POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Il mito della crescita verde. Perché non è possibile disaccoppiare la crescita economica dalla crescita dell'impatto ambientale: prove e argomentazioni

Original
Il mito della crescita verde. Perché non è possibile disaccoppiare la crescita economica dalla crescita dell'impatto ambientale: prove e argomentazioni / Sacco, M., Kirschner, L., Cardito, M., Kraehmer, K.B.. - STAMPA. - (2020).

Availability:
This version is available at: 11583/2971260 since: 2022-09-13T13:54:49Z

Publisher:
Lu::Ce edizioni

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

28 November 2026

EEB
European Environmental Bureau

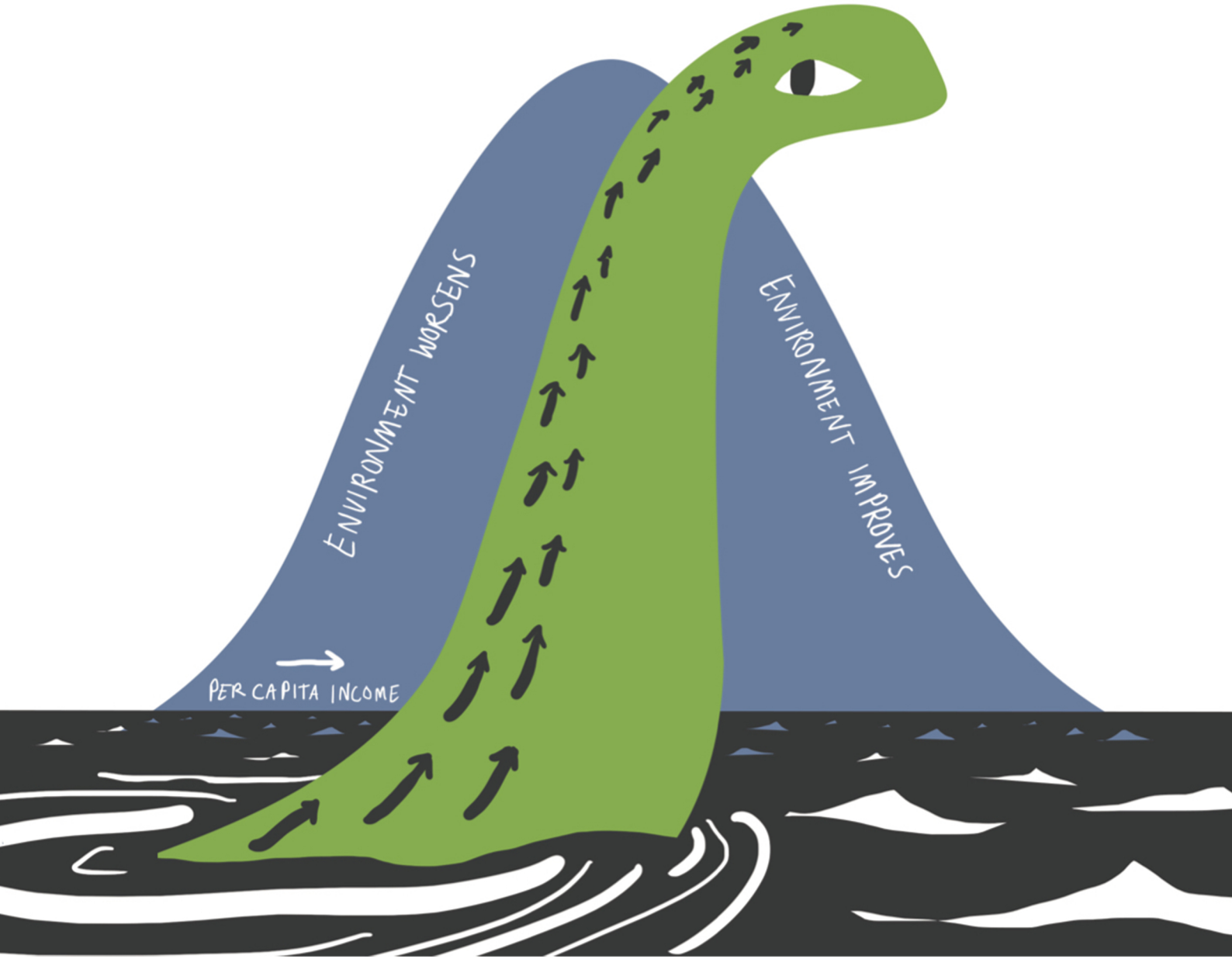
MDF
MOVIMENTO PER LA DECRESCITA FELICE

Traduzione italiana a cura del
Movimento per la Decrescita Felice

MAKE EUROPE SUSTAINABLE FOR ALL

Il mito della crescita verde

Perché non è possibile disaccoppiare la crescita economica dalla crescita dell'impatto ambientale: prove e argomentazioni



Il mito della crescita verde

Perché non è possibile disaccoppiare la crescita economica dalla crescita dell'impatto ambientale: prove e argomentazioni

Parrique T., Barth J., Briens F., C. Kerschner, Kraus-Polk A., Kuokkanen A., Spangenberg J.H.

Corresponding author at: tparrique@gmail.com

July 2019



Data di pubblicazione: Luglio 2019

Autori del report
Timothée Parrique, Centro per Studi e Ricerche sullo Sviluppo Internazionale (CERDI), Università di Clermont Auvergne, Francia; Stockholm Resilience Centre (SRC), Università di Stoccolma, Svezia
Jonathan Barth, ZOE.Institute for Future-Fit Economies, Bonn, Germania
François Briens, Ricercatore Indipendente, Centro di Ricerca Informale per l'Emancipazione Umana (IRCHE)
Christian Kerschner, Dipartimento di Sostenibilità, Governance e Metodologia, MODUL University Wien, Austria; Dipartimento di Studi Ambientali, Masaryk University, Brno, Repubblica Ceca
Alejo Kraus-Polk, Università di California, Davis, USA
Anna Kuokkanen, Lappeenranta-Lahti University of Technology, Lahti, Finlandia
Joachim H. Spangenberg, Sustainable Europe Research Institute (SERI Germania), Colognia, Germania

Per fare riferimento al report completo
Parrique T., Barth J., Briens F., C. Kerschner, Kraus-Polk A., Kuokkanen A., Spangenberg J.H., 2019. Decoupling debunked: Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability.
European Environmental Bureau.

Autore corrispondente: tparrique@gmail.com

Il report è disponibile online: eeb.org/decoupling-debunked

Report produced for and disseminated by:

European Environmental Bureau
www.eeb.org

Con l'assistenza del
Deutscher Naturschutzring
www.dnr.de

Con il supporto per la ricerca da
Zoe.Institute for Future-Fit Economies
zoe-institut.de/en

Ringraziamenti

Vorremmo ringraziare tutti quelli che in vario modo hanno contribuito a questo lavoro: Sam Bliss, Maria Brück, Martin Bruckner, Iñigo Capellán Pérez, Mikuláš Černík, Fabrice Flipo, David Font, Jaune Freire, Mario Giampetro, Stefan Giljum, Christoph Gran, Klaus Hubacek, Theresa Klostermeyer, Anna-Lena Laurich, Nick Meynen, Patrizia Heidegger, Katharina Wiese, Simon de Muynck, Hannah Strobel. Un ringraziamento speciale a Kristin Langen per aver lanciato il progetto.
Impaginazione e Stampa: Cooperativa Eco-Stamperia De Wrikker cvba - www.dewrikker.be
Illustrazionl: Gemma Bowcock (EEB)

La responsabilità per eventuali errori è degli autori (e traduttori).

La traduzione in italiano è stata curata dal Movimento per la Decrescita Felice (MDF)

Traduzione:
Marco Sacco (MDF Venezia),
Ludovica Kirschner (MDF Venezia),
Michel Cardito (MDF Brescia),
Karl Krähmer (MDF Torino)

Impaginazione:
Elena Tioli (Responsabile Comunicazione MDF)

Revisione:
Ludovica Kirschner (MDF Venezia),
Silvio Cristiano (esterno)

Ringraziamo gli autori per questo eccellente lavoro e ci auguriamo che possa contribuire anche in Italia a stimolare un più ampio dibattito sul benessere oltre la crescita economica.

Movimento per la Decrescita Felice
www.decrescitafelice.it
info@decrescitafelice.it
https://www.facebook.com/mdecrescitafelice/
https://www.youtube.com/user/MovDecrescitaFelice

Sintesi

È possibile godere dei benefici della crescita economica e raggiungere allo stesso tempo la sostenibilità ambientale? Questa domanda è oggetto di un agguerrito dibattito politico tra chi porta avanti, rispettivamente, le idee della crescita verde e della decrescita (o post-crescita). Nell'ultimo decennio, la crescita verde è stata chiaramente la narrazione politicamente dominante: le agende di ONU, Unione Europea e di molti paesi si sono basate sull'assunto che il disaccoppiamento dell'impatto ambientale dal PIL possa permettere in futuro una crescita economica infinita.

Considerando l'importanza delle questioni in gioco, è necessaria una valutazione attenta per determinare se siano solide o meno le fondamenta scientifiche alla base di questa "ipotesi del disaccoppiamento". Questo report propone una revisione della letteratura empirica e teorica per verificare questa ipotesi. La conclusione è allo stesso tempo prepotentemente chiara e deludente: non solo non ci sono prove empiriche per supportare l'esistenza di un disaccoppiamento della crescita economica dall'impatto ambientale, di un'entità anche solo prossima a quella necessaria ad affrontare il collasso ambientale, ma anche, e questo forse è ancora più importante, sembra improbabile che questo disaccoppiamento possa avvenire in futuro.

È urgente considerare le conseguenze di questi risultati nella definizione delle politiche, e allontanarsi dunque per cautela dal perseguimento continuo della crescita economica nei paesi ad alti livelli di consumo. Più precisamente, le strategie politiche esistenti dirette all'incremento dell'efficienza dovranno essere completate dalla ricerca della sufficienza, cioè dalla diretta riduzione della produzione economica in molti settori, e dalla parallela riduzione dei consumi, il che permetterà insieme un'alta qualità di vita all'interno dei limiti ecologici del pianeta. Secondo gli autori di questo report, basandosi sulle migliori evidenze scientifiche, solo strategie di questo tipo rispettano il 'principio di precauzione' dell'Unione Europea, secondo il quale, quando i valori in gioco sono elevati e i risultati incerti, è giusto muoversi con prudenza.

Il fatto che il disaccoppiamento di per sé, cioè senza affrontare la questione della crescita economica, non è stato e non sarà sufficiente per ridurre gli impatti ambientali nell'entità richiesta, non è un motivo sufficiente per opporsi al disaccoppiamento (nel senso letterale di separare la curva dell'impatto ecologico dalla curva del PIL) o alle misure per raggiungere il disaccoppiamento - al contrario, senza molte di queste misure la situazione sarebbe ben peggiore. È un motivo però per preoccuparsi maggiormente dell'attenzione predominante che i responsabili politici riservano alla crescita verde, essendo questa attenzione basata sull'assunto errato che un disaccoppiamento sufficiente possa essere raggiunto attraverso un incremento dell'efficienza, senza limitare produzione e consumo.

I risultati della ricerca in sintesi

> Per analizzare la questione del disaccoppiamento è necessaria una cornice analitica rigorosa. A seconda degli indicatori presi in considerazione per misurare le attività economiche, gli impatti ambientali, e l'entità del loro cambiamento, il disaccoppiamento può essere caratterizzato in diversi modi. Può essere globale come locale, relativo o assoluto, conteggiato su base territoriale come in riferimento all'impronta ecologica, può avvenire per un breve o lungo periodo di tempo, e infine, dovrebbe essere analizzato tenendo conto di rilevanti soglie ambientali, degli obiettivi politici e del contesto socio-economico generale, per poter valutare l'adeguatezza della sua entità, prendendo in considerazione anche questioni di equità.

> La validità del discorso della crescita verde dipende dal presupposto di un disaccoppiamento della crescita economica da tutti gli impatti ambientali critici, assoluto, permanente, globale, sufficientemente consistente e veloce. La letteratura presa in esame mostra con chiarezza che **non c'è evidenza empirica di un tale disaccoppiamento in questo momento storico**. Questo è il caso di materiali, energia, acqua, gas serra, suolo, inquinanti dell'acqua e perdita di biodiversità, per i quali il disaccoppiamento è stato o solo relativo e/o osservato solo temporaneamente, e/o solo localmente. Nella maggior parte dei casi il disaccoppiamento è relativo. Quando avviene il disaccoppiamento assoluto, viene osservato solo durante periodi di tempo abbastanza brevi, riguarda solo alcune risorse o forme di impatto, in aree geografiche circoscritte e con tassi di mitigazione molto ridotti.

> Ci sono almeno **sette motivi per essere scettici** rispetto al raggiungimento di un disaccoppiamento sufficiente in futuro. Ognuno di questi da solo fa dubitare della possibilità di un disaccoppiamento sufficiente e, dunque, della fattibilità della 'crescita verde'. Presi tutti insieme, **l'ipotesi che il disaccoppiamento permetterà una continua crescita economica senza un aumento dell'impatto ambientale appare altamente compromessa, se non chiaramente irrealistica**.

1. **L'aumento della spesa energetica**. Quando una risorsa naturale viene estratta, generalmente vengono utilizzate per prime le fonti più economiche. L'estrazione dalle fonti rimanenti diventa poi più dispendiosa in termini di risorse ed energia, con il conseguente aumento del degrado ambientale per unità di risorsa estratta.
2. **Effetti rimbalzo**. Gli aumenti di efficienza sono spesso parzialmente o completamente compensati da una nuova allocazione di risorse e denaro risparmiati o verso un incremento dello stesso tipo di consumo (es. l'uso più frequente di un'auto più efficiente) o verso altri tipi di consumo impattanti (es. l'acquisto di un biglietto aereo per vacanze in mete lontane con i soldi risparmiati sul carburante). Possono inoltre innescare cambiamenti strutturali dell'economia, che risultano in un consumo più elevato (es. più auto efficienti rafforzano un sistema dei trasporti basato sull'automobile, a spese di alternative più ecologiche, come il trasporto pubblico e le biciclette).

3. **Spostamento dei problemi**. Soluzioni tecnologiche a un problema ambientale possono crearne di nuovi e⁄o peggiorarne altri. Per esempio, la produzione di auto elettriche private mette sotto pressione le risorse di litio, rame e cobalto; la produzione di biocombustibili invece desta preoccupazione per l'uso del suolo; mentre l'energia nucleare comporta rischi di incidenti e problemi logistici riguardanti la gestione delle scorie.
4. **L'impatto sottostimato dei servizi**. L'economia dei servizi può esistere solo in aggiunta all'economia materiale, non al suo posto. I servizi hanno un'impronta ecologica che spesso si aggiunge a quella delle merci, più che sostituirla.
5. **Il potenziale limitato del riciclo**. Le percentuali di riciclo sono attualmente basse e solo in lento aumento, e i processi di riciclo generalmente richiedono ancora una quantità rilevante di energia e materie prime. Ma soprattutto il riciclo è strettamente limitato nelle sue possibilità di fornire le risorse per un'economia materiale in espansione.
6. **Cambiamento tecnologico insufficiente e inappropriato**. Il progresso tecnologico non è orientato a quei fattori di produzione che sono rilevanti per la sostenibilità ecologica e non porta al tipo di innovazione che riduce gli impatti ambientali; non è sufficientemente dirompente, in quanto non riesce a rimpiazzare tecnologie indesiderate; e non è di per sé sufficientemente veloce da permettere un disaccoppiamento sufficiente.
7. **Delocalizzazione dei costi**. Quello che è stato osservato e chiamato disaccoppiamento in alcuni casi locali, è generalmente stato un disaccoppiamento solo apparente, dovuto principalmente all'esternalizzazione dell'impatto ambientale da paesi ad alto consumo a paesi a basso consumo, possibile grazie al commercio internazionale. Il calcolo degli impatti attraverso l'impronta ecologica rivela un quadro molto meno ottimistico, e fa dubitare ancora di più della possibilità di un disaccoppiamento consistente nel futuro.

> Questo report evidenzia la necessità di una nuova cassetta degli attrezzi concettuali per informare e supportare la costruzione e la valutazione delle politiche ambientali. Chi fa politica deve riconoscere il fatto che affrontare il collasso ambientale potrebbe richiedere una **riduzione diretta di produzione e consumo** nei paesi più ricchi. In altre parole, noi sosteniamo la proposta di integrare politiche per l'efficienza con **politiche per la sufficienza**, con uno spostamento di priorità e importanza dalla prima alla seconda, anche se entrambe devono avere un ruolo. Da questa prospettiva, appare urgente per i politici ascoltare di più e supportare le varie **alternative alla crescita verde** che si stanno sviluppando.

INDICE

Introduzione……10

I. Che cos'è il disaccoppiamento? ……12

1. Disaccoppiamento relativo ed assoluto……12
2. La variabile indipendente: Il Prodotto interno lordo……13
3. La variabile dipendente: Risorse e impatti……13
4. Scala: Globale o Locale……14
5. Durata: Temporaneo o Permanente……14
6. Entità: Sufficiente o Insufficiente……15
7. Equità nella distribuzione degli sforzi per il disaccoppiamento……16

Conclusioni della Prima Parte……19

II. Il disaccoppiamento sta avvenendo? ……20

1. Il disaccoppiamento delle risorse……21
   Materiali……21
   Energia……22
   Acqua……23
2. Il disaccoppiamento degli impatti……25
   Gas serra……25
   Suolo……29
   Inquinanti dell'acqua……30
   Perdita di biodiversità……31

Conclusioni della Seconda Parte……33

III. Il disaccoppiamento può verificarsi?……34

1. L'aumento della spesa energetica……..34
2. Effetti rimbalzo……38
3. Spostamento dei problemi……..41
4. L'impatto sottostimato dei servizi……42
5. Il potenziale limitato del riciclo……46
6. Cambiamento tecnologico insufficiente e inappropriato……49
7. Delocalizzazione dei costi……53

Conclusioni della Terza Parte……56

Conclusioni: Addio alla Crescita Verde……..57
Bibliografia……..…60
Appendice……..…..72

Introduzione

La crescita economica è compatibile con la sostenibilità ecologica? Quasi mezzo secolo dopo la pubblicazione del report Limits to growth (Limiti alla crescita) di Meadows e la lettera di Sicco Mansholt al Presidente della Commissione Europea nel 1972, che chiedeva di abbandonare il perseguimento della crescita economica, c'è ancora un acceso dibattito politico sulla relazione tra il Prodotto Interno Lordo (PIL) e gli impatti ambientali.

Il dibattito si svolge a partire da due posizioni principali. I promotori di quella che è stata definita "crescita verde" sostengono che il progresso tecnologico insieme a dei cambiamenti strutturali permetteranno un disaccoppiamento del consumo di risorse naturali e dell'impatto ambientale dalla crescita economica. I fautori della "decrescita" o "post-crescita", invece, pensano che, essendo un'espansione illimitata dell'economia fondamentalmente incompatibile con una biosfera limitata, la riduzione delle pressioni ambientali richieda una riduzione di produzione e consumo nei paesi più ricchi, il che probabilmente risulterebbe in un abbassamento del PIL rispetto ai livelli attuali. Da un lato, i difensori della crescita verde si aspettano che l'efficienza possa permettere più merci e servizi a un costo ambientale inferiore; dall'altro, i sostenitori della decrescita propongono la sufficienza, argomentando che meno merci e servizi siano la via più certa alla sostenibilità ecologica.

Oggi, la narrazione della crescita verde è dominante nella maggior parte degli ambienti politici. Nel 2001, l'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE) ha adottato ufficialmente il disaccoppiamento come obiettivo, concetto che più tardi è venuto a giocare un ruolo chiave nella sua strategia Towards Green Growth (Verso la Crescita verde) del 2011[1]. È stata seguita dalla Commissione Europea, che nel suo sesto programma d'azione per l'ambiente (Environment 2010: Our Future, Our Choice - Ambiente 2010: Il nostro futuro, la nostra scelta) ha annunciato l'obiettivo di "rompere il vecchio legame tra crescita economica e danno ambientale" (Commissione Europea, 2001, p.3). L'impegno a "disaccoppiare la crescita dall'uso di risorse" è stata ripetuta nell'EU Roadmap to a Resource-Efficient Europe (Roadmap per l'efficiente uso di risorse nell'UE) (Commissione Europea, 2011), e nella strategia del Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) sulla green economy (2011a, p.18) in cui si prevede che la crescita verde "ridurrà significativamente i rischi ambientali e la scarsità di risorse naturali."[2][3]

[1] Il disaccoppiamento è stato definito dall'OCSE come la "rottura del legame tra 'mali ambientali' e 'beni economici'" (OECD, 2002, p.1) (OECD = OCSE in inglese, N.d.T.)

[2] "Un concetto chiave per inquadrare le sfide che dovremo affrontare durante la transizione verso un'economia più efficiente nell'uso delle risorse è il disaccoppiamento. Nel momento in cui la crescita economica globale si scontra coi limiti planetari, il disaccoppiamento della creazione di valore economico dall'uso di risorse naturali e dall'impatto ambientale diventa più urgente" (UNEP, 2011b, pp.15-16)

[3] "Obiettivo 8.4: Migliorare progressivamente, fino al 2030, l'efficienza globale nell'uso di risorse in produzione e consumo e impegnarsi per disaccoppiare la crescita economica dal degrado ambientale, in accordo con il 10-Year Framework of Programmes on Sustainable Consumption and Production (Programma quadro decennale su consumo e produzione sostenibili), con i paesi sviluppati che dovrebbero dare l'esempio".

Poco dopo, anche la Banca Mondiale è saltata sul carro con Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development (Crescita Verde Inclusiva: La strada verso lo Sviluppo Sostenibile) (2012).[4] Dal 2012 il settimo programma d'azione per l'ambiente che guiderà la politica ambientale della Commissione Europea fino al 2020, Living well, within the limits of our planet (Vivere bene nei limiti del nostro pianeta) (Commissione Europea, 2013) chiede un "disaccoppiamento assoluto di crescita economica e degrado ambientale". E nel 2015 il disaccoppiamento è diventato uno degli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDGs) delle Nazioni Unite.

La crescita verde ha dominato il dibattito e determinato la maggior parte dell'agenda ambientale basata sull'aspettativa di un disaccoppiamento tra crescita economica e impatto sull'ambiente. Una situazione in cui la posta in gioco è così alta richiede una valutazione attenta della solidità delle fondamenta scientifiche dell'ipotesi del disaccoppiamento. Questo è il tema di questo documento e, come chiaramente indicato nel titolo, abbiamo trovato una base teorica e empirica insufficiente per giustificare le speranze attualmente poste nel disaccoppiamento.

