, Copenhagen.
- Ehrhardt-Martinez, K., Laitner, J.A., 2010. Rebound, technology and people: mitigating the rebound effect with energy-resource management and people-centered initiatives. *ACEEE Summer Study Energy Effic. Build.* 7–76.
- Emmanuel, A., 1972. *Unequal Exchange: A Study of the Imperialism of Trade*. Monthly Press Review, New York.
- EU Commission, 2001. Environment 2010: Our Future, Our Choice. Commun. Comm. Sixth Environ. Action Programme Eur. Community Adopt. Comm. On.
- European Commission, 2018. A Clean Planet for All. A European Strategic Long-Term Vision for a Prosperous, Modern, Competitive and Climate Neutral (COM No. 773). European Commission.
- European Commission, 2013. Living well, within the limits of our planet : 7th EAP – the new general Union environment action programme to 2020. <https://doi.org/doi:10.2779/57220>
- European Commission, 2011. Roadmap to a Resource Efficient Europe. COM(2011) 571 final.
- European Parliament, 2019. Annual strategic report on the implementation and delivery of the Sustainable Development Goals.
- Evans, S., Yeo, S., 2016. The 35 countries cutting the link between economic growth and emissions [WWW Document]. Carbon Brief. URL <https://www.carbonbrief.org/the-35-countries-cutting-the-link-between-economic-growth-and-emissions> (accessed 6.10.19).
- FAO, 2019. *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. Rome.
- FAO, 2017. *World fertilizer trends and outlook to 2020*. FAO, Rome.
- FAO, 2016. AQUASTAT [WWW Document]. URL http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm.
- Fedrigo-Fazio, D., Schweitzer, J.-P., Ten Brink, P., Mazza, L., Ratliff, A., Watkins, E., 2016. Evidence of Absolute Decoupling from Real World Policy Mixes in Europe. *Sustainability* 8, 517. <https://doi.org/10.3390/su8060517>
- Feng, K., Davis, S.J., Sun, L., Hubacek, K., 2015. Drivers of the US CO2 emissions 1997–2013. *Nat. Commun.* 6, 7714. <https://doi.org/10.1038/ncomms8714>
- Feng, K., Hubacek, K., 2015. A multi-region input-output analysis of global virtual water flows, in: *Handbook of Research Methods and Applications in Environmental Studies*. Edward Elgar Publishing.
- Fischer-Kowalski, M., Amann, C., 2001. Beyond IPAT and Kuznets Curves: Globalization as a Vital Factor in Analysing the Environmental Impact of Socio- Economic Metabolism. *Popul. Environ.* 23, 7–47. <https://doi.org/10.1023/A:1017560208742>
- Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Giljum, S., Lutter, S., Mayer, A., Bringezu, S., Moriguchi, Y., Schütz, H., Schandl, H., Weisz, H., 2011. Methodology and Indicators of Economy-wide Material Flow Accounting. *J. Ind. Ecol.* 15, 855–876. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00366.x>
- Fix, B., 2019. Dematerialization Through Services: Evaluating the Evidence. *Biophys. Econ. Resour. Qual.* 4, 6. <https://doi.org/10.1007/s41247-019-0054-y>

- Fizaine, F., Court, V., 2016. Energy expenditure, economic growth, and the minimum EROI of society. *Energy Policy* 95, 172–186. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.039>
- Fletcher, R., Rammelt, C., 2017. Decoupling: A Key Fantasy of the Post-2015 Sustainable Development Agenda. *Globalizations* 14, 450–467. <https://doi.org/10.1080/14747731.2016.1263077>
- Font Vivanco, D., McDowall, W., Freire-González, J., Kemp, R., van der Voet, E., 2016. The foundations of the environmental rebound effect and its contribution towards a general framework. *Ecol. Econ.* 125, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.02.006>
- Fosten, J., Morley, B., Taylor, T., 2012. Dynamic misspecification in the environmental Kuznets curve: Evidence from CO₂ and SO₂ emissions in the United Kingdom. *Ecol. Econ.* 76, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.01.023>
- Fulton, J., Cooley, H., Gleick, P.H., 2014. Water Footprint Outcomes and Policy Relevance Change with Scale Considered: Evidence from California. *Water Resour. Manag.* 28, 3637–3649. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0692-1>
- Fulton, J., Cooley, H., Gleick, P.H., 2012. California's Water Footprint. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, Oakland CA
- Gadrey, J., 2008. Les services ne sont pas "la" solution à la crise écologique. Presented at the First international conference on Economic De-Growth for Ecological Sustainability and Social Equity, Paris.
- Galeotti, M., Lanza, A., Pauli, F., 2006. Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A robustness exercise. *Ecol. Econ.* 57, 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.031>
- Galvin, R., 2014. Estimating broad-brush rebound effects for household energy consumption in the EU 28 countries and Norway: some policy implications of Odyssee data. *Energy Policy* 73, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.033>
- Garrett, T.J., 2012. No way out? The double-bind in seeking global prosperity alongside mitigated climate change. *Earth Syst. Dyn.* 3, 1–17. <https://doi.org/10.5194/esd-3-1-2012>
- Georgescu-Roegen, N., 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Giampietro, M., 2019. On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth. *Ecol. Econ.* 162, 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.001>
- Giampietro, M., Mayumi, K., 1998. Another View of Development, Ecological Degradation, and North-South Trade. *Rev. Soc. Econ.* 56, 20–36. <https://doi.org/10.1080/00346769800000002>
- Giampietro, M., Mayumi, K., Sorman, A.H., 2011. *The Metabolic Pattern of Societies: Where Economists Fall Short*. Routledge, London; New York.
- Giljum, S., Dittrich, M., Lieber, M., Lutter, S., 2014. Global Patterns of Material Flows and their Socio-Economic and Environmental Implications: A MFA Study on All Countries World-Wide from 1980 to 2009. *Resources* 3, 319–339. <https://doi.org/10.3390/resources3010319>
- Girod, B., de Haan, P., 2009. GHG reduction potential of changes in consumption patterns and higher quality levels: Evidence from Swiss household consumption survey. *Energy Policy* 37, 5650–5661. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.026>
- Gleick, P.H., 2003. Global Freshwater Resources: Soft-Path Solutions for the 21st Century. *Science* 302, 1524–1528. <https://doi.org/10.1126/science.1089967>
- Goedkoop, M., Van Halen, C., te Riele, H., Rommens, P., 1999. Product service systems, ecological and economic basics. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Communications Directorate.