La letteratura sul disaccoppiamento è abbondante. Dal 2011 l'UNEP ha prodotto una serie di report sull'argomento (UNEP 2011b, 2014a, 2015). Cercando le parole chiave "decoupling economic growth" (disaccoppiare crescita economica) su Scopus, si trovano più di 600 articoli scientifici, la maggior parte di questi empirici. Su un argomento così controverso ci si aspetterebbe un'ampia divergenza nei risultati. Eppure, come mostreremo nella seconda parte di questo report, le divergenze in questa letteratura risultano principalmente da lievi differenze nei modi in cui il disaccoppiamento viene definito e misurato. Una volta messi da parte questi dettagli metodologici, i risultati convergono nel dire che non ci sono prove solide tali da giustificare l'idea dei sostenitori della crescita verde di adottare il disaccoppiamento come strategia politica unica o principale.

Questo documento è strutturato in tre parti. Nella prima definiamo il significato di disaccoppiamento e specifichiamo le diverse forme che esso può assumere. Il punto principale di questa parte è che dietro un termine si nascondono diversi significati e situazioni, di cui alcuni sono più desiderabili di altri. Nella seconda parte passiamo in rassegna la letteratura empirica sul tema, per valutare se c'è o meno evidenza di un disaccoppiamento avvenuto in passato. La nostra conclusione è che l'attuale sapere scientifico non supporta l'ipotesi di quel tipo di disaccoppiamento che sarebbe necessario per affrontare efficacemente i cambiamenti climatici e le altre crisi ambientali. Nella terza parte indaghiamo quanto è probabile che il disaccoppiamento avvenga in futuro, arrivando alla conclusione che le probabilità sono troppo esigue per giustificare la forte attenzione attualmente data a questo concetto nelle decisioni politiche. Concludendo, la principale affermazione di questo report è che la crescita verde, e cioè una crescita economica che è sufficientemente disaccoppiata dagli impatti ambientali, non è possibile e che dunque non dovrebbe essere l'obiettivo principale delle politiche ambientali.

[4] Per la Banca Mondiale (2012) la crescita verde inclusiva è una "crescita economica che è efficiente nell'uso delle risorse naturali, pulita, in quanto minimizza l'inquinamento e gli impatti sull'ambiente, e resiliente in quanto prende in considerazione i rischi di disastri naturali e il ruolo della gestione dell'ambiente e del capitale naturale nel prevenirli."

I Che cos'è il disaccoppiamento?

Una discussione costruttiva richiede di partire con delle definizioni esplicite e di chiarire alcune sottigliezze terminologiche e metodologiche, legate ai tipi di indicatori economici e ambientali che vengono considerati e a come sono statisticamente correlati, oltre a scala, entità e durata con cui il disaccoppiamento può avvenire, e infine a quali risultati in termini di obiettivi sociali ed ambientali dovranno essere raggiunti.

1. Disaccoppiamento relativo ed assoluto

In termini generali, due variabili sono definite accoppiate se una è dipendente dall'altra, evolvendo dunque proporzionalmente (per esempio, una maggiore quantità di A significa una maggiore quantità di B), e disaccoppiate quando smettono di comportarsi in questo modo. Quando sono accoppiate, la variabile dipendente e la variabile indipendente si muovono in parallelo, sviluppandosi cioè proporzionalmente nel tempo. Il disaccoppiamento fa riferimento a una variazione nel tempo del coefficiente di proporzionalità, il che corrisponde a una de-sincronizzazione dei trend delle due variabili nel tempo.

Il disaccoppiamento può essere relativo o assoluto (detto anche debole o forte). Disaccoppiamento relativo significa che entrambe le variabili evolvono ancora nella stessa direzione ma non alla stessa velocità (molto più di A significa un po' più di B), mentre disaccoppiamento assoluto significa che le variabili si muovono in direzioni opposte (più di A e meno di B). Valutare il disaccoppiamento significa quindi stimare la perdita di proporzionalità nel tempo di una variabile rispetto all'altra (o più precisamente dei loro trend).

Il disaccoppiamento relativo, per esempio tra PIL e emissioni di carbonio, descrive una situazione in cui si riducono le emissioni per unità di output economico (il coefficiente di proporzionalità), ma non "abbastanza velocemente" per compensare il contemporaneo incremento dell'output nello stesso periodo di tempo, portando dunque a un incremento delle emissioni totali. Il risultato è un'economia relativamente meno impattante di prima per unità di PIL, ma con un volume assoluto delle emissioni comunque aumentato.

Nel caso del disaccoppiamento assoluto invece, per rimanere sullo stesso esempio, un PIL più elevato coincide con emissioni inferiori. Il disaccoppiamento relativo diventa assoluto quando il tasso di crescita dell'economia è sovracompensato dai tassi di crescita di efficienza o produttività, rispetto all'uso di risorse naturali e la produzione di sostanze inquinanti – una soglia a volte chiamata "soglia del disaccoppiamento assoluto" (Akziu-Gardoki et al., 2018). Quando il disaccoppiamento è assoluto, le pressioni sull'ambiente diminuiscono senza un corrispettivo declino dell'attività economica oppure, viceversa, l'attività economica aumenta senza un incremento degli impatti ambientali.

2. La variabile indipendente: il Prodotto Interno Lordo

Nel disaccoppiamento della crescita economica dall'impatto ambientale, il primo termine fa riferimento a una misura dell'attività di mercato, di solito il Prodotto interno lordo (PIL)[5]. Il PIL è la misura del valore di mercato aggregato di tutte le merci e servizi prodotti in un paese in un dato lasso di tempo (di solito un anno) ed è il suo aumento che viene chiamato crescita economica. Il calcolo del PIL è un processo intricato, derivato da una serie di convenzioni, e include questioni di dettaglio, legate a che cosa escludere o includere e come misurarlo. Fin dalla sua invenzione negli anni '30, il PIL è stato criticato per molte ragioni. Anche se questo non è il luogo per passare in rassegna queste critiche, è doveroso quantomeno dire che la supremazia di questo indicatore riflette un inquadramento restrittivo e potenzialmente problematico della prosperità. Detto ciò, in questo contesto è importante considerare l'evoluzione del PIL in volume o il PIL reale, cioè il PIL corretto dopo aver corretto per l'inflazione.

3. La variabile dipendente: Risorse ed impatti

L'impatto ambientale include tutte le conseguenze che l'economia ha sulla natura. Secondo l'UNEP (2011b) è possibile distinguere tra l'utilizzo di risorse e gli impatti ambientali. Il disaccoppiamento delle risorse è un disaccoppiamento dell'attività di mercato dal volume di risorse utilizzato (cioè estratte dall'ambiente naturale), per esempio grazie a miglioramenti dell'efficienza o del riciclo, che permettono entrambi una riduzione dell'estrazione. Significa che lo stesso o un maggiore output in termini monetari può essere prodotto con un minore input di materiali. L'espressione "risorse" qui fa riferimento a "beni naturali deliberatamente estratti e modificati dalle attività dell'uomo per la propria utilità nella creazione di valore economico" (UNEP, 2011, p.2)[6]. In questo report divideremo le risorse naturali per attività economiche in quattro categorie: materiali[7], energia, acqua e suolo (le ultime due con definizioni ampie per includervi la biodiversità e i servizi ecosistemici collegati). Queste risorse possono essere misurate con diversi indicatori, basati sulla produzione (includendo quindi l'estrazione nel paese, la fornitura di energia primaria, il consumo di suolo) oppure basati sul consumo (es. l'impronta materiale, energetica, dell'acqua o ecologica).
Il disaccoppiamento degli impatti fa riferimento al disaccoppiamento del PIL dall'impatto sull'ambiente, cioè una diminuzione del danno ambientale per unità di output economico. Gli impatti ambientali possono prendere diverse forme, come rifiuti che disturbano la vita marina o sostanze inquinanti con effetti negativi sulla salute umana e animale, il disturbo di processi naturali (es. i cicli di azoto, fosforo, carbonio o acqua dolce) oppure la perdita di biodiversità. Normalmente c'è un collegamento tra l'utilizzo di risorse e gli impatti ambientali; per esempio, estrarre ed utilizzare più carburanti fossili (risorsa) genera emissioni di CO_2 che contribuiscono ai cambiamenti climatici (impatto). Nonostante la maggior parte degli studi empirici si focalizzi sui cambiamenti climatici e le emissioni di gas serra,

[5] Esistono altri modi per quantificare l'attività economica come il tempo di lavoro aggregato oppure l'occupazione totale. Una piccola minoranza di studi sul disaccoppiamento si focalizza su indicatori più completi come l'Indice di Sviluppo Umano (Akziu-Gardoki et al., 2018); l'Index di Sustainable Economic Welfare (Indice di Benessere Economico Sostenibile) (Beça e Santos, 2014);soddisfazione dei bisogni e benessere umano (O'Neill et al., 2018). In questo report però ci concentriamo sulla crescita economica misurata come incremento del PIL, in quanto è questo l'indicatore utilizzato nella grande maggioranza delle ricerche sul disaccoppiamento.

[6] Il modo in cui le risorse vengono conteggiate è una questione rilevante. Includere, per esempio, la parte inutilizzata nell'estrazione di materiali (i materiali e l'energia utilizzati, spostati o danneggiati durante il processo dell'estrazione) risulta spesso in volumi calcolati di alcune dimensioni di grandezza più elevati rispetto al solo conto di quei materiali introdotti nel processo di produzione. Nel caso del Cile, per esempio, il bilancio commerciale materiale per l'anno 2003 aumenta da esportazioni nette di 1 milione di tonnellate in termini di flussi diretti a esportazioni nette di 634 milioni di tonnellate se calcolate includendo la parte di materiali inutilizzata (Muñoz et al., 2009).

[7] La categoria "materiali" può essere ancora suddivisa in categorie più dettagliate come, per esempio, biomassa, carburanti fossili, metalli grezzi e minerali industriali e materiali di costruzione (Fischer-Kowalski et al., 2011, p.10)

qualsiasi effetto negativo sulla biosfera può essere preso in considerazione come variabile ambientale (es. l'inquinamento luminoso che si traduce in perdita di biodiversità, l'inquinamento dell'acqua che porta all'eutrofizzazione).
In questo documento chiameremo disaccoppiamento completo i casi in cui il disaccoppiamento avviene tra il PIL e tutti gli indicatori selezionati, includendo sia l'utilizzo di risorse che l'impatto ambientale. E chiameremo disaccoppiamento parziale quelle situazioni nelle quali uno o più indicatori ambientali si disaccoppiano dal PIL mentre l'accoppiamento rimane o aumenta per altri indicatori.

4. Scala: Globale o Locale

Il disaccoppiamento può essere discusso prendendo in considerazione diversi perimetri geografici. Il disaccoppiamento è locale nei casi in cui è rilevato tra variabili riferite a un perimetro geografico ristretto (es. un paese o un bacino idrico), mentre è globale quando corrisponde a un disaccoppiamento tra due variabili su scala planetaria[8] (es. il PIL mondiale e le emissioni mondiali di gas serra).
L'adeguatezza di indicatori locali o globali dipende dalla natura dell'impatto ambientale considerato e dalle sue cause. Per studiare questioni locali, per esempio, come l'eutrofizzazione del Mar Baltico, le cui cause dirette sono localizzate in un'area geografica abbastanza ben definita, ha senso utilizzare indicatori locali, limitati per esempio al perimetro del bacino idrico. Problemi globali, come il cambiamento climatico, generalmente richiedono invece l'utilizzo di indicatori globali, essendo i gas serra inquinanti transfrontalieri e il cambiamento climatico un fenomeno planetario.
In un mondo globalizzato, la scelta dei confini utilizzati per il sistema studiato è una questione importante. La globalizzazione e l'espansione del commercio internazionale ha causato una dissociazione spaziale tra i luoghi di estrazione, produzione e consumo, rendendo più difficile determinare chi è responsabile di quali impatti. In questo contesto, indicatori basati sulla produzione (chiamati anche territoriali) che fanno riferimento ad aree geografiche piuttosto che a popolazioni, non riescono a riflettere le responsabilità e sono pertanto insufficienti. Un approccio più completo è quello di guardare a indicatori basati sul consumo (chiamati anche impronta), in cui impatti incorporati nelle fasi di produzione e di fine vita di merci e servizi commercializzati sono geograficamente associati ai consumatori finali. Non tenere conto delle risorse mobilitate e degli impatti generati all'estero può infatti portare al rilevamento di un disaccoppiamento apparente a livello locale di paesi importatori, che trasferiscono attività impattanti fuori dai loro confini. Dall'altra parte, gli approcci territoriali potrebbero sottostimare il disaccoppiamento di paesi esportatori, che ospitano attività impattanti destinate al consumo di altre nazioni.

5. La durata: temporaneo o permanente

Esattamente come il perimetro geografico, è rilevante anche la dimensione temporale di uno studio sul disaccoppiamento. Mitigare gli impatti ambientali in un'economia crescente, infatti, non solo implica raggiungere un disaccoppiamento assoluto dal PIL, ma anche mantenerlo tale finché l'economia cresce. In altre parole, una crescita economica continua richiede un disaccoppiamento assoluto permanente tra PIL e impatto ambientale. Però, allo stesso modo in cui crescita economica e impatto ambientale si possono disaccoppiare a un certo punto, possono anche riaccoppiarsi più tardi. Come mostrano frequentemente gli studi empirici, il disaccoppiamento può essere anche

[8] Si potrebbe andare ancora oltre e differenziare tra diversi livelli locali: macroeconomico (p.es. considerando l'attività complessiva nazionale di un paese), settoriale (per un settore specifico dell'economia) e microeconomico (la singola azienda, città, nucleo familiare). In questo report ciò non sarà necessario, essendo la maggior parte degli studi empirici a carattere nazionale, regionale o globale.

temporaneo, portando a un ulteriore incremento della pressione sull'ambiente dopo una riduzione temporanea. In letteratura questa situazione viene descritta con una curva a forma di N e chiamata a volte riaccoppiamento o "relinking (ricollegamento)" (de Bruyn e Opschoor, 1997; Jänicke et al., 1989).
Questo schema può risultare da un cambiamento su larga scala delle fonti energetiche utilizzate. Tra il 2015 e il 2016, per esempio, è stato osservato un temporaneo arresto dell'aumento delle emissioni globali dall'IEA (Agenzia Internazionale dell'Energia), dovuto allo spostamento da carbone a gas come fonte energetica in Cina e all'incremento della quota di gas nel mix energetico statunitense. Questo disaccoppiamento però ebbe vita breve: una volta completato lo spostamento da una fonte energetica all'altra, e dunque utilizzato il corrispettivo potenziale di disaccoppiamento, le emissioni si sono riaccoppiate alla crescita economica (+1,6% nel 2017 e +2,7% nel 2018) (Hickel e Kallis, 2019, p.8). Un altro esempio comune di disaccoppiamento temporaneo è la crisi finanziaria globale del 2007-2008 che, come vedremo nella seconda parte, ha temporaneamente ridotto gli impatti ambientali.
Da una prospettiva di sostenibilità ecologica, è una caratteristica necessaria del disaccoppiamento essere permanente e non solo temporaneo. In effetti, ha poco senso ridurre drasticamente l'uso di risorse e le emissioni nel breve periodo, solo per ritornare sulla strada di un crescente consumo della biosfera nel lungo periodo. Inoltre, un disaccoppiamento temporaneo esercita un effetto solo marginale sui danni ambientali causati dalla somma di una serie di impatti; è una questione che difficilmente si risolve in un lasso di tempo ristretto. I risultati degli studi sul disaccoppiamento andrebbero dunque messi in relazione al periodo di tempo considerato, perché quel che può sembrare disaccoppiamento in un breve periodo (curva a forma di U rovesciata), potrebbe sembrare differente in un periodo più lungo (curva a forma di N).

6. Entità: Sufficiente o Insufficiente

Un incremento del Pil del 3% con una riduzione delle emissioni di gas serra del 2% è per definizione un disaccoppiamento assoluto. Ma ugualmente lo è una crescita del Pil del 3% con una caduta delle emissioni dello 0,02%. E' ovvio che la prima ipotesi è più desiderabile, se l'obiettivo è la mitigazione dei cambiamenti climatici. La nostra posizione è la seguente: il successo di una strategia di disaccoppiamento andrebbe valutato in relazione a specifici obiettivi ambientali, e non in termini di astratte flessibilità di disaccoppiamento, come spesso viene fatto in letteratura. Una volta definiti questi obiettivi, si può parlare di disaccoppiamento insufficiente o sufficiente a raggiungerli – es. "disaccoppiamento assoluto nei limiti del pianeta" per Fedrigo-Fazio et al. (2016).
Inoltre, parlare di emissioni o della produttività delle risorse misurate in emissioni o risorse per unità di PIL oscura il fatto che la maggior parte dei problemi ambientali sono causati da impatti successivi e assoluti derivanti da diversi fattori. In realtà non solo questo implica che, per essere efficace, il disaccoppiamento richiesto dovrebbe riguardare sia l'uso delle risorse che l'impatto, ed essere per entrambe le dimensioni assoluto, globale, e permanente; ma dovrebbe anche essere sufficientemente veloce. Molto tempo prima dell'esaurimento, le risorse non rinnovabili cominciano a scarseggiare, e possono scatenare conflitti, o acuire quelli già esistenti. L'adattamento è ancora più difficile, in caso di sovraccarico dell'ecosistema; una volta sopraffatto - cioè se è stato superato il punto critico -, possono collassare o trasformarsi in un altro tipo di sistema (un'area boschiva che diventa savana, per esempio). Entrambi i tipi di danno - esaurimento e collasso - sono spesso irreversibili per il periodo di tempo che interessa gli esseri umani. Anche se è difficile da misurare, il disaccoppiamento può essere considerato sufficientemente veloce se il punto di disaccoppiamento assoluto viene raggiunto prima di oltrepassare soglie irreversibili di

danno, come i nove confini planetari definiti da Rockström et al. (2009), Steffen et al. (2015) e Steffen et al. (2018)[9].

Il cambiamento climatico ci fornisce un buon esempio per una scadenza chiara per il disaccoppiamento assoluto di un impatto. Il budget globale di emissioni di gas serra di 580 $GtCO_2$ (cioè la quantità di gas serra che può ancora essere emessa per rimanere dentro i limiti di riscaldamento globale stabiliti dagli accordi internazionali, N.d.T.), che al momento viene esaurito alla velocità di 42 $GtCO_2$ all'anno, ci lascia solo 12 anni con il tasso attuale di emissioni. Per raggiungere lo zero netto di emissioni antropogeniche di CO_2 nel 2040, necessario per limitare il riscaldamento globale entro 1,5°C, serve, con un alto livello di fiducia, una riduzione annuale delle emissioni attuali di almeno il 5%. Seguendo questa traiettoria, il budget sarà sufficiente per 20 anni e le emissioni saranno a zero alla fine di questo periodo – con una diminuzione del 45% delle emissioni globali nel 2030 come obiettivo intermedio (IPCC, 2018). Alla luce di queste esigenze, come dimostreremo nella seconda parte, anche la riduzione delle emissioni, raggiunta nei casi nazionali di disaccoppiamento assoluto di maggior successo, è lontana dall'essere sufficiente a tenere lontano il riscaldamento globale da una soglia critica.

L'urgenza non riguarda solo gli impatti ma anche le risorse. La conservazione delle risorse non rinnovabili è una questione di equità inter- ed intragenerazionale. Ogni risorsa non rinnovabile utilizzata in un luogo è una risorsa non disponibile in un altro luogo, e ogni risorsa non riciclabile utilizzata oggi è un risorsa indisponibile domani. Per quanto riguarda le risorse rinnovabili, il limite del livello di consumo sostenibile è dato dai tassi di ricostituzione delle risorse (es. evitando che una popolazione di pesci sia sfruttata fino all'estinzione o evitando il collasso della struttura di un suolo). Perciò, quando l'UNEP (2014a, p.123) conclude il suo report affermando che "il disaccoppiamento assoluto della crescita economica dall'uso di risorse è possibile", ci teniamo a sottolineare che la vera questione sono entità e momento storico del disaccoppiamento, più che la sua mera esistenza statistica.

7. Equità nella distribuzione degli sforzi di disaccoppiamento

L'ultima dimensione si somma alla precedente e riguarda il concetto di "responsabilità condivise ma differenziate" che, da quando è stato approvato per la prima volta alla Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo a Rio (UNCED) nel 1992, si trova negli accordi sul clima. Il disaccoppiamento deve essere di una dimensione sufficiente nei paesi ricchi, per liberare lo spazio ecologico per produzione e consumo in quelle regioni dove non sono soddisfatti i bisogni essenziali.
Il fatto che ci siano milioni di persone al mondo che non hanno accesso ai mezzi per soddisfare i loro bisogni essenziali aumenta la pressione sulle nazioni ricche affinché riducano i loro impatti il più possibile, per lasciare il maggior spazio possibile alle comunità più vulnerabili. Se portare "i poveri del mondo" a un livello di reddito di 3-8$ al giorno da solo consumerà il 66% del budget di emissioni disponibile per l'obiettivo dei 2°C (Hubacek et al., 2017), allora è un imperativo morale per le nazioni benestanti di liberare il resto dello "spazio climatico". Meyer-Ohlendorf et al. (2018) calcolano che, se la parte di budget di emissioni viene calcolato a partire dalla quantità di popolazione umana del 2050, per tenere meglio conto delle questioni di equità, l'attuale obiettivo dell'UE per il 2030 dovrebbe quasi raddoppiare, dal 40% di riduzioni delle emissioni al 71%. Infatti, se anche il metabolismo dei paesi industrializzati rimanesse stabile al livello del 2000 (che già implicherebbe un disaccoppiamento assoluto), il miglioramento delle condizioni di vita del

[9] Per essere precisi va detto che gli impatti ambientali che avvengono dopo il punto di disaccoppiamento, anche se in calo, sono ancora rilevanti. Devono rimanere ancora abbastanza risorse o budget di gas serra (o di ogni altra misura di risorse o impatti) per potersi permettere la discesa dal picco rimanendo all'interno delle soglie di stabilità ecosistemica.

resto del mondo, con l'uso della tecnologia attuale, già da solo farebbe quadruplicare le emissioni globali fino al 2050 (Fischer-Kowalski et al., 2011, p.29), il che corrisponde a livelli considerati catastrofici nell'ultimo report del Panel Intergovernamentale sui Cambiamenti Climatici (IPCC) (2018).