- Grafton, R.Q., Williams, J., Perry, C.J., Molle, F., Ringler, C., Steduto, P., Udall, B., Wheeler, S.A., Wang, Y., Garrick, D., Allen, R.G., 2018. The paradox of irrigation efficiency. *Science* 361, 748–750. <https://doi.org/10.1126/science.aat9314>
- Greening, L.A., Greene, D.L., Difiglio, C., 2000. Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey. *Energy Policy* 28, 389–401. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00021-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00021-5)
- Greenpeace, 2012. *How Clean is Your Air*. Amsterdam.
- Grosse, F., 2010. Is recycling “part of the solution”? The role of recycling in an expanding society and a world of finite resources. *SAPIENS Surv. Perspect. Integrating Environ. Soc.*
- Grossman, G.M., Krueger, A.B., 1995. Economic Growth and the Environment. *Q. J. Econ.* 110, 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Grossman, G.M., Krueger, A.B., 1991. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement (Working Paper No. 3914). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Grunwald, A., 2018. Diverging pathways to overcoming the environmental crisis: a critique of eco-modernism from a technology assessment perspective. *J. Clean. Prod.* 197, 1854–1862. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.212>
- Guivarch, C., Hallegatte, S., 2011. Existing infrastructure and the 2°C target. *Clim. Change* 109, 801–805. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0268-5>
- Hall, C.A., Klitgaard, K., A., 2012. *Energy and the wealth of nations: understanding the biophysical economy*. Springer Science & Business Media, New York.
- Hall, C.A.S., Lambert, J.G., Balogh, S.B., 2014. EROI of different fuels and the implications for society. *Energy Policy* 64, 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.049>
- Hardt, L., Owen, A., Brockway, P., Heun, M.K., Barrett, J., Taylor, P.G., Foxon, T.J., 2018. Untangling the drivers of energy reduction in the UK productive sectors: Efficiency or offshoring? *Appl. Energy* 223, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.127>
- Havlík, P., Schneider, U.A., Schmid, E., Böttcher, H., Fritz, S., Skalský, R., Aoki, K., Cara, S.D., Kindermann, G., Kraxner, F., Leduc, S., McCallum, I., Mosnier, A., Sauer, T., Obersteiner, M., 2011. Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy, Sustainability of biofuels* 39, 5690–5702. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.030>
- Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., Allen, M.F., 2014. Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 29, 766–779. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>
- Hickel, J., Kallis, G., 2019. Is Green Growth Possible? *New Polit. Econ.* 0, 1–18. <https://doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964>
- Hoekstra, A.Y., 2017. Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. *Water Resour. Manag.* 31, 3061–3081. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1618-5>
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., 2007. The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecol. Econ.* 64, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.023>
- Hoekstra, A.Y., Wiedmann, T.O., 2014. Humanity’s unsustainable environmental footprint. *Science* 344, 1114–1117. <https://doi.org/10.1126/science.1248365>
- Hornborg, A., 2019. Colonialism in the Anthropocene: the political ecology of the money-energy-technology complex. *J. Hum. Rights Environ.* 10, 7–21.

- Hornborg, A., 2016. *Global Magic - Technologies of Appropriation from Ancient Rome to Wall Street*. Palgrave Macmillan Ltd.
- Hornborg, A., 1998. Towards an ecological theory of unequal exchange: articulating world system theory and ecological economics. *Ecol. Econ.* 25, 127–136. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00100-6)
- Howarth, R.W., Santoro, R., Ingraffea, A., 2011. Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations. *Clim. Change* 106, 679. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0061-5>
- Hubacek, K., Baiocchi, G., Feng, K., Muñoz Castillo, R., Sun, L., Xue, J., 2017. Global carbon inequality. *Energy Ecol. Environ.* 2, 361–369. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0072-9>
- IEA, 2016. *Recent Trends in the OECD: Energy and CO₂ Emissions*. IEA.
- IPBES, 2019. *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES, Bonn.
- IPCC, 2018. *Global warming of 1.5°C*.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, New York.
- IRENA, 2018. *Global energy transformation: a roadmap to 2050*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Itkonen, J.V.A., 2012. Problems estimating the carbon Kuznets curve. *Energy, Sustainable Energy and Environmental Protection* 2010 39, 274–280. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.018>
- Jackson, T., 2016. *Prosperity without Growth : Foundations for the Economy of Tomorrow*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315677453>
- Jalas, M., 2002. A time use perspective on the materials intensity of consumption. *Ecol. Econ.* 41, 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00018-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00018-6)
- Jänicke, M., Mönch, H., Ranneberg, T., Simonis, U.E., 1989. Economic structure and environmental impacts: East-west comparisons. *Environmentalist* 9, 171–183. <https://doi.org/10.1007/BF02240467>
- Jespersen, J., 1999. Reconciling environment and employment by switching from goods to services? A review of danish experience. *Eur. Environ.* 9, 17–23. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0976\(199901/02\)9:1<17::AID-EET180>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0976(199901/02)9:1<17::AID-EET180>3.0.CO;2-J)
- Jevons, S.W., 1865. *The Coal Question; An Inquiry concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of our Coalmines*. Macmillan and Co., London.
- Jiang, X.-T., Dong, J.-F., Wang, X.-M., Li, R.-R., 2016. The Multilevel Index Decomposition of Energy-Related Carbon Emission and Its Decoupling with Economic Growth in USA. *Sustainability* 8, 857. <https://doi.org/10.3390/su8090857>
- Jiang, X.-T., Li, R., 2017. Decoupling and Decomposition Analysis of Carbon Emissions from Electric Output in the United States. *Sustainability* 9, 886. <https://doi.org/10.3390/su9060886>
- Jiborn, M., Kander, A., Kulionis, V., Nielsen, H., Moran, D.D., 2018. Decoupling or delusion? Measuring emissions displacement in foreign trade. *Glob. Environ. Change* 49, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.12.006>
- Kapp, K.W., 1950. *Social Costs of Private Enterprise*. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Kastner, T., Schaffartzik, A., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., Krausmann, F., 2014. Cropland area embodied in international trade: Contradictory results from different approaches. *Ecol. Econ.* 104, 140–144.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.12.003>

Katz, D.L., 2008. *Water, Economic Growth, and Conflict: Three Studies*. University of Michigan, Michigan.

Keen, S., Ayres, R.U., Standish, R., 2019. A Note on the Role of Energy in Production. *Ecol. Econ.* 157, 40–46.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.11.002>

Kemp, R., Pearson, P., 2008. Final report MEI project about measuring eco-innovation. Maastricht University, Maastricht.

Kerr, R.A., 2009. How Much Coal Remains? *Science* 323, 1420–1421.

Khazzoom, J.D., 1980. Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances. *Energy J.* 1, 21–40.

Kimberly, J.R., 1981. Managerial Innovation, in: *Handbook of Organizational Design*. Elsevier, Amsterdam.

Kleijn, R., van der Voet, E., Kramer, G.J., van Oers, L., van der Giesen, C., 2011. Metal requirements of low-carbon power generation. *Energy* 36, 5640–5648. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.003>

Koh, L.P., Wilcove, D.S., 2008. Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? *Conserv. Lett.* 1, 60–64.
<https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00011.x>

Koirala, B.S., Li, H., Berrens, R.P., 2011. Further Investigation of Environmental Kuznets Curve Studies Using Meta-Analysis. *J. Ecol. Econ. Stat.* 22, 13–32.

Kovacic, Z., Spanò, M., Piano, S.L., Sorman, A.H., 2018. Finance, energy and the decoupling: an empirical study. *J. Evol. Econ.* 28, 565–590. <https://doi.org/10.1007/s00191-017-0514-8>

Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Haberl, H., Bondeau, A., Gaube, V., Lauk, C., Plutzar, C., Searchinger, T.D., 2013. Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 10324–10329. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211349110>

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K., Haberl, H., Fridolin, K., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K., Haberl, H., 2009. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecol. Econ.* 2696–2705.

Krausmann, F., Lauk, C., Haas, W., Wiedenhofer, D., 2018. From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015. *Glob. Environ. Change* 52, 131–140.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.07.003>

Kumar, P., Aggarwal, S.C., 2003. The Environmental Kuznets Curve for Changing Land Use: Empirical Evidence from Major States of India (SSRN Scholarly Paper No. ID 991080). Social Science Research Network, Rochester, NY.

Kümmel, R., 2011. *The Second Law of Economics: Energy, Entropy, and the Origins of Wealth*. Springer Science & Business Media, New York.

Kyba, C.C.M., Kuester, T., Miguel, A.S. de, Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C.D., Gaston, K.J., Guanter, L., 2017. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Sci. Adv.* 3, e1701528.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>

Lambert, J.G., Hall, C.A.S., Balogh, S., Gupta, A., Arnold, M., 2014. Energy, EROI and quality of life. *Energy Policy* 64, 153–167. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.001>

Lambin, E.F., Meyfroidt, P., 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 3465–3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>

Laurent, É., 2012. Faut-il décourager le découplage ? *Rev. OFCE* n° 120, 235–257.