E di nuovo, in un mondo di risorse limitate, il quando del raggiungimento del picco è una questione importante, in quanto lo "spazio di operazione sicura" (Steffen et al.,2015) potrebbe non essere sufficientemente ampio per permettere che ogni nazione raggiunga il picco in una logica del "crescere adesso, pulire dopo" (Van Alstine e Neumayer, 2010, p.57). Per esempio, Storm e Schröder (2018, pp.20-21) hanno stimato che se la Cina seguisse il percorso della curva ambientale di Kuznets delle emissioni di CO_2 calcolata sulla produzione, esaurirebbe tutto il budget globale di emissioni ancor prima di raggiungere l'ipotetico picco. Il disaccoppiamento dei paesi ricchi può essere considerato abbastanza ampio se compensa la crescente impronta ecologica dei paesi più poveri e comunque se riesce ancora a disaccoppiare la crescita economica globale dagli impatti sull'ambiente in modo assoluto, permanente e abbastanza veloce da evitare di oltrepassare le soglie di sicurezza ambientali[10].

[10] Questa è un'affermazione morale, non tecnica. Il nostro punto cruciale qui è che un obiettivo astratto di disaccoppiamento non ha senso se non connesso ad obiettivi ambientali concreti, che a loro volta debbono essere basati su considerazioni morali.

Come misurate il vostro disaccoppiamento?



Conclusioni della Prima Parte

Abbiamo dimostrato in questa parte che il disaccoppiamento può essere definito e misurato in maniere differenti. Di conseguenza, fare una revisione della letteratura sul disaccoppiamento richiede una serie di precauzioni. Innanzitutto va chiarito che cosa viene disaccoppiato da che cosa, specificando quali indicatori sono stati utilizzati per le attività economiche e gli impatti ambientali. In particolare, va poi preso in considerazione se questi indicatori sono globali o locali (scala) e se riflettono approcci territoriali, basati sulla produzione, o di impronta ecologica, basati sul consumo. Inoltre è rilevante se il disaccoppiamento è studiato e discusso in termini relativi o assoluti, e per un periodo lungo o breve di tempo (durata). Infine, ogni disaccoppiamento osservato va messo in prospettiva rispetto ai relativi obiettivi ambientali e visto in un contesto politico più ampio, per valutare se riesce a raggiungere gli obiettivi di mitigazione (entità), in un modo considerato giusto (equità). Basandosi su questa cornice analitica, la prossima parte propone una rassegna della letteratura empirica esistente sul disaccoppiamento.

II. Il disaccoppiamento sta avvenendo?

Il disaccoppiamento si sta verificando nella realtà? In caso affermativo, di che tipo di disaccoppiamento si tratta? L'obiettivo di questa parte è valutare la validità dell'ipotesi del disaccoppiamento, alla luce delle ricerche empiriche esistenti. Per farlo, prendiamo in esame in modo ampio e approfondito un certo numero di studi empirici, che hanno verificato l'ipotesi del disaccoppiamento. La discussione che segue è organizzata per argomenti, secondo le variabili ambientali prese in considerazione: (1) risorse (materie prime, energia ed acqua) e (2) impatti (gas serra, suolo, inquinanti dell'acqua e perdita di biodiversità). Per ogni argomento, confrontiamo i risultati riportati nelle ricerche, valutandoli sulla base delle diverse dimensioni presentate nella Prima Parte.

Prima di tuffarci nella letteratura empirica, vale la pena raccontare in che modo gli scienziati hanno cominciato a parlare di disaccoppiamento. Negli anni 90, diversi economisti (Grossman e Krueger, 1995, 1991; Panayotou, 1993; Shafik e Bandyopadhyay, 1992) hanno svolto degli studi empirici che li hanno portati a pensare che la crescita economica fosse inversamente proporzionale alla pressione ambientale.[11] L'impatto ambientale inizialmente aumentava ma poi si riduceva, con un andamento a forma di campana capovolta che iniziò a essere definita Curva Ambientale di Kuznets (CAK).[12] Questa teoria aveva forti implicazioni sulle politiche da adottare, perché significava che un paese poteva superare una crisi ecologica continuando a crescere.

Questa ipotesi di quello che UNEP (2014a, p. 5) chiama un "disaccoppiamento per maturazione" nei decenni successivi ha ispirato numerosi studi, che hanno cercato di individuare la CAK in tutta una serie di variabili ambientali. Attualmente, questa ipotesi di disaccoppiamento naturale non è più così popolare né in ambito scientifico, né in quello politico, mentre è stato riconosciuto che il cambiamento strutturale dei sistemi economici che porta al disaccoppiamento è frutto di politiche economiche ben precise (Smith et al., 2010; UNEP, 2014a). Il modo in cui si studia il disaccoppiamento si è quindi evoluto dal considerarlo un fenomeno semi-naturale a qualcosa che viene posto in essere da azioni politiche.

In questa prospettiva, presenteremo una rassegna di recenti studi empirici, che hanno cercato di identificare fenomeni di disaccoppiamento, e che arricchiscono le analisi della letteratura esistente come quelle di Li et al. (2007), Koirala et al. (2011) o Mardani et al. (2019). Nonostante il nostro esame della letteratura esistente in materia sia tra i più ampi ed inclusivi al momento, non è sistematico né esaustivo, quindi le affermazioni che facciamo riguardo i testi sul disaccoppiamento devono essere valutate sulla base del limitato numero

[11] Grossman e Krueger (1991) hanno studiato gli inquinanti dell'aria (anidride solforosa e altri particolati); Bandyopadhyay (1992) si è concentrato su inquinamento dell'acqua, rifiuti urbani, particolati, anidride solforosa, deforestazione ed emissioni di anidride carbonica; mentre Panayotou (1993) ha preso in considerazione una serie di indicatori ambientali simili.

[12] Nel 1955, Simon Kuznets ha elaborato la teoria secondo la quale nel processo di espansione dell'attività economica la disuguaglianza prima aumentava fino a un massimo, e poi diminuiva - formando quindi una curva a forma di U capovolta.

di articoli presi in considerazione (v. lista completa nell'appendice). Vale la pena anche notare che la maggior parte degli studi riguardano i paesi ricchi (con qualche eccezione di rilievo, ad es. Wang et al., 2019), quindi le affermazioni che facciamo sul disaccoppiamento vanno comprese in questo contesto.[13]

1. Disaccoppiamento delle risorse naturali

Materie prime

Quando si parla di utilizzo complessivo delle materie prime, le prove sono chiare e incontestabili: non c'è stato disaccoppiamento assoluto tra uso delle risorse naturali e crescita economica. Infatti, l'uso globale di risorse naturali sta crescendo e il PIL globale va ancora di pari passo con l'estrazione totale di materie prime. (Qui e nel resto di questa parte, dove non diversamente indicato, gli effetti del disaccoppiamento sono stimati sulla base di variabili ambientali collegate alla produzione).

Il valore dell'estrazione globale di materie prime si è moltiplicato per 12 tra il 1900 e 2015, con una forte accelerazione a partire dall'inizio del 21esimo secolo (Krausmann et al., 2018).[14] Nel secolo scorso, l'utilizzo medio pro capite di risorse naturali è raddoppiato: un abitante della terra nel 2005 richiedeva mediamente un valore annuale di materie prime tra 8,5 (Behrens et al., 2007) e 9,2 tonnellate (Krausmann et al., 2009), mentre 100 anni prima questo numero era di sole 4,6 tonnellate (UNEP, 2011b, p. 10).[15] Solo negli ultimi 40 anni, la quantità di materie prime utilizzate a livello globale è triplicata (Schandl et al., 2018). L'impronta ecologica relativa alle risorse naturali dei paesi OCSE nel loro insieme è aumentata quasi del 50% tra il 1990 e il 2008, in modo direttamente proporzionale all'attività economica, con un aumento del 6% di questa impronta ecologica per ogni 10% di crescita del PIL (Wiedmann et al., 2015).[16] Infine, l'intensità di materie prime del PIL pro capite è aumentata del 60% tra il 1900 e il 2009 (Bithas e Kalimeris, 2018).[17]

Gli obiettivi relativi all'impronta ecologica sulle materie prime non riscuotono un consenso unanime come quelli sulle emissioni di carbonio, tuttavia si sta affermando sempre più l'idea che al consumo di materie prime andrebbe fissato un tetto annuo massimo di 50 miliardi di tonnellate, per rimanere ecologicamente sostenibile (Bringezu, 2015; Dittrich et al., 2012; Hoekstra and Wiedmann, 2014; UNEP, 2014b). Nel 2009, questa cifra aveva già superato la soglia dei 67,6 miliardi di tonnellate (Giljum et al., 2014).

Un fatto sorprendente, illustrato in tutti gli studi esaminati, è che mentre l'economia mondiale si era gradualmente dematerializzata per un lungo periodo di tempo, questa

[13] Questo non significa che il disaccoppiamento sia più facile nel Sud del mondo. Né vogliamo affermare che le questioni in discussione in questo rapporto riguardano solo il Nord del mondo; tutti dovrebbero preoccuparsi della sostenibilità ecologica. Tuttavia, assumiamo che se il Nord non riesce a realizzare il disaccoppiamento, sarà difficile giustificare perché il disaccoppiamento dovrebbe verificarsi nei paesi a basso reddito e tecnologicamente meno avanzati.

[14] L'estrazione mondiale di materie prime è aumentata del 53 per cento tra il 2002 e il 2015, che significa che "circa un terzo di tutte le materie prime estratte a partire dal 1900 lo sono state solo dal 2002 al 2015" (Krausmann et al., 2018: 139).

[15] Schandl et al. (2018: 4) nota che gran parte di questo aumento è recente. Infatti, l'estrazione media mondiale di materie prime è aumentata da 7 tonnellate pro capite nel 1970 a 10 nel 2010.

[16] Bithas e Kalimeris (2018) confermano questa dipendenza dell'economia mondiale dalle risorse naturali. Calcolano che il consumo mondiale pro capite di risorse materiali è aumentato del 78,7 per cento durante il secolo scorso (1900-2002); ciò significa che un aumento del reddito mondiale di 4,8 volte ha portato a un aumento nel flusso di materia di 8,5 volte. Prendendo in considerazione biomassa, fonti di energia fossile, minerali grezzi, industriali e da costruzione, Krausmann et al. (2018) calcolano che l'uso globale di materie prime è aumentato di un fattore 12 nel periodo 1900-2015, con un marcato spostamento dalla prevalenza di biomassa rinnovabile verso materie prime minerali.

[17] Alla stessa conclusione arrivano Giljum et al. (2014): aumento del 93,4% dei consumi mondiali tra il 1980 e il 2009, che diventa del 132% se si estende il periodo fino all'anno 2013 (The Material Flow Analysis Portal, Il portale di analisi sul flusso di materiali, 2015). Ancora una volta, questa percentuale si alza all'inizio del nuovo secolo: l'aumento medio annuale in tutto il periodo è di circa il 2,5%, ma diventa del 3,4% tra il 2000 e il 2009 (Giljum et al., 2014), o del 3,85% tra il 2002 e il 2013 (Materialflows.net, 2015).

tendenza si è invertita negli ultimi due decenni. Mentre nel secolo scorso l'uso di materie prime si stava relativamente disaccoppiando dal PIL a livello globale, la tendenza si è bloccata e invertita a partire dall'inizio di questo secolo. Per esempio, Krausmann et al. (2018) dimostrano che l'andamento dello sfruttamento delle materie prime è passato da -0,9% all'anno tra il 1945 e il 2002 a un +0,4% tra il 2002 e il 2015. Provando a fare lo stesso calcolo con un metodo diverso, Bithas e Kalimeris (2018) hanno stabilito che si è verificata una diminuzione totale nello sfruttamento di materie prime del 31,9% tra il 1900 e il 1945 e del 48,9% tra il 1950 e il 2000, ma solo dello 0,6% tra il 2000 e il 2009. Giljum et al. (2014) la definiscono ri-materializzazione, che è esattamente il contrario del disaccoppiamento: si tratta di un aumento dello sfruttamento di materie prime nell'economia mondiale.

Inizialmente, sembra che i paesi ricchi riescano ad ottenere un disaccoppiamento relativo più veloce rispetto agli altri. Tuttavia, questi buoni risultati sono spazzati via se si tiene conto della delocalizzazione dei costi, cioè considerando i calcoli basati sui consumi.
Per esempio, Wang et al. (2018) confrontano due misurazioni diverse, una basata sui consumi (impronta ecologica sulle materie prime) e una basata sulla produzione (consumo interno di materie prime) da applicare allo sfruttamento delle risorse in sei paesi, tre dell'area OCSE e tre del gruppo BRICS. L'Australia, il Giappone, l'India e gli Stati Uniti riescono a realizzare il disaccoppiamento relativo, ma solo perché spostano il loro rifornimento di materie prime all'estero. Questo risultato è confermato sia da Bithas e Kalimeris (2018), che riferiscono di una stagnazione nell'intensità dello sfruttamento di materie prime a livello globale, che da Wiedmann et al. (2015), che dimostrano come l'utilizzo dell'impronta ecologica sulle materie prime, invece che il Consumo Interno di Materie prime (CIM), smentisce il disaccoppiamento relativo solo apparente negli Stati Uniti, nel Regno Unito, in Giappone, nei paesi OCSE e nei 27 paesi dell'Unione Europea.

Bisogna ammettere che l'utilizzo di alcune materie prime effettivamente diminuisce con l'aumentare del PIL, anche se spesso solo a livello locale - è il caso dell'alluminio negli Stati Uniti tra il 1985 e il 2009 (Zhang et al., 2017). Ma questo dato è compensato da una maggiore estrazione dello stesso materiale in altri paesi, o dall'uso di altri materiali, che cresce ancora più velocemente. Per esempio, nel periodo dal 1980 al 2002, a livello mondiale le estrazioni di minerale di ferro e di bauxite sono aumentate più velocemente del PIL (Wiedmann et al., 2015).

Energia
Il caso dell'energia è di più difficile definizione rispetto a quello delle materie prime. Gli studi esaminati hanno prodotto risultati differenti, ed è difficile confrontarli, perché misurano il consumo di energia in modi diversi, e in aree geografiche differenti.

Esaminando il consumo finale di energia su un dato territorio nel periodo che va dal 1971 al 2004, Luzzati e Orsini (2009) non trovano traccia della Curva Ambientale di Kuznets, né a livello globale, né a livello di singoli paesi. Invece rilevano che la relazione tra PIL pro capite e consumo di energia è stabile, infatti entrambi gli indicatori crescono uniformemente. Semeniuk (2018) utilizza dati raccolti in 180 paesi tra il 1950 e il 2014 per arrivare alla conclusione che l'intensità di consumo di energia primaria va di pari passo con la crescita. Tuttavia, Csereklyei et al. (2016) individuano casi di disaccoppiamento solo relativo tra consumi di energia primaria e PIL in 99 paesi tra il 1970 e il 2011.

Wu et al. (2018) evidenziano tre casi di disaccoppiamento assoluto (Stati Uniti, Francia e Regno Unito) tra il 2005 e il 2015, usando approcci basati sulla produzione (utilizzano indici di disaccoppiamento che non specificano quanto effettivamente sia diminuito il consumo di energia) e un caso di disaccoppiamento relativo in Germania. Wood et al. (2018)

individuano a livello globale una tendenza al disaccoppiamento relativo, nel periodo dal 1995 al 2011, tra il consumo finale e il PIL. Tuttavia, è più comune per questi autori individuare situazioni di disaccoppiamento relativo, soprattutto a livello regionale: Ward et al. (2016) in Australia per il consumo finale di energia, Kovacic et al. (2018) in 14 paesi dell'Unione Europea (1995-2013) tra consumo di energia e ore di lavoro, Conrad e Cassar (2014) a Malta (1995-2012), e van Caneghem et al. (2010) nell'industria fiamminga (1995-2006).

Tuttavia, come nel caso delle materie prime, un disaccoppiamento in una regione spesso nasconde un riaccoppiamento altrove. Moreau e Vuille (2018) provano a verificare questa ipotesi usando l'analisi input-output per la Svizzera tra il 2000 e il 2014. Risultato: la diminuzione di intensità del consumo finale di energia a livello territoriale sembra essere compensata da un aumento dell'energia inclusa nei prodotti importati.
Tenendo presente questo aspetto, l'intensità di energia resta più o meno la stessa. In questo studio specifico, i volumi assoluti aumentano sia quando vengono misurati con un approccio territoriale (+1%, risultato di un'intensità di energia interna che scende del 44%, compensata da un aumento del volume del 45%), sia quando viene utilizzato l'approccio dell'impronta ecologica (+24,5%), anche se la differenza è significativa. Prendendo in considerazione il disaccoppiamento relativo tra consumo di energia e crescita economica nel Regno Unito negli ultimi 15 anni, spesso citato in questi studi, Hardt et al. (2018) dimostrano che gran parte dei miglioramenti nell'intensità di energia non sono dovuti a una migliore efficienza, ma alla delocalizzazione.

L'illusione non è solo geografica ma talvolta anche settoriale. Utilizzando dati settoriali per 18 paesi dell'Unione Europea tra il 1995 e il 2008, Naqvi e Zwickl (2017) affermano che anche se mediamente il disaccoppiamento relativo si verifica in quasi tutti i settori, nessun paese riesce a realizzare un disaccoppiamento assoluto tra il consumo finale di energia e il PIL nell'insieme del sistema economico.

Infine, il fatto che il disaccoppiamento si verifichi per un certo periodo, non garantisce che duri nel tempo. Analizzando la Repubblica Ceca, l'Ungheria, la Polonia e la Slovacchia tra il 1990 e il 2015, Szlavik e Szép (2017) dimostrano che anche quando il disaccoppiamento assoluto si è verificato, è durato solo per brevi periodi e solo in zone specifiche, per esempio in Polonia dal 2011 al 2014. Queste effimere interruzioni della relazione di accoppiamento si spiegano il più delle volte con crisi economiche e riorganizzazioni politiche, e non sono dovute a un'introduzione continua di tecnologie e pratiche sempre più efficienti.

Acqua

Il disaccoppiamento può essere osservato in tante diverse misurazioni dell'"uso" di acqua, compreso il prelievo di acqua (chiamato anche estrazione), che misura la quantità di acqua prelevata da una fonte naturale (come un lago o un fiume), e il consumo di acqua, che misura l'acqua usata che non sarà riportata alla sua fonte di origine, e che quindi non sarà riutilizzabile.[18] L'UNEP recentemente ha pubblicato un rapporto intitolato Il disaccoppiamento della crescita economica dall'uso e dall'inquinamento dell'acqua (UNEP, 2015), che afferma che, grazie all'utilizzo di indicatori territoriali sul consumo di acqua, molti paesi hanno ottenuto una forma di disaccoppiamento relativo (UN-Water, 2009), così come è successo a livello mondiale, fin dagli anni 40 (UNEP, 2015, p. 12). Altri studi simili, basati sulla produzione, dimostrano che il ritmo del disaccoppiamento è aumentato in modo significativo a partire dagli anni 80, quando l'intensità della produzione globale di acqua è scesa dell'1% all'anno dal 1980 al 2000 (Dobbs et al., 2011). La Cina è

[18] Si può osservare il disaccoppiamento anche tra prelievo e inquinamento, come anche per l'utilizzo pro capite o totale nei diversi settori economici che usano l'acqua: questo argomento sarà affrontato nella prossima parte sul disaccoppiamento dell'impatto ambientale

un esempio eclatante, con un consumo di acqua che è rimasto costante fin dagli anni 80, durante diversi decenni di crescita economica a doppia cifra (Gleick, 2003). Alcuni paesi hanno perfino sperimentato il disaccoppiamento assoluto. E' il caso dell'Australia, che ha ridotto il suo consumo totale di acqua del 40% nel periodo che va dal 2001 al 2009, quando il suo PIL aumentava di oltre il 30% (Smith, 2011).

Per quanto queste cifre sembrino promettenti, il disaccoppiamento relativo dell'acqua e il miglioramento dell'efficienza sono stati annientati dall'espansione delle attività economiche, che ha portato a un netto aumento del consumo di acqua. I paesi o le regioni in fase di industrializzazione in effetti possono ridurre il loro consumo totale di acqua diminuendo la loro produzione agricola. Tuttavia, la riduzione della produzione agricola in una determinata zona richiede un incremento altrove, e anche un'industrializzazione efficiente nel consumo di acqua spesso porta ad un netto aumento del consumo industriale di acqua. Anche una migliore efficienza nell'uso dell'acqua in agricoltura in alcuni casi può generare un effetto rimbalzo, causando un aumento del consumo di acqua (Loch e Adamson, 2015; Ward e Pulido-Velazquez, 2008).

Il caso di studio su Tianjin City (Cina), definita la più grande città ecologica del mondo e il progetto esemplare per l'urbanizzazione sostenibile a livello mondiale (Baeumler et al., 2009), è l'esempio perfetto di un disaccoppiamento relativo che tuttavia porta a un aumento globale del consumo di acqua. Secondo la recente ricerca di Wang e Li (2018), il consumo industriale di acqua e la rapida crescita economica della città sono ancora strettamente accoppiati, e forse lo sono sempre di più. I dati relativi al periodo 2005-2015 indicano che anche se il tasso medio di crescita del consumo industriale di acqua (+0,18%) era inferiore alla crescita del PIL (+15,42%), i periodi di crescita economica più rapida erano segnati da un maggiore accoppiamento con il consumo industriale di acqua.

Così come succede per le materie prime, è sufficiente considerare il consumo globale per rendersi conto che i miglioramenti dell'efficienza vengono surclassati dagli aumenti dei volumi. A livello globale, Wada e Bierkens (2014) stimano che il consumo umano di acqua sia aumentato più del doppio (~250%) tra il 1960 e il 2010; le dimensioni di questo incremento sono attribuibili all'espansione dell'irrigazione in agricoltura. Per quanto riguarda il prelievo globale di acqua, dal database AQUASTAT della FAO (2016) risulta un'espansione leggermente inferiore, dai 2.500 km^3/anno nel 1960 a quasi 7.000 km^3/anno nel 2010. In alcune zone dell'Australia e della California, dove si può osservare il disaccoppiamento assoluto, il consumo di acqua rimane a livelli insostenibili, come evidenziato da un numero sempre crescente di "siccità antropogeniche" (AghaKouchak et al., 2015; Ashraf et al., 2017). Questi dovrebbero essere considerati casi di disaccoppiamento insufficiente.

Un'altra osservazione ha a che fare con l'acqua inclusa negli scambi commerciali. Allo stesso modo dell'energia intrinseca, la maggior parte degli studi sul disaccoppiamento dell'acqua non prendono in considerazione la cosiddetta "acqua virtuale" (Allan, 1998), che è l'acqua inclusa in un determinato prodotto (ad esempio un chilo di carne richiede circa 15.000 litri di acqua lungo l'intero processo produttivo). I paesi ricchi riducono il loro consumo interno di acqua importando dall'estero prodotti ad alta intensità di consumo idrico, spostando in modo efficace su altri paesi la loro impronta ecologica di consumo idrico e tutte le questioni ambientali ad essa legate.

Gli studi che spiegano l'"impronta ecologica idrica" (Hoekstra, 2017) affermano che è necessario studiare gli scambi commerciali di acqua virtuale e gli effetti dei paesi che esternalizzano la loro impronta ecologica idrica; affermano anche che i paesi ricchi con carenza di acqua tendono a ridurre il consumo locale di acqua importando acqua virtuale

(Oki et al., 2017). In uno studio su più paesi, Wang et al. (2016) confermano che il disaccoppiamento tra consumo interno di acqua e crescita economica nei paesi ad alto reddito si verifica tramite flussi di acqua virtuale inclusa negli scambi commerciali. Alla stessa conclusione arrivano Feng e Hubacek (2015), che hanno utilizzato un'analisi input-output su più regioni, per comprendere meglio i flussi globali di acqua virtuale, così come altri studi che cercano di misurare l'esternalizzazione dell'impronta ecologica idrica (Fulton et al., 2014, 2012; Katz, 2008). L'importazione di servizi, beni ed energia ad alta intensità idrica può creare condizioni di instabilità geopolitica. Per coloro che si occupano del rischio globale di carenza di acqua e delle implicazioni di una giusta distribuzione dell'acqua, il sacrificio di un bacino idrico per la salute di un altro si contrappone alla comprensione e alla promessa di un disaccoppiamento globale del consumo di acqua.

2. Disaccoppiamento dell'impatto ambientale

Gas serra

Il caso dell'anidride carbonica è il più ambiguo di tutti e richiede una discussione approfondita. La maggior parte degli studi in effetti individuano esempi di disaccoppiamento relativo nei paesi industrializzati da più tempo e non solo - 79 paesi secondo lo studio di Lonhofer e Jorgenson (2017), che considerano il periodo tra il 1970 e il 2009.[19] Alcuni studi addirittura evidenziano casi di disaccoppiamento assoluto, anche se spesso durante brevi periodi, solo in località specifiche, e spesso utilizzando indicatori (territoriali) basati sulla produzione. Potrebbero essere dei buoni motivi per rallegrarsi, ma purtroppo le dimensioni di questo calo delle emissioni sono trascurabili. Complessivamente, le ricerche prese in esame convergono nell'affermare che non c'è mai stato un esempio di disaccoppiamento assoluto di CO_2 dalla crescita economica.

Ma esaminiamo la questione in dettaglio, cominciando con la letteratura relativa alla Curva Ambientale di Kuznets. Posto che si sia verificata, l'esistenza di una CAK per le emissioni di CO_2 può essere confermata solo all'interno di singole ricerche (Azam and Khan, 2016). Le tre meta-analisi esaminate non trovano nessuna prova di disaccoppiamento nel periodo 1995-2005.[20] Su 588 osservazioni, Li et al. (2007) non riscontrano un solo caso di disaccoppiamento assoluto di CO_2 nel periodo tra il 1995 e il 2005. Evidenziano invece una CAK in gas serra più locali (come SO_2, NO_x, CO, NO_2, e SO_x) ma ad un picco nel reddito pro capite di 37.000 dollari, sette volte più elevato del PIL medio pro capite a livello mondiale registrato nel 2000, quindi praticamente irraggiungibile, se puntiamo a rimanere al di sotto dell'obiettivo di 1,5°C di riscaldamento globale. Koirala et al. (2011) si sono addentrati tra 900 osservazioni tratte da 103 studi per la loro meta-analisi, e non sono riusciti ad individuare nessun caso di CAK su gas serra.

La ricerca più recente al momento, quella di Mardani et al. (2019), va nella stessa direzione. Dopo aver preso in considerazione 175 studi pubblicati tra il 1995 e il 2017, concludono: "Se da una parte questo disaccoppiamento si è verificato in termini assoluti in alcuni paesi, la tendenza principale in gran parte dei paesi sviluppati è quella di un aumento delle emissioni, o di una loro stabilizzazione a un livello elevato. Difficilmente si può affermare che ci siano sufficienti prove empiriche di una CAK per l'intensità di emissioni di CO_2."

[19] Anche Conrad e Cassar (2014) per Malta (1995-2012); Jiang e Li (2017) per diversi brevi periodi negli USA; Marques et al. (2018) per l'Australia (1975-2016); Wu et al. (2018) in otto paesi ad alto e medio reddito (1965-2015); e Wood et al. (2018) su scala mondiale.

[20] Riguardo alla qualità metodologica degli studi sulla CAK, Galeotti et al. (2006) dimostrano che l'insieme di dati hanno un impatto trascurabile sui risultati. Tuttavia,
bisognerebbe prestare attenzione a errate specifiche econometriche. Itkonen (2012) e Wagner (2008) rilevano che un'applicazione sbagliata dei metodi di ricerca spesso porta a distorsioni trascurate e quindi ad affermazioni false – critiche simili sono state formulate in precedenza da Stern (2004).

Il disaccoppiamento assoluto può essere individuato solo restringendo il campo di osservazione, cioè limitando l'arco temporale o l'area geografica presi in considerazione. Per esempio, Chen et al. (2018) analizzano le emissioni totali di 30 paesi OCSE tra il 2001 e il 2015. In questo arco di tempo riscontrano un aumento del PIL del 70,6%, con una diminuzione delle emissioni di CO_2 del 3,8%, per la maggior parte verificatasi tra il 2010 e il 2015. L'Agenzia Ambientale Europea riporta una riduzione assoluta di anidride carbonica del 22% tra il 1990 e il 2017, una media di 49 $MtCO_2e$ all'anno (EEA, 2018). Madaleno e Moutinho (2018) riscontrano un disaccoppiamento assoluto temporaneo nell'Europa a 15 per le emissioni territoriali, ma solo tra il 1996 e il 1999 (l'intero periodo di studio era 1995-2014). Allo stesso modo, Roinioti e Koroneos (2017) hanno individuato due casi di disaccoppiamento assoluto temporaneo, durati uno e due anni rispettivamente, in Grecia tra il 2003 e il 2013. Cansino e Moreno (2018) riscontrano un'incidenza di disaccoppiamento assoluto in Cile, ma solo per alcuni anni in particolare, nell'arco del loro periodo di studio (1991-2013).

E' più probabile osservare casi di disaccoppiamento assoluto considerando aree geografiche ristrette e senza tener conto di relazioni e scambi con il resto del mondo. Concentrandosi sugli indicatori di efficienza ecologica delle industrie delle Fiandre, Van Caneghem et al. (2010) riferiscono di aver osservato un disaccoppiamento assoluto tra il 1995 e il 2006. Lo studio di Azam e Khan (2016) illustra un disaccoppiamento assoluto tra emissioni su base territoriale e PIL verificatosi in Tanzania e Guatemala, utilizzando una serie cronologica di dati annuali basati sulla produzione dal 1975 al 2014. Ulteriori prove vengono fornite da Lean e Smyth (2010) per Singapore, utilizzando misurazioni basate sulla produzione tra il 1980 e il 2006.

Quattro osservazioni su questi risultati. Primo, se c'è un disaccoppiamento assoluto, rimane infinitesimale. Per esempio, il 3,8% in 14 anni (Chen et al., 2018) è un risultato modesto – corrisponde a un tasso annuo di crescita composto del -0,28% all'anno, che resta 18 volte troppo lento rispetto all'obiettivo dell'IPCC (2018) di 1,5°C, che comporta una riduzione annua del 5%. La diminuzione delle emissioni dell'8% registrata tra il 2007 e il 2015 dall'Agenzia Internazionale per l'Energia consiste in un calo annuale solo dell'1% (AIE, 2016); e il disaccoppiamento nell'Unione Europea segnalato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA) dovrebbe aumentare di 5 volte per raggiungere l'obiettivo di una attenuazione del -95% entro il 2050. Altri tassi altrettanto scoraggianti di disaccoppiamento assoluto sono rilevati da Pilatowska e Wlodarczyk (2018) in Belgio, Danimarca, Francia e Regno Unito (1960-2012). Nel loro studio comparativo, il risultato migliore è stato riscontrato in Danimarca con un calo annuale delle emissioni dell'1,8%, contemporaneamente a un aumento del PIL dell'1,16%. Per quanto questo risultato possa sembrare incoraggiante, secondo l'IPCC (2018) dovrebbe essere 3 volte più veloce, e verificarsi simultaneamente in ogni singolo paese, per rimanere entro il limite di 1,5°C di riscaldamento globale. Tutto ciò invita ad accelerare gli sforzi. Tuttavia, gli studi esaminati evidenziano il contrario: l'andamento del disaccoppiamento nei paesi ad alto reddito sta rallentando (Fosten et al.,2012), man mano che le misure previste, facili da adottare, vengono sempre più spesso abbandonate. (In linea anche con le proiezioni dell'AEA sull'impatto ambientale delle attuali politiche, 2018).

Secondo, anche se il disaccoppiamento può essere individuato per un determinato periodo, è probabile che scompaia se si estende l'arco temporale preso in esame. Wang et al. (2018) in effetti rilevano negli Stati Uniti diversi periodi in cui le emissioni di CO_2 da fonti di energia fossili scendono, mentre il PIL sale: -1,75% (2000-2001), -1,61% (2005-2006), e tra -2 e -3.31% (2010-2012). Se lo studio avesse preso in considerazione solo questi periodi, allora si potrebbe parlare di un chiaro disaccoppiamento assoluto. Tuttavia, spalmato su un

periodo più lungo, (dal 2000 al 2014 nel loro studio), il calo delle emissioni è ancora assoluto, ma a un ritmo dello 0,006% all'anno, che è troppo lento di circa 833 volte rispetto alle raccomandazioni dell'IPCC. Inoltre, una causa importante di questo calo è stato il passaggio dal carbone al gas, una misura irripetibile, facilitata dal boom temporaneo di petrolio e gas di scisto negli Stati Uniti, che non può costituire una tendenza permanente.
Terzo, gran parte di questi studi prendono in considerazione solo le misure basate sulla produzione. Invece, quelli che adottano una prospettiva basata sui consumi, riscontrano risultati molto diversi. La recente strategia a lungo termine sul clima, portata avanti dalla Commissione Europea, dimostra che l'Europa è riuscita a disaccoppiare con successo le emissioni dei gas serra dalla crescita economica negli ultimi decenni (Commissione Europea, 2018).[21] Tuttavia, sono incluse solo le emissioni territoriali, e non le emissioni basate sui consumi, come quelle incluse negli scambi commerciali internazionali. Secondo van de Lindt et al., (2017), mentre le emissioni territoriali sono scese del 13% dal 1990 al 2010, l'impronta di carbonio nello stesso periodo è aumentata dell'8%.

Allo stesso modo, Jiborn et al. (2018) dimostrano che la Svezia e il Regno Unito (1995-2009) escono dalla lista dei paesi del disaccoppiamento assoluto se si considera la rilocalizzazione delle emissioni di carbonio (v. sopra anche i risultati di Hardt et al., 2018). Rimane il disaccoppiamento relativo: un aumento del PIL (2,9% all'anno per il Regno Unito e 3,2% per la Svezia) va di pari passo con un aumento inferiore – ma pur sempre un aumento – delle emissioni (1,8% all'anno per il Regno Unito e 1,3% per la Svezia). Cohen et al. (2018) arrivano alla stessa conclusione per il Regno Unito e la Francia (1990-2014); se le emissioni di gas serra derivate dai consumi sono prese in considerazione sulla base della loro impronta ecologica, il disaccoppiamento assoluto scompare (fatta eccezione per la Germania, a causa delle esportazioni ad alto livello di emissioni dell'industria automobilistica).

La stessa cosa si verifica a Singapore, per il quale Schulz (2010) per un approccio esauriente suggerisce di includere i processi a monte e a valle dei sistemi socioeconomici ad esso connessi, e le emissioni indirette dei beni importati ed esportati, considerando tutto il loro ciclo di vita. Singapore è utilizzato in questo studio longitudinale come esempio di economia su scala urbana. I calcoli delle emissioni dirette vengono confrontati con le stime delle emissioni indirette derivanti dagli scambi commerciali. I risultati dimostrano che il valore delle emissioni dirette corrisponde solo a circa il 20% di tutte le emissioni a monte, necessarie a sostenere l'input nel processo economico della produzione; le emissioni interne aggiunte alle emissioni indirette, incluse nei beni importati, contraddicono i risultati di Lean e Smyth (2010), dimostrando che il disaccoppiamento è solo relativo, una volta che si prendono in considerazione le emissioni indirette, relative ai beni oggetto di scambi commerciali.

Anche solo in termini di disaccoppiamento relativo, la differenza è notevole. Cohen et al. (2018) individuano dodici paesi in situazioni di disaccoppiamento relativo (Brasile, Messico, Turchia, Corea, Sudafrica, Indonesia, India, Cina, Canada, Giappone, Australia e USA) se si considerano le emissioni territoriali, ma solo due (Regno Unito e Francia) se si misura l'impronta ecologica di gas serra.
Storm e Schröder (2018) analizzano i dati di 61 paesi OCSE dal 1995 al 2011, cercando di individuare curve di Kuznets per l'anidride carbonica. Quello che sembra un disaccoppiamento nelle emissioni di CO_2 derivate dalla produzione (con un punto di svolta a un reddito annuo pro capite di 56.000 dollari), non lo è più se si calcola l'anidride carbonica importata (punto di svolta a 93.000 dollari, al di fuori del loro campione).

[21] Il documento di riflessione sugli obiettivi di sviluppo sostenibile (Parlamento Europeo, 2019) parla in effetti di disaccoppiamento assoluto, basato sui consumi, con riferimento all'analisi delle sue strategie a lungo termine (Commissione Europea, 2018). Al di là di questa affermazione, tuttavia, non abbiamo trovato conferme a sostegno di questa tesi in nessuno dei due documenti.

Infine, bisognerebbe considerare la crisi finanziaria globale del 2007-2008 e la successiva crisi dell'Eurozona, per le conseguenze che hanno avuto sulle attività economiche, e quindi sulle emissioni. La rapida diminuzione delle emissioni durante la crisi non è stata certo una sorpresa. Gran parte degli studi che scompongono gli effetti di diverse variabili sulle emissioni di CO_2 (consumo di energia, intensità di energia, intensità di anidride carbonica, PIL) concludono che il PIL è uno dei principali fattori trainanti delle emissioni di CO_2 (Cansino e Moreno, 2018; Chen et al., 2018; Jiang et al., 2016; Madaleno e Moutinho, 2018; Roinioti e Koroneos, 2017). L'analisi di 175 studi di Mardani et al. (2019) addirittura indica un accoppiamento reciproco tra PIL ed emissioni di CO_2. Anche se una recessione forse riduce l'impatto ambientale nel breve termine (Declercq et al., 2011; Feng et al., 2015; Roinioti e Koroneos, 2017), difficilmente può essere considerato un successo delle politiche adottate in termini di disaccoppiamento dai fautori della crescita verde.

Per finire, esaminiamo uno studio specifico sul disaccoppiamento ampiamente diffuso dai media. Nel 2016, il World Resource Institute ha pubblicato sul suo sito web un articolo dal titolo The Roads to Decoupling: 21 Countries Are Reducing Carbon Emissions While Growing GDP (Le strade che portano al disaccoppiamento: 21 paesi stanno riducendo le emissioni di anidride carbonica pur aumentando il loro PIL) (Aden, 2016).
Per essere precisi, dimostrano che in 21 paesi si è verificato un disaccoppiamento assoluto del PIL dalle emissioni territoriali di gas serra tra il 2000 e il 2014. Anche se si prendono per buoni questi risultati, il calo delle emissioni rimane troppo esiguo. Secondo le loro stime, il paese con il disaccoppiamento più veloce è la Danimarca con una riduzione del 30% in questo arco di tempo. Anche se il 30% può sembrare notevole, si tratta solo di una diminuzione composta del 2,5% all'anno, la metà del valore raccomandato dall'IPCC. La riduzione media per i 21 paesi è del 15% in quattordici anni (1,15% all'anno) per un totale di 1.005 Mt in meno sull'intero periodo. Suddiviso tra i 21 paesi presi a campione, si tratta di 48 Mt per paese, e 3,4 Mt per paese all'anno. Confrontiamo ora questo dato con la riduzione di 8,2 $GtCO_2$ all'anno raccomandata dall'IPCC (2018). Se equamente distribuita tra i 195 paesi delle Nazioni Unite, l'attenuazione necessaria deve essere di almeno 42 Mt per paese all'anno, che corrisponde a dodici volte il volume delle emissioni evitate dai casi più riusciti di disaccoppiamento individuati dallo studio del World Resource Institute.

Questo numero si abbassa notevolmente quando si prendono in considerazione le emissioni dell'impronta di carbonio. Evans e Yeo (2016) rifanno il calcolo con indicatori basati sui consumi. Tre paesi (Slovacchia, Svizzera e Ucraina) spariscono dalla lista. Il valore della riduzione delle emissioni in Danimarca si ridimensiona dal 30% al 12%. Mentre la riduzione media nei 20 paesi che sono riusciti a raggiungere il disaccoppiamento sul loro territorio è del 15,75% totale sul periodo (abbiamo tolto l'Uzbekistan, per il quale non ci sono dati disponibili sull'impronta ecologica), il disaccoppiamento delll'impronta di carbonio, è solo del 7,46% (cioè 706,7 Mt di CO_2 in meno in 14 anni), che corrisponde a un calo composto delle emissioni dello 0,55% annuo. Ancora una volta, vorremmo ricordare che queste sono le nazioni che hanno ottenuto i risultati migliori in termini di mitigazione, e che il resto del mondo rimane sul percorso più PIL più emissioni.

Questi numeri dovrebbero essere letti con cautela, in quanto il calcolo delle emissioni dell'impronta di carbonio è solo all'inizio, ed è estremamente complesso (Sato, 2014). Considerando l'assenza di dati validi e il livello di complessità degli attuali modelli, è più probabile che si sottovaluti le emissioni, piuttosto che avvenga il contrario. Per esempio, le emissioni causate dal trasporto aereo e marittimo sono sistematicamente escluse dai calcoli nazionali. Nei 28 paesi dell'Unione Europea (più Islanda, Norvegia e Svizzera), le emissioni di CO_2 causate dal solo trasporto aereo sono state stimate a un valore di 151 Mt

nel 2014; anche se sono aumentate solo del 5% dal 2000, ci si aspetta che aumentino di un ulteriore 45% da qui al 2035 (EASA-AEA-EUROCONTROL, 2016). Assumendo un valore annuale di 150 Mt, si arriva a 2.100 Mt di CO_2 emesse nel periodo 2000-2014, che corrispondono al triplo di tutte le emissioni evitate con il disaccoppiamento assoluto, secondo il ricalcolo dell'impronta ecologica di Evans and Yeo (2016), effettuato sullo studio del World Resource Institute (Aden, 2016).

Suolo

Sono molto pochi gli studi empirici che hanno verificato l'ipotesi del disaccoppiamento scegliendo le misurazioni del suolo come variabili ambientali. Tuttavia, la letteratura sull'argomento conferma ampiamente che con il crescere del reddito, lo spazio occupato pro capite aumenta, e con esso la superficie cementificata. Quindi, questa parte si concentra sulle relazioni generali tra PIL e uso del suolo.

In letteratura esistono diverse definizioni di uso del suolo. Weinzettel et al. (2013) si riferisce ad esso come "uso di superfici terrestri e oceaniche tramite processi internazionali di approvvigionamento fino al consumo finale di prodotti agricoli, alimentari e forestali", misurato in base all'uso di suolo (gha pro capite) o alla frazione dell'impronta ecologica totale a livello mondiale (%). Un'altra misura è l'Appropriazione Umana della Produzione Primaria Netta (HANPP), in cui il denominatore è il carbonio totale prodotto annualmente dalla crescita delle piante, mentre il numeratore è la biomassa raccolta e il cambio di destinazione del suolo indotto dall'uomo (Krausmann et al., 2013). Altre forme di misurazione sono per esempio l'impronta ecologica (Bagliani et al., 2008; Borucke et al., 2013; Caviglia-Harris et al., 2009). Altri studi si riferiscono solo a singole variabili quali il terreno coltivabile (Sandström et al., 2017; Tilman et al., 2011) o foreste (Kumar e Aggarwal, 2003).

La letteratura esistente non offre esempi di disaccoppiamento assoluto tra attività economica e uso del suolo, ma solo relativo. Conrad e Cassar (2014) riscontrano un disaccoppiamento relativo di un'area territoriale interessata dallo sviluppo del PIL a Malta tra il 1995 e il 2012. A livello mondiale, l'impronta ecologica è cresciuta insieme alla crescita economica, senza dare segnali di disaccoppiamento (Bagliani et al., 2008; Caviglia-Harris et al., 2009). Krausmann et al. (2013) rilevano che tra il 1910 e il 2005 mentre la popolazione mondiale è cresciuta di quattro volte e la produzione economica di 17 volte, l'Appropriazione Umana della Produzione Primaria Netta è solo raddoppiata, grazie ai notevoli progressi nell'efficienza. Per diverse misurazioni e regioni queste tendenze relative sono confermate anche da altri studi (Conrad e Cassar, 2014; Kastner et al., 2014; Tilman et al., 2011; Weinzettel et al., 2013), ma non viene riscontrato alcun caso di disaccoppiamento assoluto.[22] Prendiamo ad esempio il terreno coltivabile. A livello mondiale, il terreno coltivabile utilizzato per la produzione di cibo è aumentato del 32% dal 1963 al 2005 (Kastner et al., 2014), trainato soprattutto dall'aumento della domanda di calorie animali, a sua volta fortemente influenzato dal reddito pro capite (Tilman et al., 2011). Weinzettel et al. (2013) affermano che per ogni raddoppio del reddito, l'impronta di suolo è aumentata del 35%.

Il reddito non è solo correlato all'uso di suolo, ma anche al trasferimento netto di suolo, che è il motivo per cui gli indicatori di impronta sono molto importanti per capire la relazione tra attività economica e uso del suolo. Se si prendono in considerazione gli scambi commerciali, i paesi ricchi tendono a usare una maggiore quantità pro capite di suolo

[22] Uno sguardo più attento all'impronta ecologica dei vari paesi e alla loro biocapacità disponibile evidenzia l'interessante caso della Finlandia, la cui impronta ecologica è scesa del 6,5% nel periodo 2002-2005, mentre il suo PIL è aumentato del 9,5% nello stesso periodo, pur rimanendo entro i limiti della biocapacità disponibile (Mattila, 2012). Tuttavia, questo risultato deriva soprattutto da calcoli errati, come dimostrato da Mattila (2012).

biologicamente produttivo rispetto ai paesi poveri (Weinzettel et al., 2013). L'impronta di suolo dell'Unione Europea era di 2,5 ettari globali (gha) a testa, in confronto a una media mondiale di 1,2 gha a testa e ad una biocapacità totale di 1,8 gha. Per ogni ulteriore scaglione di reddito di 10.000 dollari pro capite, una cifra compresa tra 0,1 e 0,4 ettari globali a testa vengono trasferiti al di fuori del paese di consumo del prodotto (Weinzettel et al., 2013); questo risultato è confermato anche da altri studi (Kastner et al., 2014; Yu et al., 2013). In totale il 60% del suolo è utilizzato per le esportazioni (Weinzettel et al., 2013), mentre i paesi ricchi sono i maggiori importatori netti. Per esempio, il 33% dell'uso totale di suolo per i consumi degli Stati Uniti è trasferito da altri paesi - questa percentuale diventa molto più elevata nel caso dei paesi dell'Unione Europea (più del 50%) e in Giappone (92%) (Yu et al., 2013). Il cittadino medio dell'Unione Europea nel 2004 si appropriava di 2,53 gha, rispetto a una media mondiale di 1,23 gha (Steen-Olsen et al., 2012).