- Lean, H.H., Smyth, R., 2010. CO2 emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Appl. Energy* 87, 1858–1864. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.02.003>
- Li, H., Berrens, R., Grijalva, T., 2007. Economic growth and environmental quality: a meta-analysis of environmental Kuznets curve studies. *Econ. Bull.* 17, 1–11.
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S.N., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S., Hanasaki, N., Wada, Y., Zhang, X., Zheng, C., Alcamo, J., Oki, T., 2017. Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earths Future* 5, 545–559. <https://doi.org/10.1002/2016EF000518>
- Loch, A., Adamson, D., 2015. Drought and the rebound effect: a Murray–Darling Basin example. *Nat. Hazards* 79, 1429–1449. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1705-y>
- Longhofer, W., Jorgenson, A., 2017. Decoupling reconsidered: Does world society integration influence the relationship between the environment and economic development? *Soc. Sci. Res.* 65, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.ssresearch.2017.02.002>
- Lu, C., Tian, H., 2017. Global nitrogen and phosphorus fertilizer use for agriculture production in the past half century: shifted hot spots and nutrient imbalance. *Earth Syst. Sci. Data* 9, 181. <https://doi.org/10.5194/essd-9-181-2017>
- Luzzati, T., Orsini, M., 2009. Investigating the energy-environmental Kuznets curve. *Energy, WESC* 2006 34, 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.07.006>
- Madaleno, M., Moutinho, V., 2018. Effects decomposition: separation of carbon emissions decoupling and decoupling effort in aggregated EU-15. *Environ. Dev. Sustain.* 20, 181–198. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0238-4>
- Magee, C.L., Devezas, T.C., 2017. A simple extension of dematerialization theory: Incorporation of technical progress and the rebound effect. *Technol. Forecast. Soc. Change* 117, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.12.001>
- Malmödin, J., Moberg, Å., Lundén, D., Finnveden, G., Lövehagen, N., 2010. Greenhouse Gas Emissions and Operational Electricity Use in the ICT and Entertainment & Media Sectors. *J. Ind. Ecol.* 14, 770–790. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00278.x>
- Mardani, A., Streimikiene, D., Cavallaro, F., Loganathan, N., Khoshnoudi, M., 2019. Carbon dioxide (CO2) emissions and economic growth: A systematic review of two decades of research from 1995 to 2017. *Sci. Total Environ.* 649, 31–49. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.229>
- Margono, B.A., Turubanova, S., Zhuravleva, I., Potapov, P., Tyukavina, A., Baccini, A., Goetz, S., Hansen, M.C., 2012. Mapping and monitoring deforestation and forest degradation in Sumatra (Indonesia) using Landsat time series data sets from 1990 to 2010. *Environ. Res. Lett.* 7, 034010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034010>
- Marques, A.C., Fuinhas, J.A., Leal, P.A., 2018. The impact of economic growth on CO2 emissions in Australia: the environmental Kuznets curve and the decoupling index. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 27283–27296. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2768-6>
- Mattila, T., 2012. Any sustainable decoupling in the Finnish economy? A comparison of the pathways and sensitivities of GDP and ecological footprint 2002–2005. *Ecol. Indic., The State of the Art in Ecological Footprint: Theory and Applications* 16, 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.010>
- McDonough, W., Braungart, M., 2010. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Farrar, Straus and Giroux.
- McPherson, M.A., Nieswiadomy, M.L., 2005. Environmental Kuznets curve: threatened species and spatial effects. *Ecol. Econ.* 55, 395–407. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.004>

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2016. Four billion people facing severe water scarcity. *Sci. Adv.* 2, e1500323. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>

Mills, J.H., Waite, T.A., 2009. Economic prosperity, biodiversity conservation, and the environmental Kuznets curve. *Ecol. Econ., Methodological Advancements in the Footprint Analysis* 68, 2087–2095. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.01.017>

Missemer, A., 2012. William Stanley Jevons' The Coal Question (1865), beyond the rebound effect. *Ecol. Econ.* 82, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.010>

Moeller, D., Murphy, D., 2016. Net Energy Analysis of Gas Production from the Marcellus Shale. *Biophys. Econ. Resour. Qual.* 1, 5. <https://doi.org/10.1007/s41247-016-0006-8>

Moore, J.W., 2000. Sugar and the Expansion of the Early Modern World-Economy: Commodity Frontiers, Ecological Transformation, and Industrialization. *Rev. Fernand Braudel Cent.* 23, 409–433.

Mora, C., Rollins, R.L., Taladay, K., Kantar, M.B., Chock, M.K., Shimada, M., Franklin, E.C., 2018. Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C. *Nat. Clim. Change* 8, 931. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0321-8>

Moreau, V., Vuille, F., 2018. Decoupling energy use and economic growth: Counter evidence from structural effects and embodied energy in trade. *Appl. Energy* 215, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.044>

Morgan, T., 2016. *Life After Growth (2nd): How the global economy really works - and why 200 years of growth are over.* Harriman House Limited, Petersfield.

Mozumder, P., Berrens, R.P., Bohara, A.K., 2006. Is There an Environmental Kuznets Curve for the Risk of Biodiversity Loss? *J. Dev. Areas* 39, 175–190.