La produzione agricola si accoppia con le pressioni ambientali, e il trasferimento di suolo dovuto agli scambi commerciali internazionali significa che anche i costi ecologici vengono spostati (Lambin e Meyfroidt, 2011; Tukker et al., 2016; Weinzettel et al., 2013; Yu et al., 2013). Le importazioni di prodotti agricoli e di bestiame da parte dei paesi dell'Unione Europea hanno contribuito in modo significativo alla deforestazione mondiale nel periodo che va dal 1990 al 2008; per esempio più del 90% dell'impatto sulla biodiversità della Finlandia avviene altrove, a causa dei prodotti importati (Sandström et al., 2017). E' probabile che i cambiamenti nell'uso del suolo che ne derivano porteranno a un aumento delle emissioni di gas serra, di cui circa un quarto derivano già dall'uso del suolo e dai cambiamenti d'uso del suolo stesso (Tilman et al., 2011). Schreinemachers e Tipraqsa (2012) rilevano che l'uso di pesticidi, erbicidi, e fungicidi non scende man mano che i paesi raggiungono un reddito più alto, e rimangono strettamente collegati alla produzione agricola. Ciò dimostra che il rapporto tra attività economica e uso del suolo porta anche ad altri rischi per l'ambiente, come la perdita di biodiversità, la scarsità d'acqua, il cambiamento climatico e il consumo di energia.

Inquinamento idrico

Il report dell'UNEP sopra menzionato si basa su una ricerca sul disaccoppiamento dell'acqua o "dewatering" che in modo esplicito non tiene conto dell'inquinamento idrico (UNEP, 2015, p. 2). Se da un lato sono stati fatti importanti progressi nel limitare l'inquinamento idrico nella produzione industriale e agricola, la contaminazione dell'acqua rimane un problema mondiale che contribuisce ad aumentare il numero di zone a rischio di inquinamento idrico (Strokal et al., 2019). Gran parte dell'inquinamento idrico a livello mondiale è dovuto alla produzione di beni industriali ed agricoli destinati agli scambi commerciali regionali e mondiali (Liu et al., 2017; Mekonnen e Hoekstra, 2016; Vörösmarty et al., 2015; Zhao et al., 2016, 2015).

Il concetto di flusso di ritorno, che corrisponde alla differenza tra prelievo e consumo, è cruciale per la nostra comprensione dell'inquinamento idrico. Il flusso di ritorno concentra l'impatto dell'inquinamento dei processi produttivi che dipendono dall'acqua. La pulizia dei flussi di ritorno si può realizzare grazie ai progressi nelle tecnologie per produzioni più pulite, spesso incentivate dalla emissione ed applicazione di regolamentazioni per la tutela ambientale. Queste tecnologie sono costose, e ciò può causare la delocalizzazione della produzione in zone dove ci sono meno regolamentazioni dell'inquinamento idrico, o dove le stesse sono applicate meno rigidamente. Come viene evidenziato nella ricerca su inquinamento idrico mondiale e salute dell'uomo di Schwarzenbach et al. (2010), la produzione a basso costo nei paesi in via di sviluppo continua ad essere associata ad alti livelli di inquinamento idrico. Delocalizzare le produzioni tossiche e ad alto consumo idrico può portare a un disaccoppiamento della crescita economica dagli impatti sulla qualità

dell'acqua nei bacini idrici a livello locale, regionale e nazionale, tuttavia su scala mondiale i problemi relativi alla qualità dell'acqua restano gli stessi, o in alcuni casi diventano ancora più gravi (van Vliet et al., 2017).

L'accumulo di azoto e fosforo, i due principali macro-nutrienti necessari alla produzione agricola, portano all'eutrofizzazione e alla formazione di zone morte negli ecosistemi idrici, che si sono diffuse in modo esponenziale fin dagli anni '60 (Diaz e Rosenberg, 2008). L'azoto viene anche disperso nell'atmosfera, dove in qualità di reagente è un gas serra più potente dell'anidride carbonica. Le percentuali di utilizzo di fertilizzanti a base di azoto e fosforo per superficie di terreno coltivabile sono aumentate rispettivamente di circa 8 volte e 3 volte dal 1961 ad oggi (Lu e Tian, 2017). Secondo Lu e Tian (2017) il tasso di fertilizzanti è cresciuto di 0,8g N/g P a decennio nel periodo 1961-2013, con ripercussioni causate dall'uomo su cambiamento climatico, qualità dell'acqua ed ecosistemi, sicurezza alimentare e agro-ecosistemi in generale. Inoltre, recenti previsioni sulla domanda di fertilizzanti dimostrano che la domanda di fertilizzanti a base di azoto è ancora in crescita, anche nei paesi ricchi, Nord America ed Europa (FAO, 2017).

I flussi biochimici mondiali di azoto e fosforo hanno oltrepassato i confini planetari (Steffen et al., 2015) introdotti nel 2009 con l'obiettivo di definire i limiti ambientali entro cui l'umanità può operare in sicurezza. Questo approccio si è dimostrato efficace nell'incentivare l'adozione di politiche per la sostenibilità a livello mondiale. Steffen et al. offrono un'analisi aggiornata ed approfondita della struttura dei confini planetari. Dei nove confini originali proposti, ne identificano tre, incluso il cambiamento climatico. Quest'ultimo deriva principalmente dall'agricoltura e dall'allevamento intensivi, prevalenti nel mondo, che portano all'inquinamento atmosferico da azoto, e lungo le coste all'eutrofizzazione e alla formazione di zone morte (Bouwman et al., 2013). Lo scarico di sostanze nutritive chimiche usate in agricoltura è il principale responsabile della contaminazione delle acque di falda e di superficie, molto più significativo di quello delle fonti urbane di inquinamento (Billen et al., 2013). Uno studio che ha esaminato i cambiamenti nei cicli dell'azoto e del fosforo in agricoltura, causati dall'allevamento di bestiame nel periodo 1900-2050, dimostra che gli apporti umani di azoto e fosforo sono aumentati di cinque volte dall'epoca pre-industriale, e che entro il 2050 le quantità in eccesso sono destinate ad aumentare ulteriormente di oltre il 20% per l'azoto e oltre il 50% per il fosforo (Bouwman et al., 2013).

Perdita di biodiversità

La biodiversità è difficile da misurare,[23] ma né gli indicatori individuali sullo stato della biodiversità, né quelli aggregati, hanno mostrato miglioramenti significativi nei loro tassi di riduzione, mentre tutti gli indicatori di pressione hanno evidenziato tendenze alla crescita, nessuno di loro infatti ha rallentato in modo significativo (Butchart et al., 2012). L'ultimo rapporto ad oggi della Piattaforma intergovernativa scientifico-politica sui servizi per la biodiversità e gli ecosistemi (IPBES, 2019) ha dimostrato che quasi tutti i fattori che causano perdita di biodiversità continuano a crescere, che la pericolosa riduzione della biodiversità non ha precedenti, che le percentuali di estinzione delle specie stanno accelerando, e che le attuali contromisure adottate a livello mondiale sono insufficienti. Vanno nella stessa direzione le previsioni per il 2030 dell'Unione Europea, riguardo condizioni e servizi degli ecosistemi, e il rapporto della FAO, preoccupati per i livelli di declino delle specie. (EEA,

[23]Vačkář et al. (2012) passano in rassegna i diversi indici che monitorano l'impatto umano sulla biodiversità. Uno dei più noti è l'Indice del Pianeta Vivo, che evidenzia i cambiamenti nella quantità e distribuzione delle specie. Gli altri indicatori sono: l'Indice Lista Rossa, che misura i cambiamenti nel rischio di estinzione, rilevati da IUCN; l'Indice Trofico Marino, che è specializzato nella biodiversità marina, l'Indice di Capitale Naturale, che comprende i cambiamenti a quantità e qualità dell'ecosistema, l'Indice di Integrità della Biodiversità, che misura sia la ricchezza di specie che l'abbondanza della popolazione, e l'Indice di Integrità Biotica, che valuta gli ecosistemi confrontandoli con uno stato di riferimento, secondo vari impatti umani (Vačkář et al., 2012). Un altro indice è l'Indice di valutazione del rischio per la biodiversità nazionale (Reyers et al., 2018), ma non viene aggiornato regolarmente.

2018; FAO, 2019, p. 445). Analizzando le percentuali di estinzione, e paragonandole alle percentuali medie dell'ambiente naturale a partire dal 1500, Ceballos et al. (2015) fanno supposizioni molto caute, riguardo al fatto che le attività umane stiano o meno causando un'estinzione di massa. Prima di tutto, usiamo una stima recente del tasso di estinzione naturale di 2 mammiferi per 10.000 specie ogni 100 anni (cioè 2 E/MSY ritengono che il tasso attuale superi ampiamente la media naturale, e mettono in guardia contro un'imminente sesta estinzione di massa (see also Barnosky et al., 2011).

La letteratura empirica sul rapporto CAK tra biodiversità e crescita economica è scarsa ma coerente. La prima meta-analisi ha utilizzato 121 osservazioni, raccolte da una serie di 25 studi, e 11 indicatori ambientali, compresa la deforestazione (Cavlovic et al., 2000). Lo studio ha analizzato i rapporti CAK e ha stimato degli ipotetici punti di svolta nel livello di reddito, utilizzando diversi metodi di modellazione. Riguardo la deforestazione, utilizzata come indicatore di perdita di biodiversità,[24] il punto di svolta del reddito è stato calcolato nella fascia 5.000-20.000 dollari (prezzi del 1999).

Koirala et al. (2011) hanno utilizzato quasi 900 osservazioni tratte da 103 studi per la loro meta-analisi e hanno disaggregato le misurazioni di qualità ambientale in 12 diverse variabili, senza osservare alcuna CAK né per la deforestazione, né per il degrado del paesaggio o dell'habitat. Dietz e Adger (2003) non individuano alcuna CAK né per la deforestazione, né per la ricchezza di specie: un risultato confermato da Mills e Waite (2009), che affermano che i paesi più ricchi possono concedersi il lusso di investire in modo più sostanzioso nella conservazione della biodiversità. Partendo da questo presupposto, ci aspettiamo un rapporto a U tra ricchezza pro capite e quota di specie conservate. Testiamo questa curva ambientale di Kuznets (CAK). L'argomentazione di Asafu-Adjaye (2003) è ancora più forte, infatti afferma che crescita economica e diversità delle specie sono inversamente proporzionali – conclusione confermata da Raymond (2004) in uno studio su 142 paesi. Mozumder et al. (2006) respingono l'ipotesi della CAK per il reddito e il rischio di perdita di biodiversità. Usando lo stesso modello, Tevie et al. (2011) arrivano alla stessa conclusione nel loro studio su 48 stati degli USA. Naidoo & Adamowicz (2001), usando dati da più di 100 paesi, hanno esaminato il legame tra il numero delle specie a rischio e la crescita del reddito pro capite. Dopo aver suddiviso le specie in sette gruppi tassonomici (piante, mammiferi, uccelli, anfibi, rettili, pesci, invertebrati), hanno potuto dimostrare il disaccoppiamento assoluto solo per gli uccelli. Invece per le piante, gli anfibi, i rettili, e gli invertebrati la proporzione era l'opposto, il numero delle specie a rischio aumentava insieme al PIL.

[24]E' meglio essere cauti con le deduzioni e le interpretazioni dei dati. Per esempio, il reddito pro capite sembra in effetti essere collegato alle aree protette, tuttavia, più come parte di vari indicatori socio-economici (sociali, economici, culturali e naturali) che indipendentemente, come fattore autonomo (Dietz and Adger, 2003). Inoltre, le aree protette non garantiscono una migliore conservazione della biodiversità (Bruner et al., 2001). In alcuni studi precedenti, che hanno individuato una CAK (Bhattarai e Hammig, 2001), il problema potrebbe essere il modo di interpretare la biodiversità. La riforestazione, portata avanti piantando alberi, non riesce a compensare la deforestazione di foreste pluviali primarie con le specie che le accompagnano. McPherson & Nieswiadomy (2005) hanno identificato una CAK per specie a rischio di uccelli e mammiferi (usando i dati IUCN per 113 paesi nel 2000), e un potenziale punto di svolta intorno a 10.000-15.000$ (1995$ PPP) nel reddito pro capite, dopo il quale diminuisce la percentuale di specie a rischio. Tuttavia, il problema con i dati IUCN è che la percentuale di specie a rischio o quella di deforestazione possono essere basse, in paesi che hanno già sperimentato forti estinzioni o deforestazioni in passato (McPherson and Nieswiadomy, 2005). Quindi, utilizzano le percentuali invece del numero di specie, e fanno una serie di altre correzioni sull'insieme dei dati.

Conclusioni per la Seconda Parte

Alla luce dei testi presi in esame, possiamo sicuramente concludere che non c'è una prova empirica che confermi l'esistenza di un disaccoppiamento del genere descritto come necessario nella prima parte di questo rapporto – cioè un disaccoppiamento assoluto, globale, permanente, e sufficientemente veloce e ampio delle pressioni ambientali (risorse naturali e impatto ambientale) dalla crescita economica. Alla fine, la nostra ricerca di prove solide non ha avuto esito positivo: abbiamo riscontrato solo una manciata di specifiche eccezioni metodologiche, più che altro riguardanti il disaccoppiamento relativo; in caso di disaccoppiamento assoluto, era principalmente temporaneo e limitato nello spazio, basato solo su indicatori territoriali (cioè incongruente in termini di spazio), o aveva a che fare con specifici inquinanti locali e a breve termine. In ogni caso, la riduzione delle pressioni ambientali è risultata inferiore agli obiettivi attualmente prefissati dalla politica ambientale. Dopo una ricerca così ampia, possiamo affermare con certezza che il tipo di disaccoppiamento acclamato dai sostenitori della crescita verde è frutto di immaginazione statistica.

Tuttavia, anche se il successo della strategia della crescita verde non si è ancora visto da nessuna parte, questa assenza di prove empiriche non ci autorizza ad abbandonare definitivamente l'ipotesi del disaccoppiamento. Un disaccoppiamento adeguato dell'attività economica dalle pressioni ambientali rimane teoricamente possibile, se la produttività delle risorse naturali cresce più velocemente del PIL in modo permanente e globale, a sufficienza. Questo potrebbe succedere, secondo alcuni, incrementando la copertura geografica del commercio delle emissioni (Stiglitz et al., 2017), e allo stesso tempo riducendo gradualmente le sovvenzioni ai carburanti fossili (Schwanitz et al., 2014), indirizzando gli investimenti verso infrastrutture sostenibili (Guivarch e Hallegatte, 2011), e adottando una serie di altre politiche per il disaccoppiamento (Smith et al., 2010; UNEP, 2014a). Quello che è in discussione è l'impatto di una serie di fattori, tendenze e fenomeni che potrebbero rendere possibile o impedire questo disaccoppiamento, spinto dall'efficienza. L'obiettivo della parte finale di questo rapporto è considerare l'ipotesi del disaccoppiamento in prospettiva con l'impatto potenziale di questi fattori.

III. Il disaccoppiamento può verificarsi?

In cerca di prove, abbiamo capito che il tipo di disaccoppiamento necessario a mitigare il cambiamento climatico in modo efficace ed equo, e a risolvere altre crisi ambientali, non si è ancora verificato da nessuna parte. Tuttavia, l'assenza di un supporto empirico non è sufficiente ad abbandonare definitivamente la possibilità del disaccoppiamento, che alcuni ritengono possa verificarsi in futuro, con i dovuti cambiamenti nelle politiche adottate. Lo scopo di questa parte è valutare la validità di questa posizione. La nostra affermazione è la seguente: è estremamente improbabile che un disaccoppiamento adeguato (cioè assoluto, permanente, e sufficiente) si verifichi a breve. Presentiamo sette motivazioni in difesa di questa affermazione: (1) aumento della spesa energetica, (2) effetti rimbalzo, (3) spostamento dei problemi, (4) il sottovalutato impatto dei servizi, (5) il limitato potenziale del riciclo, (6) cambiamenti tecnologici insufficienti e inappropriati, e (7) delocalizzazione dei costi. Di seguito un approfondimento di queste motivazioni

1. Aumento della spesa energetica

La disponibilità di risorse naturali non dipende solo dalla loro quantità assoluta (quante ce ne sono), ma anche dalla loro qualità e accessibilità (quanto impegno è richiesto per estrarle). Quando si estrae una risorsa, di solito si sfruttano prima le opzioni meno costose, il che significa che l'energia e le risorse materiali, usate dal sistema economico, che erano più facilmente accessibili, sono già state sfruttate.[25] L'estrazione delle riserve rimanenti diventa quindi un processo più complesso, che richiede più tecnologia, con maggiore impatto sociale quindi generalmente più costoso, a maggiore intensità di risorse ed energia e più inquinante, che ha come conseguenza l'aumento del degrado ambientale totale per unità di risorsa estratta. E' il caso dei depositi di metalli e minerali a bassa concentrazione, sabbie bituminose, pozzi petroliferi offshore ad alta profondità, riserve che si trovano nelle regioni polari o vicino a città densamente popolate, come il gas di scisto vicino a Parigi. Questi crescenti costi di estrazione dell'energia[26] significano che è necessario estrarre una maggiore quantità di risorse intermedie per estrarre le risorse finali, richieste per la produzione della stessa quantità di beni e servizi, portando all'opposto del disaccoppiamento.

All'argomentazione della spesa energetica talvolta si oppongono le persone che insistono nell'affermare che l'energia ha solo un ruolo marginale nelle attività economiche. E in

[25]L'idea, dettata dal buon senso, che le opzioni più semplici e meno costose siano generalmente utilizzate per prime (il proverbiale "raccogliere i frutti più bassi") è definita in economia la "legge del costo marginale crescente " e, applicata alle risorse naturali, talvolta è chiamata il "principio prima il migliore" Questa regola generale vale in molti casi e si può osservare in molteplici situazioni: dall'estrazione di risorse, ai miglioramenti dell'efficienza e alla riduzione dell'inquinamento.

[26]E' necessario sottolineare che c'è una differenza tra il costo e il prezzo di una risorsa naturale. Prendiamo ad esempio l'energia. Mentre il prezzo indica la quantità di denaro richiesta sul mercato da una forma di energia resa merce (ad esempio 55€ per un barile di petrolio, 0,2€ per un kWh di elettricità), il suo costo (come viene inteso in questa parte) fa riferimento alla reale (e non monetaria) quantità di energia (ad esempio litri di petrolio, metri cubi di gas, calorie di cibo, kilowatt-ora di elettricità, chili di carbone o di biomassa) che devono essere impiegati per estrarre un'unità supplementare di energia. Un altro modo di dire la stessa cosa è che il costo di una risorsa naturale ha a che fare con la sua estrazione e produzione, mentre il prezzo ha a che fare con il suo consumo. Dal momento che le spese sostenute per queste risorse di solito hanno anche un prezzo, a lungo termine il costo e il prezzo di una risorsa naturale tendono a convergere.

effetti, dal punto di vista monetario, il settore dell'energia conta solo per una piccola parte del PIL. Tuttavia, questa prospettiva è stata contestata da numerosi ricercatori (Ayres and Warr, 2009; Georgescu-Roegen, 1971; Giampietro et al., 2011; Hall e Klitgaard, 2012; Kümmel, 2011). In tempi più recenti, Keen et al. (2019: 41) affermano che l'energia non è un sostituto del lavoro o del capitale, ma esattamente quello che permette a questi fattori della produzione di avere un ruolo utile – "il lavoro senza l'energia è un cadavere, mentre il capitale senza l'energia è una scultura" (Keen et al., 2019, p. 41). In questo caso, il buonsenso è forse più utile degli studi di economia: la velocità media di un'automobile (crescita del PIL) potrebbe sembrare determinante ai fini del suo consumo di benzina (uso dell'energia), ma nessuno può ragionevolmente pensare che un'auto potrebbe spostarsi senza di essa (Fizaine and Court, 2016, p. 173).

Energia

Quando si parla di risorse energetiche, l'efficienza dell'estrazione può essere quantificata usando il concetto di EROI (o EROEI), che sta per Rendimento di Energia su Energia Investita. EROEI è la proporzione tra la quantità di energia ottenuta da una risorsa naturale e la quantità di energia che si deve utilizzare per estrarla a partire dall'inizio del processo.[27] E' una misurazione della produzione netta di energia; per esempio, una proporzione di 1:1 per il petrolio significherebbe che per estrarre un barile di petrolio è necessario un altro barile di petrolio, mentre una proporzione di 10:2 significherebbe che i costi energetici per estrarre 10 barili sono di due barili. Questo concetto permette di differenziare il costo e il ritorno di energia (per esempio, un EROEI di 50:1 significa un costo energetico del 2% per un surplus di energia del 98%, mentre una proporzione di 5:1 significa un costo del 20% per un surplus dell'80%). Più è basso l'EROEI, più è alto il costo energetico, o spesa energetica. Se l'EROEI diminuisce, significa che una crescente porzione della produzione di energia deve essere stanziata per ottenere energia, che porta a un aumento dell'uso di risorse naturali e dell'impatto ambientale.

Diversi autori affermano empiricamente che alti livelli di spesa energetica sono associati a bassi tassi di crescita economica, o addirittura che il PIL non può crescere oltre una certa soglia di spesa energetica relativa: 5,5% del PIL totale per Murphy and Hall (2011), considerando gli Stati Uniti tra il 1970 e il 2007; 8-10% per gli USA e 9-11% per tutti i paesi OCSE per Bashmakov (2007); e 11% per Fizaine e Court (2016), considerando gli USA nel periodo 1850-2012. La logica è semplice: se la spesa energetica supera queste soglie, comincia ad essere un fattore limitante dell'utilizzo di lavoro e capitale.