Muñoz, P., Giljum, S., Roca, J., 2009. The Raw Material Equivalents of International Trade. *J. Ind. Ecol.* 13, 881–897. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00154.x>

Muradian, R., O'Connor, M., Martinez-Alier, J., 2001. Embodied Pollution in Trade: Estimating the "Environmental Load Displacement" of Industrialised Countries (SSRN Scholarly Paper No. ID 278809). Social Science Research Network, Rochester, NY.

Murphy, D.J., Hall, C.A.S., 2011. Energy return on investment, peak oil, and the end of economic growth: EROI, peak oil, and the end of economic growth. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1219, 52–72. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05940.x>

Murray, C.K., 2013. What if consumers decided to all 'go green'? Environmental rebound effects from consumption decisions. *Energy Policy, Decades of Diesel* 54, 240–256. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.025>

Naidoo, R., Adamowicz, W.L., 2001. Effects of Economic Prosperity on Numbers of Threatened Species. *Conserv. Biol.* 15, 1021–1029. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.0150041021.x>

Naqvi, A., Zwickl, K., 2017. Fifty shades of green: Revisiting decoupling by economic sectors and air pollutants. *Ecol. Econ.* 133, 111–126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.09.017>

OECD, 2016. Uranium, 2016. Resources, Production and Demand (No. 7301), NEA. Nuclear Energy Agency and International Atomic Energy Agency.

OECD, 2011. *Towards Green Growth.*

- OECD, 2002. Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth [WWW Document]. URL https://www.oecd-ilibrary.org/environment/decoupling-the-environmental-impacts-of-transport-from-economic-growth/decoupling-indicators_9789264027138-6-en (accessed 6.14.19).
- Oki, T., Yano, S., Hanasaki, N., 2017. Economic aspects of virtual water trade. *Environ. Res. Lett.* 12, 044002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa625f>
- O'Neill, D.W., Fanning, A.L., Lamb, W.F., Steinberger, J.K., 2018. A good life for all within planetary boundaries. *Nat. Sustain.* 1, 88. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4>
- Palmer, P., 2005. *Getting to Zero Waste. Universal recycling as a practical alternative to endless attempts to "clean up pollution."* Purple Sky Press, Portland.
- Panayotou, T., 1993. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development (No. 992927783402676), ILO Working Papers. International Labour Organization.
- Panayotou, T., Peterson, A., Sachs, J.D., 2000. Is the Environmental Kuznets Curve Driven by Structural Change? What Extended Time Series May Imply for Developing Countries. <https://doi.org/10.7916/D8CV4QJF>
- Peters, G., 2008. Reassessing Carbon Leakage 12.
- Peters, G.P., Minx, J.C., Weber, C.C., Edenhofer, O., 2011. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *PNAS* 108, 8903–8908.
- Piłatowska, M., Włodarczyk, A., 2018. Decoupling Economic Growth From Carbon Dioxide Emissions in the EU Countries. *Montenegrin J. Econ.* 14, 7–26. <https://doi.org/10.14254/1800-5845/2018.14-1.1>
- Pitron, G., Védrine, H., 2018. *La guerre des métaux rares : La face cachée de la transition énergétique et numérique.* Liens qui libèrent, Paris.
- Plank, B., Eisenmenger, N., Schaffartzik, A., Wiedenhofer, D., 2018. International Trade Drives Global Resource Use: A Structural Decomposition Analysis of Raw Material Consumption from 1990–2010. *Environ. Sci. Technol.* 52, 4190–4198. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06133>
- Raymond, L., 2004. Economic Growth as Environmental Policy? Reconsidering the Environmental Kuznets Curve. *J. Public Policy* 24, 327–348. <https://doi.org/10.1017/S0143814X04000145>
- Reuter, M., Schaik, A., Ballester, M., 2018. Limits of the Circular Economy: Fairphone Modular Design Pushing the Limits. *World Metall. - ERZMETALL* 71.
- Reyers, B., Folke, C., Moore, M.-L., Biggs, R., Galaz, V., 2018. Social-Ecological Systems Insights for Navigating the Dynamics of the Anthropocene. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 43, 267–289. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085349>
- Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Schellnhuber, H.J., 2017. A roadmap for rapid decarbonization. *Science* 355, 1269–1271. <https://doi.org/10.1126/science.aah3443>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Roinioti, A., Koroneos, C., 2017. The decomposition of CO₂ emissions from energy use in Greece before and during the economic crisis and their decoupling from economic growth. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 76, 448–459. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.026>
- Rubenstein, M., 2012. Emissions from the Cement Industry. *State Planet.* URL <https://blogs.ei.columbia.edu/2012/05/09/emissions-from-the-cement-industry/> (accessed 6.3.19).