L'EROEI per i combustibili fossili è particolarmente interessante, perché descrive anche quante emissioni di gas serra vengono generate, in un'economia basata sui combustibili fossili, per fornire ogni ulteriore unità di energia fossile (tonnellata o barile) - si potrebbe addirittura parlare di costo climatico per l'estrazione di un barile. Se da una parte l'intensità di carbonio di quel consumo è fissa (per esempio, bruciare un barile di petrolio produce circa
120 kg di carbonio), una diminuzione dell'EROEI corrisponde a un aumento delle emissioni per ogni unità di energia primaria utilizzata (le emissioni di carbonio che corrispondono alla

[27]Hall et al. (2014) l'energia da fonti fossili a buon mercato e apparentemente inesauribile ha fatto sì che gran parte della società ignorasse la consistenza del contributo del mondo biofisico al processo economico, così come i potenziali limiti della crescita.
Questo documento si concentra sulla valutazione dei costi energetici della società odierna e del loro rapporto con il PIL. Ci concentriamo soprattutto sulle caratteristiche delle nostre principali fonti di energia, compreso il rendimento energetico su investimento di ogni carburante. L'indice EROEI si differenzia in quattro tipi. "L'EROEI standard" è la produzione di energia divisa per la somma dell'energia diretta e indiretta usata per generare quella produzione. "L'EROEI del punto di utilizzo " aggiunge i costi associati alla raffinazione e al trasporto del carburante. "L'EROEI esteso" considera l'energia richiesta non solo per ottenere, ma anche per usare un'unità di energia. E infine, "l'EROEI sociale" è "l'EROEI globale che potrebbe risultare, per tutti i carburanti di una nazione o di una società, sommando tutti i guadagni ottenuti dai carburanti e tutti i costi sostenuti per ottenerli"

quantità crescente di energia supplementare consumata per estrarre quel barile si aggiungono ai 120 kg). Secondo alcune stime, l'EROEI per la produzione globale di petrolio e gas è passato da una proporzione di 23:1 nel 1992 a 33:1 nel 1999, ed è sceso fino a circa 18:1 nel 2005, confermando la teoria che l'efficienza, ottenuta grazie ai miglioramenti tecnici, nel corso degli anni è stata surclassata dall'esaurimento (Hall et al., 2014). L'energia fossile a buon mercato e apparentemente illimitata ha permesso a gran parte della società di ignorare l'importanza dei contributi dati al processo economico dal mondo biofisico, così come i potenziali limiti della crescita. Questo studio si concentra sulla valutazione dei costi energetici della società odierna e del loro rapporto con il PIL. L'argomento più importante per noi sono le caratteristiche delle nostre principali fonti di energia, incluso il rendimento sugli investimenti di energia di ogni carburante (EROEI). Alcuni autori, come Morgan (2016), ora parlano di "espansione energetica", per descrivere l'espansione delle infrastrutture necessaria ad accedere all'energia e la maggiore proporzione di PIL che assorbirà. Calcolando i valori sia delle fonti di energia fossili che di quelle rinnovabili, Capellán-Pérez et al. (2018) rilevano che l'EROEI del sistema energetico globale è passato da 7:1 nel 1995 al 6:1 nel 2018.

Un ottimo esempio di questo processo di aumento dei costi marginali riguarda l'estrazione di diversi tipi di petrolio non convenzionale. Sabbie e scisto bituminosi hanno un valore misero di EROEI del 4:1 e del 7:1 (Lambert et al., 2014). Il gas di scisto è spesso acclamato come abbondante alternativa al petrolio, specialmente negli USA (Moeller e Murphy, 2016), ma non solo la perforazione dei pozzi di scisto è relativamente più costosa sia in termini energetici che finanziari, ma il ritmo con cui scende la produzione tende ad essere notevolmente più veloce rispetto ai pozzi petroliferi tradizionali (Morgan, 2016, p. 63).

Un altro esempio è il carbone. Mettendo da parte per un attimo le questioni relative all'inquinamento, le riserve mondiali di carbone suggeriscono che, in termini di volume, il carbone è tuttora relativamente abbondante. Tuttavia, non tutte le forme di carbone sono uguali per qualità. L'antracite, che è il carbone più ricco di contenuto energetico, è sempre più scarso, e spinge le aziende del settore a estrarre carbone bituminoso e sub-bituminoso, con una densità di energia inferiore (Kerr, 2009; Morgan, 2016; Schindler e Zittel, 2007).

Si potrebbe affermare che la crescita verde sarà alimentata solo da energie rinnovabili, e che quindi l'EROEI dei combustibili fossili è irrilevante. Anche se a breve affermeremo che non lo è, assumiamo per un attimo che sia possibile sostituire completamente i combustibili fossili con le rinnovabili da un punto di vista materiale (individuando minerali e suolo sufficienti a costruire le infrastrutture energetiche) e socioeconomico (con le fonti di energia rinnovabili accettate dalla società e con risorse da investire per sostituire completamente le fonti fossili). Anche in questo caso, secondo Murphy e Hall (2011), l'EROEI delle energie rinnovabili (al di sotto di 20:1) è ancora notevolmente inferiore se confrontato con gli alti indici EROEI dei combustibili fossili degli inizi (Hall et al., 2014). L'energia fossile a buon mercato e apparentemente senza limiti ha fatto sì che la società ignorasse le dimensioni dei contributi al processo economico portati dal mondo biofisico, così come i potenziali limiti della crescita. Questo studio si concentra sulla valutazione dei costi energetici della società odierna e del loro rapporto con il PIL. L'argomento su cui ci concentriamo maggiormente sono le caratteristiche delle nostre principali fonti di energia, compreso il rendimento netto di energia sugli investimenti per ogni carburante (EROEI). Capellán-Pérez et al. (2018) fanno una simulazione su cosa succederebbe all'EROEI medio entro il 2050, se le fonti di energia rinnovabili aumentassero dal 15% al 30% (primo scenario) e dal 15% al 50% (secondo scenario). Nel primo scenario, l'EROEI medio scende dall'attuale 6:1 a 5:1; e scende a 3:1 nel secondo scenario. Se le spese energetiche svolgono un ruolo importante nelle dinamiche della crescita economica, ciò significa che le energie rinnovabili sono

fondamentalmente incapaci di sospingere l'economia alla stessa velocità dei carburanti fossili.

Materie prime

Allo stesso modo, e per lo stesso tipo di motivi, la regola dell'aumento dei costi marginali, o principio primo-migliore si applica all'estrazione di materie prime. Una serie di studi dimostra già come la qualità dei minerali grezzi delle tipologie essenziali stia scadendo (ad esempio Calvo et al., 2016). Una qualità inferiore del minerale grezzo significa maggior sovraccarico e danno ambientale.

La concentrazione media di rame nel minerale grezzo è passata dall'1,8% nel 1930 allo 0,5% dei giorni nostri (Arnsperger e Bourg, 2017, p. 87), una situazione comune ad altri minerali. Percentuali più basse di concentrazione nei minerali significano che è necessario estrarre e trasportare maggiori volumi di materiale, per estrarre la stessa quantità di minerale grezzo, e con maggiore dispendio di energia. Nel primo rapporto UNEP sul disaccoppiamento, Fischer-Kowalski et al. (2011b, p. 25) stimano che, in media, l'estrazione di materie prime oggi richiede di spostare una quantità di materia tre volte superiore a quella di un secolo fa.

Questo fatto è particolarmente problematico quando si parla di tecnologie verdi (Calvo et al., 2016; Valero et al., 2018). Infatti, l'intensità minerale delle energie rinnovabili è più elevata di quella dei combustibili fossili – 1kWh di energia rinnovabile richiede una quantità di metalli di 10 volte superiore rispetto a 1kWh di energia fossile (Arnsperger and Bourg, 2017, p. 87). Se si aggiunge l'aumento della produzione, ecco che emerge il circolo vizioso: una maggiore quantità di energia sarà necessaria per estrarre più minerali, necessari a costruire più infrastrutture energetiche, parte delle quali è necessaria per fornire l'energia supplementare richiesta per estrarre più minerali, eccetera. Le energie rinnovabili possono mitigare in parte l'impatto ambientale, ma non possono sconfiggere la scarsità di risorse.

Quello che spesso si dimentica è che questa crescente scarsità di risorse si traduce anche in una ulteriore espansione della cosiddetta frontiera delle merci (Moore, 2000), cioè l'avanzamento in aree in precedenza incontaminate: spesso ne fanno le spese le comunità indigene e la salute degli ecosistemi. Tra gli esempi più recenti vi sono l'estrazione di sabbie bituminose nella provincia di Alberta, in Canada, di petrolio nella foresta pluviale del Perù, o, caso ancora più famoso, in un parco nazionale dell'Ecuador. Questi casi riguardano combustibili fossili, mentre l'estrazione di minerali richiesti per costruire le infrastrutture per le energie rinnovabili costituisce una minaccia simile per la biodiversità naturale e sociale.

L'energia e le materie prime sono di cruciale importanza per il funzionamento dell'economia, a maggior ragione se è in fase di crescita. Proprio come un organismo vivente, un sistema economico richiede energia e materie prime non solo per crescere, ma anche per mantenere le sue dimensioni attuali. Tutti i dati disponibili dimostrano che i costi per l'estrazione di energia e di materie prime stanno aumentando. Se la crescita economica richiede più energia e materie prime, e sono necessarie quantità sempre maggiori di energia e materie prime per estrarre energia e materie prime, allora aumentare la spesa energetica costituisce un limite alla crescita e una barriera per il disaccoppiamento. Per poter affermare che il disaccoppiamento è possibile, è necessario dimostrare in che modo si possono gestire i crescenti costi marginali dell'estrazione di energia e di materie prime.

2. Effetti rimbalzo

Il miglioramento dell'efficienza delle risorse è probabilmente l'argomento più comune avanzato a difesa del disaccoppiamento. Tuttavia, ogni azione che conduce a risparmi di risorse è soggetta agli effetti rimbalzo, che è la differenza tra i risparmi ambientali previsti da un miglioramento dell'efficienza e quelli realizzati. Un fenomeno del genere fu già accennato nel 18° secolo da Stanley Jevons in The Coal Question (La questione del carbone) (1865, pp. 140-142): "È decisamente ingannevole ritenere che l'uso parsimonioso del carburante sia equivalente alla riduzione del suo consumo. […] Qualunque cosa, quindi, conduca ad aumentare l'efficienza del carbone e a diminuire il costo del suo utilizzo, tende direttamente ad aumentare il valore del motore a vapore, e ad ampliare il campo delle sue operazioni". Da qui l'effetto rimbalzo spesso qualificato come "Paradosso di Jevons" (Giampietro e Mayumi, 1998; Jevons, 1865).
L'idea che i cambiamenti di efficienza darebbero luogo ad un maggior consumo ha guadagnato terreno nel campo dell'economia energetica nel contesto delle crisi petrolifere degli anni '70, in particolare con il lavoro di Khazzoom (1980) e Brookes (1990) - in seguito denominato "Postulato di Khazzoom-Brookes" (Saunders, 1992). Dopo oltre 40 anni di ricerca, la letteratura si è ampliata fino a comprendere una varietà di cause ed effetti[28]. Per tenere conto del disaccoppiamento globale, il concetto che riteniamo più pertinente è "l'effetto rimbalzo ambientale" (originariamente utilizzato da Goedkoop et al., 1999, e poi da altri come Murray, 2013; Spielmann et al., 2008; e Takahashi et al., 2004), che va oltre le questioni energetiche per comprendere una più ampia gamma di questioni ambientali[29].

Vari tipi di effetto rimbalzo
Gli effetti rimbalzo hanno varie sfumature in relazione al fatto che l'efficienza conduca ad un aumento del consumo di alcuni prodotti o servizi (effetto rimbalzo diretto), che le risorse liberate siano allocate altrove (effetto rimbalzo indiretto) o che il consumo sia indotto da cambiamenti strutturali nell'economia generale (effetto rimbalzo strutturale). Questi effetti, da soli o congiuntamente, sono poi o parziali o totali in relazione alla grandezza del loro impatto sull'uso della risorsa.

Primo tipo: effetti rimbalzo diretti
Gli effetti diretti o del 1° tipo si riferiscono ai casi in cui il guadagno in efficienza viene reinvestito come consumo aggiuntivo dello stesso prodotto o servizio. Ciò è particolarmente vero per i beni di uso comune, per i quali una riduzione del costo d'uso percepito dagli utenti si traduce in un consumo più elevato. Ad esempio, guidare un'auto più efficiente in termini di consumo di carburante più spesso, più veloce o su lunghe distanze; la benzina che è stata risparmiata grazie all'efficienza dell'auto è rimbalzata in un maggiore utilizzo dell'auto. Gli effetti rimbalzo diretti possono anche verificarsi nella produzione, ad esempio quando l'acquisizione di una macchina più efficiente dal punto di vista energetico motiva la produzione aggiuntiva (effetto output).

Secondo tipo: effetti rimbalzo indiretti
Gli effetti rimbalzo indiretti o di secondo tipo si riferiscono ai casi in cui le risorse liberate da un miglioramento di efficienza o di sufficienza sono ri-assegnate ad un altro tipo di consumo (effetto ri-spesa). Ad esempio, guidare un veicolo più efficiente in termini di consumo di carburante (efficienza) o decidere di usarlo meno spesso (sobrietà) potrebbero portare ad

[28] Alcuni esempi che mostrano l'ampiezza del concetto: effetti rimbalzo del tempo (Jalas, 2002), effetti rimbalzo mentale o socio-psicologico (de Haan et al., 2006; Girod e de Haan, 2009; Santarius e Soland, 2018), effetti rimbalzo internazionali (Bergh, 2017).
[29] Per un inquadramento generale sullo studio del rimbalzo ambientale si veda Font Vivanco et al. (2016).

un risparmio di denaro (effetto reddito), che può quindi essere speso in prodotti o servizi impattanti (ad esempio una vacanza in aereo in mete lontane) o investito in prodotti finanziari problematici (ad esempio legati all'estrazione di combustibili fossili). Per i produttori, i profitti derivanti dagli incrementi di produttività possono essere reinvestiti nell'espansione della capacità produttiva (effetto reinvestimento).
Quello che Wallenborn (2018) chiama "effetto rimbalzo strutturale" è un buon esempio di questo rimbalzo indiretto[30]. È strutturale perché ha a che fare con strutture economiche come mercati, proprietà e denaro. In un'economia globalizzata, in cui il denaro può essere usato per comprare quasi tutto (si parla quindi di denaro per tutti gli usi), tutto il potere d'acquisto è un potenziale potere inquinante. Anche se gli euro vengono spesi per prodotti ecologici e anche se i venditori di questi prodotti spendono questi euro in modo sostenibile, a un certo punto della catena è probabile che questi euro siano spesi in modo inquinante. Anche gli euro non spesi causeranno consumo di risorse e inquinamento, quando saranno nuovamente prestati dalla banca per finanziare nuovi investimenti. L'unico modo per evitare questo effetto sarebbe quello di cambiare la struttura del sistema economico stesso (de-mercificazione, localizzazione, denaro per finalità particolari come le valute complementari, ecc.).

Terzo tipo: effetti rimbalzo su tutto il sistema economico
L'efficienza nell'uso delle risorse può anche rimbalzare a livello macro (effetto rimbalzo a livello di economia generale o macroeconomico). Ad esempio, i miglioramenti in termini di efficienza, nei motori a combustione interna, hanno contribuito a rendere il trasporto nelle auto private efficace e conveniente, e hanno portato a un'ampia diffusione di questa tecnologia. Questa generalizzazione del trasporto di auto private ha a sua volta influenzato la configurazione spaziale di città e territori, dando come risultato una diffusione spaziale ampia, che ora fa affidamento sulle auto private, e ne rende persino indispensabile l'uso . Questa modifica su larga scala del sistema dei bisogni ora porta a un consumo di energia estremamente più elevato nel settore dei trasporti. In altre parole, le auto che consumano poco rafforzano l'egemonia delle auto stesse, a spese di modalità di trasporto più sostenibili come treni e biciclette. L'efficienza delle risorse può anche portare a una ristrutturazione dell'economia attorno ad attività ad alta intensità di natura (effetto di composizione). Ad esempio, le attività di estrazione mineraria abbandonate possono essere riprese dopo che lo sviluppo di nuove tecniche efficienti le rendono di nuovo economicamente redditizie, come è attualmente il caso dell'estrazione dell'oro, in cui i minerali di grado inferiore (incluso lo strato superiore ai metalli da estrarre) vengono ora rielaborati.

Rimbalzo parziale e totale
A seconda della sua entità, un effetto rimbalzo può comportare una riduzione complessiva (rimbalzo parziale) o un aumento nell'uso delle risorse (rimbalzo totale, noto anche come overshoot (sfondamento) o back-fire (effetto boomerang). Nel primo caso, i risparmi sono maggiori del consumo extra rimbalzato (ad esempio un impianto di riscaldamento consuma il 50% in meno e rimbalza venendo usato 1,5 volte di più, il che significa che ci sono ancora risparmi netti del 25%). Nel caso del rimbalzo totale, tuttavia, il consumo rimbalzato è maggiore dei risparmi, e i risparmi sono totalmente compensati (ad es. se il denaro risparmiato, utilizzando un'auto che consuma il 30% in meno di energia per km, viene utilizzato per pagare un viaggio in aereo per il quale si consuma molta più energia

[30] Nelle parole dello stesso Jevons che scrive in The Coal Question (La questione del carbone) (1865): "[...] In effetti, non c'è quasi alcun uso di carburante in cui un po 'di cura, ingegnosità o dispendio di capitale non potrebbero consentire un notevole risparmio. Ma nessuno deve supporre che il carbone così risparmiato sia messo da parte - è solo risparmiato da un uso per essere impiegato in altri, e i profitti ottenuti portano presto a un'occupazione estesa in molte nuove forme. I vari settori industriali sono strettamente interdipendenti, e il progresso di ognuno porta al progresso di quasi tutti "(Jevons, 1865: 136 citato in Missemer, 2012, p. 99)

rispetto alla benzina, che a differenza del cherosene è pesantemente tassata)[31]. In relazione al disaccoppiamento, questo significa che un effetto rimbalzo può rallentare il tasso atteso di disaccoppiamento (rimbalzo parziale) o invertirlo del tutto (rimbalzo totale).

Evidenza empirica del rimbalzo

Considerando che il rimbalzo indiretto e quello strutturale sono altamente complessi, la maggior parte della ricerca empirica si concentra sugli effetti del rimbalzo diretto, che sono più facili da misurare. Nella loro rassegna dei rimbalzi sull'uso di energia, Ackerman e Stanton (2013, pagg. 120-121) concludono che le prove di un rimbalzo diretto totale sono rare: "le stime dal 10 al 30% sembrano comuni [...] prove effettive degli effetti rimbalzo del 100% e oltre sembrano insistenti." Stesse conclusioni per i sondaggi condotti da Greening et al. (2000) e Sorrell (2007), che trovano una vasta gamma di rimbalzi, a volte bassi, come nel caso dell'illuminazione (fino al 15%), moderati, come nel caso del trasporto aereo (19%), o molto alti, come nel caso del trasporto motorizzato (fino al 96%) [32]. Galvin (2014) riporta un rimbalzo per il risparmio energetico delle famiglie nel range di 0-50% per i vecchi stati membri dell'UE tra il 2000 e il 2011 - alcuni paesi, in particolare i paesi dell'Europa dell'Est, come pure Finlandia e Danimarca, mostrano situazioni di rimbalzo totale. Grafton et al. (2018) dimostrano che un maggiore utilizzo di tecnologie efficienti raramente riduce il consumo di acqua. Kyba et al. (2017) riportano una situazione di contraccolpo nel caso della tecnologia LED per l'illuminazione esterna. Antal e Van den Bergh (2014) stimano che il rimbalzo di ri-spesa relativo al risparmio di energia dalla benzina sia compreso tra il 45 e il 60% per le grandi economie come la Russia, la Cina e l'India.

Magee e Devezas (2017) esaminano numerose fonti statistiche per stimare l'uso di 69 materiali diversi dal 1960 al 2010, sostenendo che il paradosso di Jevons si applica a quasi tutte le sostanze. Nel loro campione, trovano solo 6 casi di declino assoluto. Quattro di questi materiali - amianto, berillio, mercurio e tallio - sono stati eliminati deliberatamente dalle restrizioni legali, a causa di problemi di tossicità. Gli altri due sono la lana, che è diminuita senza diminuire le popolazioni globali di ovini domestici o altri animali da produzione, e il tellurio, un sottoprodotto della raffinazione del rame, il cui uso nella produzione di pannelli solari significa che il suo consumo complessivo probabilmente aumenterà di nuovo.

Gli studi empirici sugli effetti rimbalzo macroeconomico sono più scarsi rispetto alle loro controparti micro. Nella sua rassegna della letteratura, Van den Bergh (2017, p. 4) conclude che "la maggior parte degli studi economici suggerisce che il rimbalzo complessivo è superiore al 50% e forse molto più alto." In un sondaggio di studi calcolabili sull'equilibrio generale, Dimitropolous (2007) rileva tre casi di rimbalzo totale, altri tre superiori al 50%, uno nell'intervallo del 30-50% e uno di circa il 15%. Sebbene gli effetti di rimbalzo del 2° o 3° tipo siano i più determinanti , questi rimangono i più difficili da studiare empiricamente.

L'argomento dell'effetto rimbalzo minimizza la plausibilità dell'ipotesi di disaccoppiamento. Pertanto, è necessario tenere conto degli effetti rimbalzo mentre si considerano gli scenari di disaccoppiamento, in quanto potrebbero rendere i tassi di utilizzo delle risorse più o meno

[31] In letteratura, e secondo Ehrhardt-Martinez e Laitner (2010), ciò che chiamiamo rimbalzo parziale e totale viene spesso definito "tipico rimbalzo" e "contraccolpo". Gli autori (ibid. 7-77) aggiungono anche una terza categoria: un "rimbalzo negativo", per le situazioni in cui i risparmi energetici effettivi sono più elevati del previsto (ad es. "una famiglia che installa un nuovo scaldabagno, ad alta efficienza energetica, può essere motivata a trovare altri modi per risparmiare energia, facendo docce più brevi, lavando vestiti in acqua fredda, o limitando l'uso della lavastoviglie solo a quando è a pieno carico"; rimbalzo negativo, esempio migliore, causalità diretta: isolare le pareti riduce la domanda di riscaldamento, rendendo gli impianti di riscaldamento esistenti sovradimensionati . Ciò a sua volta richiede l'installazione di nuove e più piccole caldaie, che sono più efficienti , quindi la domanda di energia cala di nuovo (o dal lato del produttore se il prezzo di una nuova macchina è superiore al risparmio nei costi operativi che consente). Per evitare confusione, altri preferiscono parlare di effetti di "super-conservazione" (Saunders, 2005) o di "amplificazione" e di "leva" (Spielmann et al., 2008).