- Sandström, V., Kauppi, P.E., Scherer, L., Kastner, T., 2017. Linking country level food supply to global land and water use and biodiversity impacts: The case of Finland. *Sci. Total Environ.* 575, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.002>
- Santarius, T., Soland, M., 2018. How Technological Efficiency Improvements Change Consumer Preferences: Towards a Psychological Theory of Rebound Effects. *Ecol. Econ.* 146, 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.12.009>
- Sato, M., 2014. Embodied Carbon in Trade: A Survey of the Empirical Literature. *J. Econ. Surv.* 28, 831–861. <https://doi.org/10.1111/joes.12027>
- Saunders, H.D., 2005. A Calculator for Energy Consumption Changes Arising from New Technologies 5, 35.
- Saunders, H.D., 1992. The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth. *Energy J.* 13, 131–148.
- Schandl, H., Fischer-Kowalski, M., West, J., Giljum, S., Dittrich, M., Eisenmenger, N., Geschke, A., Lieber, M., Wieland, H., Schaffartzik, A., Krausmann, F., Gierlinger, S., Hosking, K., Lenzen, M., Tanikawa, H., Miatto, A., Fishman, T., 2018. Global Material Flows and Resource Productivity: Forty Years of Evidence. *J. Ind. Ecol.* 22, 827–838. <https://doi.org/10.1111/jiec.12626>
- Scheidel, A., Sorman, A.H., 2012. Energy transitions and the global land rush: Ultimate drivers and persistent consequences. *Glob. Environ. Change, Global transformations, social metabolism and the dynamics of socio-environmental conflicts* 22, 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.12.005>
- Schindler, J., Zittel, W., 2007. Alternative World Energy Outlook 2006, in: Goswami, D.Y. (Ed.), *Advances in Solar Energy*. American Solar Energy Society, Earthscan, London, pp. 1–44.
- Schreinemachers, P., Tipraqsa, P., 2012. Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy* 37, 616–626. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.06.003>
- Schulz, N.B., 2010. Delving into the carbon footprints of Singapore—comparing direct and indirect greenhouse gas emissions of a small and open economic system. *Energy Policy, Special Section on Carbon Emissions and Carbon Management in Cities with Regular Papers* 38, 4848–4855. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.066>
- Schwanitz, V.J., Piontek, F., Bertram, C., Luderer, G., 2014. Long-term climate policy implications of phasing out fossil fuel subsidies. *Energy Policy* 67, 882–894. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.015>
- Schwarzenbach, R.P., Egli, T., Hofstetter, T.B., von Gunten, U., Wehrli, B., 2010. Global Water Pollution and Human Health. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 35, 109–136. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>
- Semeniuk, G., 2018. Energy in Economic Growth: Is Faster Growth Greener? SOAS Dep. Econ. Work. Pap. Univ. Lond.
- Sersiron, N., 2018. Dette et extractivisme: La résistible ascension d'un duo destructeur. Les Éditions Utopia.
- Shafik, N., Bandyopadhyay, S., 1992. Economic Growth and Environmental Quality: Time-series and Cross-country Evidence. World Bank Publications.
- Smith, M., 2011. Water Efficiency and Opportunities Best Practice Guides. ANU Fenner School of Environmental and Society/ Commonwealth Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities., Canberra.
- Smith, M.H., Hargroves, K. "Charlie", Desha, C., 2010. Cents and Sustainability : Securing Our Common Future by Decoupling Economic Growth from Environmental Pressures. Earthscan/Routledge, London.
- Sorrell, S., 2007. Global oil depletion: an assessment of the evidence for a near-term peak in global oil production. UKERC, London.

- Spielmann, M., de Haan, P., Scholz, R.W., 2008. Environmental rebound effects of high-speed transport technologies: a case study of climate change rebound effects of a future underground maglev train system. *J. Clean. Prod.* 16, 1388–1398. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.001>
- Stahel, W.R., Reday-Mulvey, G., 1981. *Jobs for tomorrow : the potential for substituting manpower for energy*, 1st ed. ed. New York : Vantage Press.
- Steen-Olsen, K., Weinzettel, J., Cranston, G., Ercin, A.E., Hertwich, E.G., 2012. Carbon, Land, and Water Footprint Accounts for the European Union: Consumption, Production, and Displacements through International Trade. *Environ. Sci. Technol.* 46, 10883–10891. <https://doi.org/10.1021/es301949t>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., Vries, W. de, Wit, C.A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T.M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C.P., Barnosky, A.D., Cornell, S.E., Crucifix, M., Donges, J.F., Fetzer, I., Lade, S.J., Scheffer, M., Winkelmann, R., Schellnhuber, H.J., 2018. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115, 8252–8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Stern, D.I., 2004. The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Dev.* 32, 1419–1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Stiglitz, J.E., Stern, N., Duan, M., Edenhofer, O., Giraud, G., Heal, G., Lèbre la Rovere, E., Morris, A., Moyer, E., Pangestu, M., Shukla, P., Sokona, Y., Winkler, H., 2017. Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. Carbon Pricing Leadership Coalition.
- Storm, S., Schröder, E., 2018. Economic Growth and Carbon Emissions: The Road to ‘Hothouse Earth’ is Paved with Good Intentions (SSRN Scholarly Paper No. ID 3306271). Social Science Research Network, Rochester, NY.
- Strokal, M., Spanier, J.E., Kroeze, C., Koelmans, A.A., Flörke, M., Franssen, W., Hofstra, N., Langan, S., Tang, T., van Vliet, M.T., Wada, Y., Wang, M., van Wijnen, J., Williams, R., 2019. Global multi-pollutant modelling of water quality: scientific challenges and future directions. *Curr. Opin. Environ. Sustain., Environmental Change Assessment* 36, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.11.004>
- Strumsky, D., Lobo, J., Tainter, J.A., 2010. Complexity and the productivity of innovation. *Syst. Res. Behav. Sci.* 27, 496–509. <https://doi.org/10.1002/sres.1057>
- Suh, S., 2006. Are Services Better for Climate Change? *Environ. Sci. Technol.* 40, 6555–6560. <https://doi.org/10.1021/es0609351>
- Szlavik, J., Szép, T.S., 2017. Delinking of Energy Consumption and Economic Growth in the Visegard Group. *Geogr. Tech.* 12, 139–49.
- Takahashi, K.I., Tatemichi, H., Tanaka, T., Nishi, S., Kunioka, T., 2004. Environmental impact of information and communication technologies including rebound effects, in: *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2004. Conference Record. 2004. Presented at the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2004. Conference Record. 2004*, pp. 13–16. <https://doi.org/10.1109/ISEE.2004.1299680>
- Tevie, J., Grimsrud, K.M., Berrens, R.P., 2011. Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Biodiversity Risk in the US: A Spatial Econometric Approach. *Sustainability* 3, 2182–2199. <https://doi.org/10.3390/su3112182>
- The Fiber Year, 2016. *The Fiber Year 2016. World Survey on Textiles and Nonwovens (No. Issue 16)*. Speicher, Switzerland.
- The Material Flow Analysis Portal [WWW Document], 2015. . Materialflows. URL <http://www.materialflows.net> (accessed 5.23.19).

The Pembina Institute, 2014. Alternative Fuel Use in Cement Manufacturing: Implications, opportunities and barriers in Ontario. Pembina Institute.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B.L., 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 20260–20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>

Tukker, A., Bulavskaya, T., Giljum, S., de Koning, A., Lutter, S., Simas, M., Stadler, K., Wood, R., 2016. Environmental and resource footprints in a global context: Europe's structural deficit in resource endowments. *Glob. Environ. Change* 40, 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.07.002>

Turner, A.J., Jacob, D.J., Benmergui, J., Wofsy, S.C., Maasackers, J.D., Butz, A., Hasekamp, O., Biraud, S.C., 2016. A large increase in U.S. methane emissions over the past decade inferred from satellite data and surface observations. *Geophys. Res. Lett.* 43, 2218–2224. <https://doi.org/10.1002/2016GL067987>

UNEP, 2015. Options for decoupling economic growth from water use and water pollution. Report of the International Resource Panel Working Group on Sustainable Water Management.

UNEP, 2014a. Decoupling 2: technologies, opportunities and policy options. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. UNEP.

UNEP, 2014b. Managing and conserving the natural resource base for sustained economic and social development. UNEP, Nairobi.

UNEP, 2011a. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication .. Sustainable Development Knowledge Platform.

UNEP, 2011b. Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth.

UNEP/Earthprint.

UNEP, 2011c. Recycling Rates of Metals - A Status Report. Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel.

UN-Water, 2009. Water in a Changing World. Earthscan.

Vačkář, D., ten Brink, B., Loh, J., Baillie, J.E.M., Reyers, B., 2012. Review of multispecies indices for monitoring human impacts on biodiversity. *Ecol. Indic., Indicators of environmental sustainability: From concept to applications* 17, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.024>

Valero, Alicia, Valero, Antonio, Calvo, G., Ortego, A., 2018. Material bottlenecks in the future development of green technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 93, 178–200. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.041>

Van Alstine, J., Neumayer, E., 2010. The environmental Kuznets curve, in: *Handbook on Trade and the Environment*. Edward Elgar Publishing.

Van Caneghem, J., Block, C., Van Hooste, H., Vandecasteele, C., 2010. Eco-efficiency trends of the Flemish industry: decoupling of environmental impact from economic growth. *J. Clean. Prod.* 18, 1349–1357. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.05.019>

van de Lindt, M., Emmert, S., Tukker, A., Anger-Kraavi, A., Neuhof, K., Blachowicz, A., Derwent, H., Carr, A., Canzi, G., Crawford-Brown, D., 2017. Report: Carbon-CAP Findings. *Clim. Strateg.* URL <https://climatestrategies.org/publication/carbon-cap-final-report/> (accessed 6.15.19).

van den Bergh, J.C.J.M. van den, 2017. Rebound policy in the Paris Agreement: instrument comparison and climate-club revenue offsets. *Clim. Policy* 17, 801–813. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1169499>