[32] Per tutte le cifre fornite, i lettori devono essere consapevoli che la metodologia utilizzata influenza i risultati. Ad esempio, gli studi che utilizzano l'analisi del ciclo di vita insieme al concetto di effetto rimbalzo ambientale trovano una maggiore probabilità di contraccolpo. Questo è il caso di Font Vivanco et al. (2016) sulle auto elettriche.

sensibili all'introduzione delle tecnologie per il risparmio di risorse e cambiamenti comportamentali guidati dalla sufficienza. Il punto non è negare la loro rilevanza, potendo essi comunque avere degli impatti globali positivi, finché gli effetti di rimbalzo rimangono limitati, soprattutto se anticipati dai politici e controbilanciati con politiche proattive. Rimane tuttavia molto rischioso affidarsi esclusivamente a miglioramenti settoriali e tecnici. Piuttosto, è necessaria una profonda e sistematica considerazione e previsione dei potenziali effetti rimbalzo nella progettazione delle politiche di sostenibilità.

3. Spostamento dei problemi

Un ulteriore argomento da considerare insieme agli effetti rimbalzo è che gli sforzi per risolvere un problema ambientale possono crearne di nuovi e/o esacerbarne altri. In altre parole, il disaccoppiamento di un fattore ambientale può avvenire a spese del (ri)accoppiamento di un altro. Come Ward (2017) sottolinea per illustrare questo argomento, il mondo ha disaccoppiato la crescita del PIL dall'accumulo di letame di cavallo nelle strade della città e dall'olio di balena, ma solo sostituendolo con usi alternativi della natura. Nel seguito, consideriamo l'esempio della mitigazione dei cambiamenti climatici e mostriamo come quattro diverse fonti di energia spesso considerate come soluzioni per la crescita verde, cambino semplicemente la forma che assume l'onere ambientale, spesso con effetti di ricaduta involontaria.

Esempio 1: energia rinnovabile

L'energia rinnovabile è spesso descritta come pulita e illimitata, ma è ben lungi dall'essere priva di pressioni sull'ambiente. Le energie rinnovabili e le tecnologie ICT che migliorano l'efficienza riducono le emissioni di carbonio ma aggravano l'uso del suolo (ad esempio fattorie solari e biomassa / biocarburanti) e i conflitti idrici nel caso dell'energia idroelettrica (Capellán-Pérez et al., 2017; Havlík et al., 2011; Scheidel e Sorman, 2012; Yang et al., 2012). Aumentano la domanda di metallo e i conflitti locali associati alla sua estrazione (Ali, 2014; Chancerel et al., 2015; Kleijn et al., 2011; Vidal et al., 2013) e, nel caso delle infrastrutture fotovoltaiche, generano inquinamento ambientale ed emissioni di gas serra (Andersen, 2013; Hernandez et al., 2014; Zehner, 2012). L'estrazione di minerali delle terre rare, che sono essenziali per molte tecnologie ecologiche inclusi i mulini a vento, causa enormi danni ambientali, ad esempio in Cina (Pitron e Védrine, 2018).
Facciamo tre altri esempi tra i tanti. La produzione di batterie per auto elettriche mette sotto pressione l'estrazione di litio, cobalto, nichel e manganese (Bednik, 2016, p. 101; Valero et al., 2018). L'espansione della biomassa per i biocarburanti può invadere le aree protette e portare ad un aumento delle monocolture, con un impatto negativo sulla biodiversità e sulla sua conservazione (IPBES, 2019), un buon esempio ne è la deforestazione nella foresta pluviale indonesiana per le piantagioni di olio di palma (Koh e Wilcove, 2008; Margono et al., 2012). E l'energia idroelettrica produce emissioni di metano quando la crescita delle alghe è catalizzata dal limo intrappolato dalla diga, che a volte genera più emissioni di gas serra di una centrale a combustibile fossile (Deemer et al., 2016).

Esempio 2: energia nucleare

L'energia nucleare è un buon esempio da studiare. Essendo relativamente neutrale rispetto alle emissioni di carbonio[33], è considerato il principale elemento che ha permesso a paesi come Francia, Svezia, Regno Unito e Germania di ridurre le proprie emissioni di carbonio

[33] Ciò rimane controverso, in quanto è difficile calcolare l'impronta di carbonio dell'intero ciclo di vita di una centrale nucleare, compreso lo stoccaggio delle scorie per un tempo indefinito e le potenziali operazioni di bonifica in seguito a incidenti

legate all'energia. L'energia nucleare, tuttavia, richiede l'estrazione di uranio come combustibile, nonché di titanio, cobalto, tantalio, zirconio, afnio, indio, argento, selenio e litio per i materiali da costruzione (Sersiron, 2018, p. 165). Un passaggio all'energia nucleare significa intensificare l'accoppiamento dell'attività economica con vari materiali, a partire dall'uranio[34]. L'estrazione e il trasporto di questi materiali sono essi stessi una fonte di pressioni ambientali, ad esempio in termini di inquinamento dell'acqua o di perdita di biodiversità attraverso il cambiamento del territorio (Conde e Kallis, 2012). Inoltre, l'energia nucleare comporta una serie di rischi socio-ecologici legati allo stoccaggio di rifiuti tossici, nonché ai rischi di incidenti nucleari, e alla proliferazione delle armi nucleari. Riassumendo: l'elettrificazione nucleare sposta l'accoppiamento da un impatto (emissioni di CO_2 da combustibili fossili) ad altri impatti (ad es. perdita di biodiversità, inquinamento dell'acqua e altri impatti legati all'estrazione e al trasporto, rifiuti tossici) e uso delle risorse (ad es. scarsità di uranio).

Esempio 3: gas naturale

Il passaggio dal carbone al gas naturale è un buon esempio di spostamento dei problemi da un gas serra all'altro. Il World Resource Institute (2016) segnala un calo del 6% delle emissioni di gas serra misurate negli Stati Uniti tra il 2000 e il 2014, che a fianco di un aumento del 28% del PIL sembra essere un disaccoppiamento temporaneo assoluto. Ciò corrisponde a un grande spostamento dal carbone al gas naturale (Feng et al., 2015), che è stato elogiato dalle pubbliche autorità per i suoi benefici ecologici[35]. Il problema è che l'estrazione di gas naturale emette metano, un gas circa 28 volte più potente della CO_2 nell'intrappolare il calore nell'arco di un secolo (IPCC, 2013), che fuoriesce facilmente nell'aria prima di poter essere catturato in una conduttura. Turner et al. (2016) rileva che le emissioni di metano negli Stati Uniti sono aumentate di oltre il 30% nel periodo 2002-2014, il che annulla il calo di CO_2. Stessi risultati per Howarth et al. (2011) che mostrano che se oltre il 3% del metano proveniente dalle operazioni di perforazione di scisto penetrasse nell'atmosfera, ciò renderebbe il gas di scisto più perturbatore del clima rispetto al carbone (le perdite che segnalano sono comprese tra il 3,6 e il 7,9 per cento)[36] . Il problema delle perdite di metano va oltre il fenomeno relativamente nuovo dell'estrazione di gas di scisto e riguarda anche le operazioni del gas convenzionale, in particolare quelle con infrastrutture difettose.

Quello che è stato dimostrato sopra per le emissioni di gas serra si può ripetere per varie altre questioni ambientali. Il punto è che soluzioni frammentarie rischiano di non essere all'altezza nella gestione di una crisi ambientale complessa e sistematica, con molti fattori interdipendenti in gioco. Sostituire un problema come quello del cambiamento climatico con un altro come la perdita di biodiversità non si può considerare la soluzione dei problemi. Per poter affermare che il disaccoppiamento è possibile, si deve dimostrare che il disaccoppiamento di un tipo di impatto ambientale non si traduce nell'aumento significativo di un altro tipo di impatto.

[34] Considerando solo l'uranio, le riserve attualmente identificate - 7,6 milioni di tonnellate recuperabili commercialmente a meno di 260 US $ / kgU nel 2015 (OECD, 2016) - consentirebbero solo 13 anni di produzione di elettricità alla domanda attuale (Brown et al., 2018, p. 840).

[35] Discorso di chiusura del Presidente Trump per giustificare il ritiro dall'accordo di Parigi il 1° giugno 2017, Scott Pruitt, allora amministratore della Environmental Protection Agency (Agenzia per la protezione dell'ambiente), ha annunciato: "prima della firma dell'Accordo di Parigi, l'America aveva ridotto la sua impronta di CO_2 ai livelli dei primi anni '90. In effetti, tra il 2000 e il 2014, gli Stati Uniti hanno ridotto le emissioni di carbonio del 18% in più".

[36] Il problema delle perdite non riguarda solo il fracking, ma avviene anche a causa di infrastrutture vetuste o nel caso di miniere aperte, in cui il metano non viene attivamente catturato.

4. L'impatto sottovalutato dei servizi

Un'altra speranza per il disaccoppiamento della crescita dalle pressioni ambientali risiede nella terziarizzazione dell'economia, ovvero il passaggio dalle industrie estrattive (agricoltura e miniere) e dalla produzione ai servizi. Questa era già una delle spiegazioni proposte dagli studiosi che per primi hanno descritto la curva ambientale di Kuznets: "la crescita economica porta cambiamenti strutturali, che spostano il centro di gravità dell'economia dall'agricoltura a basso inquinamento all'industria ad alto inquinamento, e infine di nuovo ai servizi a basso inquinamento" (Panayotou et al., 2000). In effetti, il settore dei servizi in quanto tale (considerando solo il consumo diretto) è molto meno intenso di natura rispetto a quello primario e secondario, e quindi se la crescita economica è guidata principalmente dall'espansione delle attività economiche in cui il prodotto sono principalmente le informazioni (ad esempio, finanza, assicurazioni , istruzione), ci si può aspettare che l'uso di materie prime e il consumo di energia, nonché i danni ambientali, diminuiscano. Vogliamo mettere in discussione la possibilità di tale dematerializzazione attraverso i servizi su vari piani.

Terziarizzazione relativa e assoluta

Perché la terziarizzazione contribuisca al disaccoppiamento, deve tradursi in una diminuzione assoluta, e non solo relativa, del volume delle attività industriali. Una situazione in cui il volume dei servizi cresce senza un corrispondente e simultaneo restringimento di altri settori può in effetti essere definita una terziarizzazione "relativa" dell'economia (la percentuale di attività industriali nell'intera economia diminuisce, mentre il suo volume aumenta ancora), ma si traduce in concreto in una maggiore pressione ambientale.
A parità di impatto dei settori primario e secondario, un settore terziario in crescita aumenta la pressione anche se riduce l'intensità energetica media per euro. In realtà, questa situazione sembra essere la regola piuttosto che l'eccezione.[37] Lo sviluppo di nuovi tipi di servizi si aggiunge ad altre attività inquinanti invece di sostituirle: i consumatori acquistano un account Netflix con e non invece di un computer e i lavoratori possono fornire servizi se sono nutriti, trasportati e ospitati, non al posto di cibo, veicoli e case. I prodotti immateriali richiedono un'infrastruttura materiale. Il software richiede l'hardware, una sala massaggi richiede una stanza riscaldata e la piattaforma su cui stiamo scrivendo queste stesse parole richiede un computer con tutte le attrezzature materiali e l'energia necessaria per far funzionare Internet. I servizi non possono essere generati senza l'estrazione di materie prime, la fornitura di energia e la costruzione di infrastrutture, tutte strettamente legate alle pressioni ambientali. L'espansione del settore dei servizi difficilmente può essere disaccoppiata, perché fa parte di un'economia che cresce come un tutto integrato.
Alla domanda "le società con un settore dei servizi più ampio si dematerializzano effettivamente?" Fix (2019) risponde a un inequivocabile "no". Osservando 217 paesi nel periodo 1991-2017, conclude che "l'evidenza indica che una transizione verso i servizi non porta alla assoluta dematerializzazione del carbonio "(ibid. 4). Allo stesso modo, Suh (2006) calcola che nel 2004 negli Stati Uniti, 1 dollaro speso per servizi apparentemente privi di materiali richiede 25 centesimi di produzione dai settori manifatturiero, dei trasporti e dei servizi pubblici. In Danimarca, Jespersen (1999) scopre che, se uno include tutti gli usi indiretti dell'energia, il settore dei servizi è in realtà tanto intenso quanto quello manifatturiero. In Spagna, Alcántara e Padilla (2009) considerando il volume, i ritorni, i componenti interni e di ricaduta, trovano il settore dei servizi responsabile della maggior parte degli aumenti

[37] Dobbiamo anche dire che situazioni in cui la terziarizzazione in un paese si verifica a spese di una reindustrializzazione in un altro, è altrettanto problematica, perché semplicemente sposta il carico ambientale altrove (affronteremo questo punto approfonditamente al motivo 7: delocalizzazione dei costi).

delle emissioni, e questo a causa della sua dipendenza da altre attività economiche inquinanti.
Inoltre, i lavoratori nel settore dei servizi ricevono salari, che vengono utilizzati per l'acquisto di articoli materiali prodotti nei settori manifatturieri. Se il valore di un bene dematerializzato aumenta, significa che il potere d'acquisto di quelli che vendono quel bene aumenta (potenziale rimbalzo di ri-spesa) e che i clienti potrebbero lavorare più a lungo per permetterselo (potenziale rimbalzo di reinvestimento), entrambi con implicazioni in termini di risorse. Quindi l'intensità ecologica diretta di un'azienda specializzata nella pubblicità su Internet può essere relativamente bassa, ma poiché fornisce ai suoi dipendenti un salario elevato, e poiché la pubblicità promuove il consumo di prodotti e servizi ad alta intensità di materia o di energia, come automobili, vestiti, gadget tecnologici e viaggi in località esotiche, la sua intensità ecologica indiretta è più elevata di quanto sembri.
Dal punto di vista ambientale, non tutti i servizi sono ugualmente desiderabili e quindi alcune forme di terziarizzazione sono più desiderabili di altre. I servizi in un settore spesso si riversano in maggiori consumi o produzione in un altro. Si pensi alle attività finanziarie e di marketing il cui scopo è incrementare le vendite di manufatti e gli investimenti nelle industrie estrattive. Ma anche servizi IT e sviluppo software, che consente alle aziende con scopo di lucro di impegnarsi nell'obsolescenza programmata, o più in generale di modifiche più rapide dell'hardware. O anche di quei servizi che si basano su strumenti materiali e di grande impatto, ad esempio la seggiovia su una pista da sci o lo sky diving da un aereo. Al contrario, l'espansione di club di yoga, terapisti di coppia e centri di arrampicata potrebbero essere meno impattanti sulla natura, anche se non necessariamente (vedi Anche i servizi hanno un'impronta poco sotto).

Non è rimasta molta terziarizzazione da fare

La terziarizzazione fornisce solo un parziale disaccoppiamento e, cosa più importante, che si è già verificato nella maggior parte dei paesi dell'OCSE. In queste economie, la quota di servizi nel PIL è spesso già elevata, il che è problematico perché sono proprio quei paesi che hanno la più alta impronta ecologica pro capite e quindi dovrebbero ridurre maggiormente il loro impatto. I paesi che hanno già raggiunto un alto grado di terziarizzazione (oltre il 70% del valore aggiunto è generato nel settore dei servizi) mantengono una piccola parte industriale che è sempre più difficile da comprimere.
Questo perché alcuni settori semplicemente non possono essere smaterializzati. È il caso dell'agricoltura, dei trasporti e dell'edilizia abitativa, che spesso rientrano nei settori di punta in termini di emissioni e materiali usati. Il cemento è un buon esempio. Rappresentando il 5% delle emissioni globali di gas a effetto serra, la sua produzione implica sia livelli elevati di emissioni di processo e consumo di energia, sia un'importante quantità di sabbia marina sempre più scarsa (Rubenstein, 2012; The Pembina Institute, 2014). Sebbene le costruzioni possano sostituire il cemento con altri materiali, è difficile immaginare come i servizi possano eventualmente offrire sostituti adeguati alla maggior parte della produzione industriale per quanto riguarda le esigenze elementari come cibo, alloggio o mobilità (il servizio di consegna a domicilio di una pizzeria richiede strade, un veicolo e, non ultimo, una pizza a base di ingredienti materiali). Pertanto, la dematerializzazione riguarda solo una frazione limitata dell'economia globale, e lascia quindi la maggior parte delle pressioni ambientali irrisolte.

Anche i servizi hanno un'impronta ecologica

Anche se i servizi hanno un'intensità di natura inferiore rispetto ai beni industriali, richiedono comunque materiali e hanno ripercussioni ambientali, quindi non ci si può aspettare che alimentino un processo illimitato di creazione di valore in termini biofisici. In uno dei suoi

rapporti sul disaccoppiamento, l'UNEP (2014a, p. 70) trova una relazione lineare tra spesa in servizi ed emissioni di CO_2 nella direzione di più servizi, più emissioni.
Gadrey (2008) indica tre fattori che spiegano tale correlazione. I servizi richiedono che le persone viaggino, dal fornitore al cliente (ad es. consegna della posta) o viceversa (ad es. pendolarismo a scuola), e ciò è reso possibile dalle infrastrutture materiali, dai veicoli e dall'uso di energia. Inoltre, sono spesso ospitati in spazi materiali specifici (edificio universitario, stazione ferroviaria, aeroporto, ospedale, uffici), la cui costruzione, operatività e manutenzione richiedono materiali ed energia. Si basano anche su strumenti materiali, la cui produzione e uso sono tutt'altro che neutrali dal punto di vista ambientale (ICT, computer, lettori di carte di credito, schermi e display, infrastrutture di raffreddamento nei centri elaborazione dati).

In termini di materiali, la realizzazione di prodotti per la tecnologia dell'informazione e della comunicazione come computer, telefoni cellulari, schermi a LED, batterie e celle solari richiedono metalli scarsi come gallio, indio, cobalto, platino, oltre a minerali rari. Un'espansione di servizi significa più transazioni che utilizzano più dispositivi, i quali a loro volta richiedono più minerali la cui estrazione comporta impatti ambientali. Non solo questi materiali implicano un impatto ambientale significativo (derivante dalla loro attività estrattiva), ma la loro disponibilità e riciclabilità limitate (cfr. motivo 5) pongono inoltre limiti assoluti alla crescita dei servizi basati sui materiali. E anche se è comune osservare un calo della quantità di prodotti materiali necessari per fabbricare apparecchiature, questi guadagni di efficienza sono stati frenati dalla crescita del volume di equipaggiamento e intensità d'uso (cfr. motivo 2), spesso legati alla riduzione della durata della vita a causa dell'obsolescenza programmata (cfr. motivo 5).

I servizi richiedono energia, non solo per costruire l'infrastruttura materiale su cui fanno affidamento, ma anche semplicemente per funzionare. Non solo per le apparecchiature degli utenti finali (laptop, smartphone, router) ma anche per l'infrastruttura, come i centri elaborazione dati e le reti di accesso (il cablaggio e le antenne che trasportano dati). Malmodin et al. (2010) calcolano che ii sistemi ICT hanno utilizzato il 3,9% dell'elettricità globale nel 2007, pari all'1,3% delle emissioni globali di gas serra. I numeri sono simili in altri studi; ad esempio, il settore dell'informazione e delle tecnologie ha prodotto il 2% delle emissioni globali di CO_2 nel 2007 (830 MtCO2e), metà delle quali dovute a computer e dispositivi e il l'altra metà da centri elaborazione dati e telecomunicazioni (The Climate Group, 2008). A partire da Malmodin et al. (2010) 3,9% dell'elettricità globale utilizzata dall' ICT. Van Heddeghem et al. (2014) c'è anche una crescente attenzione al consumo di elettricità associato alle apparecchiature ICT. In questa ricerca valutiamo come il consumo di elettricità ICT nella fase di utilizzo si è evoluto dal 2007 a 2012, basato su tre principali categorie ICT: reti di comunicazione, personal computer, e centri elaborazione dati. Forniamo una descrizione dettagliata di come calcoliamo l'utilizzo di elettricità e l'evoluzione in queste tre categorie. Le nostre stime mostrano la crescita annuale di tutte e tre le singole categorie di ICT (10%, 5% e 4%, rispettivamente) e rilevano che vi è stato un aumento del 4,6% fino al 2012. Per quanto riguarda le previsioni fino al 2030, Andrae ed Edler (2015) stimano che l'ICT potrebbe consumare fino al 51% dell'elettricità globale, contribuendo fino al 23% delle emissioni globali di gas serra.

Di per sé, Internet rappresenta tra l'1,5 e il 2% del consumo energetico mondiale (CEET, 2013). Considerando solo il lato degli utenti, i 100 siti web francesi più visitati richiedono 8,3 GWh o l'equivalente del consumo di energia di 3.077 famiglie (WEA, 2014). Il consumo di energia derivante dal Bitcoin emette 69 $mtCO_2$ annuali e, se utilizzato più ampiamente, potrebbe da solo produrre emissioni sufficienti a spingere il riscaldamento sopra i 2° C in meno di tre decenni (Mora et al., 2018). Carr (2006) stima che il consumo di energia di un

avatar di Second Life sia di circa 1.752 kWh all'anno, che lui confronta con una media mondiale per gli umani di 2.436 kWh. Guardando al costo ecologico della musica negli Stati Uniti, Devine e Brennan (2019) scoprono che, anche se la musica è diventata quasi completamente digitale, è, in termini di gas serra, più inquinante di quanto non sia mai stata: da 140 milioni di kg nel 1977 a 157 nel 2000 e tra 200 e 350 nel 2016.
A causa della prevalenza di fonti fossili nell'attuale mix energetico dei paesi che ospitano centri elaborazione dati, l'ICT comporta un forte contributo in termini di emissioni. Il rapporto di Greenpeace How Clean is Your Cloud? (Quanto pulito è il tuo cloud?) (2012) rileva che, ad esempio, il 39,4% dell'elettricità utilizzato dai server di Facebook è generato da centrali a carbone, mentre per Apple è del 49,7%. Questo consumo di energia si aggiunge a un livello già elevato della domanda di energia, aggravando l'impatto ambientale del settore energetico. E forse sì, questo impatto sul clima scomparirebbe se tutti i servizi funzionassero con energia rinnovabile, ma supponendo che ciò sia possibile (cfr. motivo 1), genererebbe comunque una serie di problemi ambientali (cfr. motivo 3).

La cosiddetta "Economia dei servizi" porta un carico biofisico più pesante di quanto si possa immaginare. Nei paesi con i più urgenti imperativi di mitigazione il settore dei servizi è già stato sviluppato al massimo, senza il beneficio di diminuire la pressione ambientale in termini assoluti. I servizi hanno un impatto che, anche se è inferiore a quello della manifattura, è spesso solamente aggiunto alla pressione del resto, senza che operino alcuna sostituzione. Questo perché l'economia dei servizi può esistere solo al di sopra dell'economia materiale, non al suo posto. Inoltre, i servizi come la pubblicità o i prodotti finanziari in alcuni casi rafforzano una produzione più inquinante, la quale dà luogo ad un aumento della pressione complessiva. Di nuovo, non stiamo contrastando i servizi , al contrario è cruciale sostituire i lavori ad intenso uso di risorse con settori ad intenso uso di lavoro. Piuttosto, il punto che sosteniamo è che ridurre i prodotti dei settori problematici sarebbe più efficiente che sviluppare attività attorno ad essi, auspicando che la sostituzione avvenga in qualche modo.