- Van Heddeghem, W., Lambert, S., Lannoo, B., Colle, D., Pickavet, M., Demeester, P., 2014. Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012. *Comput. Commun., Green Networking* 50, 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.02.008>
- van Vliet, M.T., Flörke, M., Wada, Y., 2017. Quality matters for water scarcity. *Nat Geosci* 10, 800. <https://doi.org/10.1038/ngeo3047>
- Vidal, O., Goffé, B., Arndt, N., 2013. Metals for a low-carbon society. *Nat. Geosci.* 6, 894–896. <https://doi.org/10.1038/ngeo1993>
- Vörösmarty, C.J., Hoekstra, A.Y., Bunn, S.E., Conway, D., Gupta, J., 2015. Fresh water goes global. *Science* 349, 478–479. <https://doi.org/10.1126/science.aac6009>
- Wada, Y., Bierkens, M.F.P., 2014. Sustainability of global water use: past reconstruction and future projections. *Environ. Res. Lett.* 9, 104003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104003>
- Wagner, M., 2008. The carbon Kuznets curve: A cloudy picture emitted by bad econometrics? *Resour. Energy Econ.* 30, 388–408. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.11.001>
- Wallenborn, G., 2018. Rebounds Are Structural Effects of Infrastructures and Markets. *Front. Energy Res.* 6. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00099>
- Wallerstein, I., 1974. *The Modern World-System I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century*. Academic Press, New York.
- Wang, H., Zhao, S., Wei, Y., Yue, Q., Du, T., 2018. Measuring the Decoupling Progress in Developed and Developing Countries. Presented at the 8th International Conference on Management and Computer Science (ICMCS 2018), Atlantis Press. <https://doi.org/10.1016/j.icmcs-18.2018.77>
- Wang, Q., Jiang, R., Zhan, L., 2019. Is decoupling economic growth from fuel consumption possible in developing countries? – A comparison of China and India. *J. Clean. Prod.* 229, 806–817. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.403>
- Wang, R., Hertwich, E., Zimmerman, J.B., 2016. (Virtual) Water Flows Uphill toward Money. *Env. Sci Technol* 50, 12320–12330. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03343>
- Wang, S., Li, R., 2018. Toward the Coordinated Sustainable Development of Urban Water Resource Use and Economic Growth: An Empirical Analysis of Tianjin City, China. *Sustainability* 10, 1323. <https://doi.org/10.3390/su10051323>
- Ward, F.A., Pulido-Velazquez, M., 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 105, 18215–18220. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805554105>
- Ward, J.D., Sutton, P.C., Werner, A.D., Costanza, R., Mohr, S.H., Simmons, C.T., 2016. Is Decoupling GDP Growth from Environmental Impact Possible? *PLOS ONE* 11, e0164733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164733>
- WEA, 2014. Etude Web Energy Archive: La Consommation Énergétique Des Sites Web, Côté Utilisateur [WWW Document]. Green Code Lab. URL <https://www.greencodelab.org/vie-du-green-code-lab/etude-web-energy-archive-la-consommation-energetique-des-sites-web-cote-utilisateur/> (accessed 11.15.18).
- Weinzettel, J., Hertwich, E.G., Peters, G.P., Steen-Olsen, K., Galli, A., 2013. Affluence drives the global displacement of land use. *Glob. Environ. Change* 23, 433–438. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.010>
- Wiedmann, T.O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., Kanemoto, K., 2015. The material footprint of nations. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, 6271–6276. <https://doi.org/10.1073/pnas.1220362110>
- Wood, R., Stadler, K., Simas, M., Bulavskaya, T., Giljum, S., Lutter, S., Tukker, A., 2018. Growth in Environmental Footprints and Environmental Impacts Embodied in Trade: Resource Efficiency Indicators from EXIOBASE3. *J. Ind. Ecol.* 22, 553–564. <https://doi.org/10.1111/jiec.12735>

World Bank, 2012. Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9551-6>

Wu, Y., Zhu, Q., Zhu, B., 2018. Comparisons of decoupling trends of global economic growth and energy consumption between developed and developing countries. *Energy Policy* 116, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.047>

Yang, Y., Bae, J., Kim, J., Suh, S., 2012. Replacing Gasoline with Corn Ethanol Results in Significant Environmental Problem-Shifting. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3671–3678. <https://doi.org/10.1021/es203641p>

York, R., 2012. Do alternative energy sources displace fossil fuels? *Nat. Clim. Change* 2, 441–443. <https://doi.org/10.1038/nclimate1451>

York, R., 2006. Ecological Paradoxes: William Stanley Jevons and the Paperless Office. *Hum. Ecol. Rev.* 13, 143–147.

Yu, Y., Feng, K., Hubacek, K., 2013. Tele-connecting local consumption to global land use. *Glob. Environ. Change* 23, 1178–1186. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.04.006>

Zehner, O., 2012. *Green Illusions: The Dirty Secrets of Clean Energy and the Future of Environmentalism*. University of Nebraska Press, Lincoln.

Zhang, C., Chen, W.-Q., Liu, G., Zhu, D.-J., 2017. Economic Growth and the Evolution of Material Cycles: An Analytical Framework Integrating Material Flow and Stock Indicators. *Ecol. Econ.* 140, 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.021>

Zhao, X., Liu, J., Liu, Q., Tillotson, M.R., Guan, D., Hubacek, K., 2015. Physical and virtual water transfers for regional water stress alleviation in China. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, 1031–1035. <https://doi.org/10.1073/pnas.1404130112>

Zhao, X., Liu, J., Yang, H., Duarte, R., Tillotson, M.R., Hubacek, K., 2016. Burden shifting of water quantity and quality stress from megacity Shanghai: BURDEN SHIFTING OF WATER STRESS FROM MEGACITY SHANGHAI. *Water Resour. Res.* 52, 6916–6927. <https://doi.org/10.1002/2016WR018595>