5. Il limitato potenziale del riciclaggio

Il riciclaggio è una strategia comunemente sostenuta per il disaccoppiamento, spesso associata all'idea di un'economia circolare. L'idea è che il disaccoppiamento delle risorse potrebbe essere possibile se tutti i materiali necessari per la produzione di nuovi prodotti fossero estratti dai vecchi prodotti che sono stati gettati via, e non dalla natura. Il tradizionale processo lineare di produzione verrebbe quindi trasformato in un'economia a "circuito chiuso" (Stahel e Reday-Mulvey, 1981), "a rifiuti zero" (Palmer, 2005), "dalla culla alla culla" (McDonough and Braungart, 2010). Naturalmente, chiudere il circuito tra i rifiuti e l'estrazione attraverso il riciclaggio è un obiettivo ragionevole e, in teoria, si vorrebbe che ogni economia fosse il più circolare possibile. Quello che stiamo per argomentare è che ci sono limiti a questa circolarità e che questi limiti sono rapidamente raggiunti in un'economia in rapida crescita.

Anche il riciclaggio necessita di nuovi materiali ed energia

Le macchine a moto perpetuo non esistono nella realtà. Anche se ci si possono aspettare significativi guadagni da un miglior riciclaggio, il processo di riciclaggio stesso richiede energia e, il più delle volte, nuovi materiali, che a un certo punto dovrebbero essere anch'essi riciclati, richiedendo l'uso di nuovo materiale aggiuntivo, e questo all'infinito (Georgescu-Roegen, ad esempio 1971, p. 132, parlava di un "regresso infinito"). Ciò significa che a causa delle leggi inevitabili della natura (qui la legge sull'entropia), i tassi di riciclaggio tecnicamente fattibili sono sempre inferiori a quelli teoricamente possibili. Inoltre, i tassi

economicamente giustificabili sono spesso significativamente inferiori a quanto tecnicamente possibile, per il fatto che il costo marginale tende ad aumentare quanto più un processo si avvicina al suo massimo teorico (cfr. Motivo 1).
Poiché i materiali si degradano inevitabilmente nel tempo (seconda legge dell'entropia), possono essere riciclati negli stessi prodotti solo per un numero limitato di volte, prima di essere utilizzati per produrre altri prodotti con requisiti di qualità inferiore. Detto in altro modo, prima o poi, qualsiasi riciclaggio è necessariamente un ciclo discendente. Ad esempio, le bottiglie di plastica possono essere riciclate in fibra di plastica per l'abbigliamento, ma non di nuovo in bottiglie di plastica, e possono infine finire nelle pareti di protezione dal rumore lungo le autostrade. Le fibre di cellulosa di carta possono sopportare solo da 3 a 6 cicli, per i quali devono essere mescolate con nuove fibre e fino a quando diventano troppo fragili per essere utilizzate per la carta, prima di essere utilizzate per il cartone e successivamente come isolamento dell'alloggiamento e infine come biocarburante. Proprio come per l'energia, questo logoramento dei materiali pone limiti assoluti su quanto circolare possa essere un'economia.

Giampietro (2019) propone un altro modo di pensare alla circolarità. In un certo senso, la natura già ricicla tutti i materiali gratuitamente, anche se troppo lentamente per l'attuale velocità di estrazione. Sostenere che materiali ed energia siano riciclati all'interno dell'economia, e non al di fuori di essa, comporterà un prezzo da pagare per l'energia. Come sempre, la produzione richiede lavoro, strumenti ed energia, solo che questa volta ciò che viene prodotto sono i servizi di riciclaggio. Detto in altro modo, è un uso di energia primaria e materiale per riciclare i rifiuti, ovvero energia e materiale secondari. In un mondo in cui l'economia è relativamente piccola rispetto al suo ambiente, e dove la i flussi di energia primaria e materiali sono maggiori dei flussi secondari, un'economia può davvero essere circolare. Tuttavia, quando la scala del secondo corrisponde a quella del primo, la circolarità è compromessa. Come dice l'autore: "ciò che conta davvero in relazione al potenziale di riciclaggio è la dimensione dei flussi di input richiesti e i flussi di rifiuti generati dall'economia (tecnosfera) rispetto alle dimensioni delle fonti primarie e dei depositi primari resi disponibili dai processi ecologici (biosfera)" (ibid. 149). Se crescita economica significa aumento delle dimensioni dell'economia rispetto al suo ambiente, allora significa che le economie in crescita prima o poi raggiungeranno i limiti della circolarità.

Le percentuali di riciclaggio sono lontane dal 100%

Naturalmente, si può sostenere che questo argomento dell'entropia è irrilevante per una situazione in cui le percentuali di riciclaggio sono basse, e che quindi sarà sufficiente semplicemente aumentare tali percentuali per adeguarsi al ritmo di aumento dell'uso delle risorse, al fine di raggiungere il disaccoppiamento assoluto. Ma ecco una considerazione pratica: quanto è probabile che le percentuali di riciclaggio aumentino così tanto?
Supponiamo innanzitutto che il riciclaggio non richieda energia supplementare, e che tutti i materiali possano essere riciclati perfettamente. Nel 2005 sono stati elaborati 62 Gt(Giga tonnellate)/anno di materiale, generando 41 Gt di output (19 Gt di biomassa per mangimi, alimenti e foraggi, 12 Gt di combustibili fossili , 4,5 Gt di minerali estratti) (UNEP, 2011). Allo stesso tempo, solo 4 Gt di materiale sono stati riciclati. Ciò non sorprende per il fatto che alcuni materiali attualmente utilizzati non possono essere riciclati. Ad esempio, i combustibili fossili e la biomassa bruciati per ottenere energia[38]. Un quinto delle risorse totali utilizzate in tutto il mondo sono combustibili fossili e quasi la metà sono vettori energetici. Il 98% dei combustibili fossili che vengono bruciati come fonte di energia insieme alla biomassa consumata per mangimi, alimenti e foraggi non può essere riutilizzato o riciclato.

[38] Questo è anche il caso degli usi dispersivi, che allontanano i materiali dai circuiti di riciclaggio (es. metalli scarsi usati nei pigmenti per gli inchiostri e i colori per dipingere, o additivi nel vetro e nella plastica).

Naturalmente, passare a una fornitura di energia rinnovabile al 100% risolverebbe questo problema (anche se forse a costo di crearne altri, cfr. Motivo 2), ma siamo ancora lontani da questa situazione.
Un altro problema è che molti prodotti moderni sono troppo complessi per essere riciclati. La miniaturizzazione può far risparmiare materiale ma rende più difficile il recupero dei materiali e, quando ciò è tecnicamente fattibile (cosa che non sempre accade), è più costoso e quindi meno interessante dal punto di vista economico. Reuter et al. (2018) studiano la riciclabilità di uno degli smartphone più modulari (Fairphone 2) e scoprono che il miglior scenario di riciclaggio possibile recupererebbe solo il 30% circa dei materiali. Più problematicamente, questo vale anche per la tecnologia per raccogliere e immagazzinare energia rinnovabile. L'UNEP (2011) ha stimato che meno dell'1% dei metalli speciali viene riciclato.
Un terzo punto è che i miglioramenti nel riciclaggio sono spesso più che annullati dagli aumenti dei tassi di sostituzione (a volte alimentati dall'obsolescenza programmata). In effetti, se i tassi di riciclaggio aumentano a un ritmo più lento rispetto alla riduzione della vita media dei prodotti (ovvero il tasso di sostituzione dei prodotti), l'utilizzo delle risorse è destinato ad aumentare. Se la capacità di riciclare è più lenta della volontà di produrre, dovranno essere utilizzate risorse vergini.

Non ci sono abbastanza rifiuti da riciclare

Quest'ultimo argomento è una questione di aritmetica di base. Per ora, supponiamo ancora che i tassi di riciclaggio aumentino in modo significativamente più rapido rispetto alle loro tendenze attuali (pur attenuando l'assunto che il riciclaggio in sé richiede energia e nuovi materiali). Tuttavia, anche questo di per sé non sarebbe una garanzia per mantenere il rendimento della crescita dell'economia, poiché in un'economia con un uso crescente delle risorse, la quantità di materiale usato che può essere riciclato sarà sempre inferiore a quella necessaria per la crescita. Finché l'economia continua ad espandersi, saranno necessari più materiali di quelli disponibili da periodi di tempo precedenti e quindi i materiali disponibili per il riciclaggio all'interno di questa economia non saranno sufficienti. Sarebbe come un serpente che cerca di ottenere una pelle più grande dagli scarti della sua pelle precedente, più piccola.

Come dimostrato da Grosse (2010), in un'economia in cui il consumo di materiale aumenta, il riciclaggio può solo ritardare l'esaurimento delle risorse. L'autore prende l'esempio dell'acciaio, il materiale più riciclato al mondo. Con un tasso di riciclaggio attuale del 62% e con un aumento annuo del consumo di 3,5%, il riciclaggio sta ritardando l'esaurimento di 12 anni. Se manteniamo costanti i tassi di consumo, anche aumentando i tassi di riciclaggio al 90% si aggiungerebbero solo altri 7 anni prima dell'esaurimento.
Arnsperger e Bourg (2017, p. 73) applicano il calcolo Grosse (2010) al rame. Presumono che il tempo di permanenza del rame nell'economia sia di 40 anni e che il 60% di esso possa essere riciclato con le tecnologie attuali. Dei 6 milioni di tonnellate di rame utilizzate nel 1975, ciò significa che entro il 2015 avrebbero potuto esserne recuperati 4 milioni. Tuttavia, il consumo di rame è cresciuto a 16 milioni negli ultimi quarant'anni e quindi, nonostante il riciclaggio, 12 milioni di tonnellate di rame vergine devono ancora essere estratte. In questo caso, anche ipotizzando un tasso di riciclaggio illusorio del 100%, l'estrazione sarebbe più che raddoppiata durante il periodo.

Ciò che aggrava la limitata disponibilità dei prodotti da riciclare è il fatto che una parte significativa di tutte le risorse utilizzate finisce nelle infrastrutture, spesso per un po' di tempo. De Decker (2018) propone un semplice calcolo approssimativo: nel 2005 il mondo ha utilizzato 62 Giga-tonnellate (Gt) di risorse naturali: 4 Gt per prodotti usa e getta, che durano

meno di un anno e 26 Gt in edifici, infrastrutture e beni di consumo, che durano più di un anno. Lo stesso anno, 9 Gt di risorse sono state smaltite nel processo di produzione. L'autore conclude che la quantità totale di materiali disponibili per il riciclaggio all'inizio di un secondo anno di produzione è di 13 Gt (4 Gt di prodotti usa e getta + 9 Gt di risorse in eccesso), di cui solo un terzo potrebbe essere effettivamente riciclato. È evidente che questo numero non è solo insufficiente a coprire ciò che sarebbe necessario per produrre le stesse cose dell'anno precedente (62 Gt), ma lo è ancora di più per un'economia in crescita.

Un'economia circolare a crescita infinita è impossibile da punto di vista aritmetico, ed è anche una contraddizione in termini. Il riciclaggio è esso stesso limitato nella sua capacità di fornire risorse per un'economia materiale in espansione. Alla fine, la nostra posizione non è mettere in discussione l'utilità o la rilevanza del riciclaggio, che potrebbe al contrario svolgere un ruolo cruciale in un'economia non in crescita, ma semplicemente indicare il fatto che le speranze di disaccoppiamento grazie al riciclaggio sono basate su informazioni errate o insufficienti. La realtà è che le percentuali di riciclaggio sono attualmente basse ed aumentano solo lentamente, che i processi di riciclaggio generalmente richiedono ancora una quantità significativa di energia e materie prime vergini, e che è matematicamente impossibile per il riciclaggio raggiungere tassi di sostituzione in un contesto di aumento dei consumi.

---

6. Insufficienti o inappropriati cambiamenti tecnologici

Il dibattito sulla probabilità di un futuro disaccoppiamento è, in sostanza, un dibattito sul potenziale dell'innovazione tecnologica. Il disaccoppiamento potrebbe non essersi ancora verificato e la crescita economica potrebbe sembrare biofisicamente limitata, sia a causa dell'aumento dei costi di estrazione (motivo 1), sia per uno slittamento per problemi imprevisti(motivo 3), sia per l'infrastruttura materiale (motivo 4) o per riciclaggio limitato (motivo 5), ma il discorso sulla crescita verde si sviluppa sul presupposto che le future innovazioni tecnologiche potranno superare tutto questo. A nostro avviso, questo ipotetico argomento ha diverse carenze legate allo scopo per il quale i cambiamenti tecnologici avvengono, alle conseguenze non volute e al ritmo con cui avvengono. In parole povere, il progresso tecnologico (1) non viene condotto verso quei fattori di produzione che contano davvero per la sostenibilità ecologica, e non porta al tipo di innovazioni che riducono le pressioni ambientali; (2) non è abbastanza dirompente, in quanto non riesce a sostituire altre tecnologie indesiderabili; e (3) non è di per sé abbastanza veloce da consentire un disaccoppiamento che sia assoluto, globale, permanente, ampio e abbastanza veloce. Fondamentalmente non si sta discutendo contro l'innovazione in sé. Il punto è che l'innovazione tecnologica è spesso ambivalente quando si tratta di affrontare le questioni ambientali e che il potenziale delle future innovazioni tecnologiche è molto probabilmente troppo limitato e comunque incerto. Affidarsi alla convinzione che l'innovazione tecnologica porterà tutte le soluzioni necessarie ai problemi ambientali appare come una scommessa estremamente rischiosa e irragionevole.

Non porta verso verso innovazioni rilevanti

L'innovazione non è di per sé una cosa positiva per la sostenibilità ecologica. Il tipo desiderabile di innovazione è l'ecoinnovazione, ovvero quella che si traduce in "una riduzione del rischio ambientale, dell'inquinamento e di altri impatti negativi dell'uso delle risorse rispetto alle alternative" (Kemp and Pearson, 2008, p.5). Ma questo è solo un tipo tra

i tanti. In generale, le imprese hanno un incentivo a innovare al fine di economizzare sui fattori di produzione più costosi, in modo da poter massimizzare i profitti. Poiché in genere la manodopera e il capitale sono relativamente più costosi delle risorse naturali, è probabile che maggiori progressi tecnologici continueranno a essere indirizzati verso innovazioni che risparmino lavoro e capitale, producendo limitati benefici, qualora ve ne fossero, per la produttività, e quindi, con un potenziale aumento degli impatti assoluti a causa dell'aumento di produzione.
Il disaccoppiamento non si verificherà se le innovazioni tecnologiche saranno orientate al risparmio di manodopera e capitale, lasciando invariato l'uso delle risorse e il degrado ambientale.

Un altro problema è che le tecnologie non solo non risolvono i problemi ambientali, ma tendono anche a crearne di nuovi. Supponendo che la produttività delle risorse diventi una priorità rispetto alla produttività del lavoro e del capitale, non c'è ancora nulla che impedisca alle innovazioni tecnologiche di creare più danni. Ad esempio, la ricerca sui processi di estrazione può portare a modi migliori per individuare le risorse (tecnologie di imaging e analisi dei dati), estrarle (perforazione orizzontale, fratturazione idraulica e operazioni di perforazione automatizzate) e trasportarle (rotte di spedizione nell'Artico). Queste innovazioni possono riguardare l'uso delle risorse ma con un risultato opposto all'obiettivo del disaccoppiamento, ovvero una maggiore estrazione. E questo senza nemmeno prendere in considerazione effetti collaterali non intenzionali, che spesso accompagnano lo sviluppo di nuove tecnologie (Grunwald, 2018).

Non abbastanza dirompenti

Un altro problema ha a che fare con la sostituzione di tecnologie dannose. In effetti, non è sufficiente che emergano nuove tecnologie (innovazione), ma devono anche riuscire a sostituire quelle vecchie, in un processo di "exnovation" ("exnovazione") (Kimberly, 1981). Ciò che sarebbe necessario è una "strategia spingere e tirare" (Rockström et al., 2017): promuovere le tecnologie rispettose dell'ambiente nella società e rimuovere quelle dannose, come le infrastrutture a base fossile.

Innanzitutto, in realtà, un tale processo è lento e difficile da innescare. La maggior parte delle infrastrutture inquinanti (centrali elettriche, edifici e infrastrutture urbane, sistemi di trasporto) richiedono ingenti investimenti, che creano quindi inerzia e blocchi (Antal e van den Bergh, 2014, p. 3). Consideriamo, ad esempio, i settori dell'energia, degli edifici e dei trasporti, che rappresentano la stragrande maggioranza del consumo mondiale di energia e delle emissioni di gas serra. L'aspettativa di vita media di una centrale nucleare o a carbone è di circa 40 anni. Gli edifici possono durare almeno altrettanto. La durata media di un'auto è di 12-15 anni, e questo è più o meno il tempo necessario per diffondere un'innovazione ad un'intera flotta di veicoli. L'ampia disponibilità di stazioni di rifornimento di benzina offre un vantaggio infrastrutturale alle auto a benzina, mentre la situazione è opposta per i veicoli elettrici, a gas o a idrogeno, che richiederebbero diverse e nuove infrastrutture di supporto. Costruire un'autostrada o una centrale nucleare è un impegno a produrre emissioni almeno fino a quando queste infrastrutture resteranno in piedi - Davis e Socolow (2014) parlano di "emissioni impegnate".

L'energia è un buon esempio: usare più energia rinnovabile non significa necessariamente usare meno combustibili fossili. La storia del consumo di energia non è fatta di sostituzioni, ma piuttosto di successive aggiunte di nuove fonti di energia. Man mano che nuove fonti energetiche vengono scoperte, sviluppate e distribuite, le vecchie fonti non diminuiscono, anzi, il consumo totale di energia cresce con strati aggiuntivi che vanno ad aggiungersi

sulla torta del mix energetico. York (2012) rileva che ogni unità di consumo di energia da fonti combustibili non fossili ha spostato meno di un quarto di unità della sua controparte di combustibili fossili, fornendo un supporto empirico all'affermazione secondo cui l'espansione delle energie rinnovabili è tutt'altro che sufficiente per frenare il consumo di carburante fossile. Nel mix energetico globale, la parte relativa del carbone è stata ridotta dall'avvento del petrolio, ma ciò si è verificato nonostante la crescita assoluta nell'uso del carbone (Krausmann et al., 2009).

Inoltre, anche se si decidesse di sostituire tutte le fonti di energia fossili con fonti di energia rinnovabile, è in dubbio che questo processo possa avvenire abbastanza velocemente - o addirittura che possa avvenire del tutto, considerando i requisiti materiali. In un recente studio, l'International Renewable Energy Association (Associazione Internazionale per le Energie Rinnovabili, IRENA, 2018) si stima che una crescita del PIL continua, compatibile con un obiettivo di riscaldamento a +2°C, richiederebbe l'aggiunta di 12.200 GW di capacità solare ed eolica entro il 2050. Ciò significherebbe aumentare la capacità delle energie rinnovabili con tassi di crescita che vanno da 2,3 a 4,6 volte. Poiché lo studio ipotizza una riduzione parallela dell'intensità energetica del 2,8% annuo (il doppio del tasso storicamente verificato) e mira all'obiettivo +2°C (e non al più ambizioso +1,5°C), si potrebbe osservare che la velocità di sviluppo delle energie rinnovabili dovrebbe essere ancora più elevata. Ad esempio, Garrett (2012) calcola che bisognerebbe costruire una centrale nucleare al giorno (o una fonte equivalente di energie rinnovabili) per decarbonizzare una richiesta energetica stabilmente crescente ai tassi attuali.

Questo schema osservato con l'energia, per cui le nuove tecnologie si integrano a quelle esistenti piuttosto che sostituirle, può essere osservato anche in molti altri settori. I computer non hanno sostituito i supporti cartacei, perchè computer e documenti si sono completati a vicenda (York, 2006). L'ascesa della gomma sintetica, la cui produzione si è sviluppata durante la seconda guerra mondiale, non ha impedito che la produzione e il consumo di gomma naturale aumentassero costantemente nel corso del XX secolo (Cornish, 2001). Allo stesso modo, l'esplosione della produzione di fibre sintetiche come poliestere e nylon non ha sostituito la produzione di fibre naturali. Mentre la produzione mondiale annuale di fibre sintetiche è cresciuta da meno di 2 Mt nel 1950 a oltre 60 Mt 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 (The Fiber Year - L'anno delle fibre, 2016). Il consumo aggiuntivo ha ampiamente superato la sostituzione.

Non abbastanza veloci

Alla luce degli ultimi decenni di cambiamenti tecnologici, il tasso di miglioramento necessario per poter ottenere il disaccoppiamento assoluto delle economie ad alto reddito e a impronta elevata, appare sproporzionato rispetto ai tassi di progresso tecnico passati e presenti.

Prendiamo ad esempio le emissioni di carbonio. Jackson (2016, pp. 96–100) considera alcuni semplici ipotetici scenari di disaccoppiamento. Il primo scenario di base è il seguente: il prolungamento della tendenza della crescita economica globale pro capite dell'1,3% annuo e, in parallelo, della prevista crescita annuale della popolazione dello 0,8%, e con un declino annuo medio dell'intensità del carbonio dello 0,6%, che è stato osservato dal 1990 ad oggi, porterebbe a un aumento delle emissioni di carbonio dell'1,5% all'anno (1,3% + 0,8% - 0,6% = 1,5). Al fine di ottenere una riduzione delle emissioni del 90% rispetto ai livelli attuali entro il 2050, con lo stesso PIL e le stesse ipotesi demografiche, l'intensità delle emissioni dovrebbe diminuire ad un tasso medio dell'8% all'anno fino al 2050, riducendo il

contenuto medio di carbonio della produzione economica a 20 gCO_2/US $, ovvero 1/26 di quello che è oggi (497 gCO_2/US $). Per fare un confronto, si consideri che l'intensità di carbonio dell'economia globale è scesa da circa 760 gCO_2/US $ nel 1965 a poco meno di 500 gCO_2 US $ nel 2015, vale a dire un calo annuo solo dell'1%.
Si possono immaginare molti altri scenari più ambiziosi[39], ma il messaggio è già chiaro: basarsi solo sulla tecnologia per mitigare i cambiamenti climatici implica tassi estremi di miglioramento dell'ecoinnovazione, molto lontani dalle tendenze attuali e che, a nostra conoscenza, non si sono mai verificati nella storia della nostra specie. Una tale accelerazione del progresso tecnologico sembra altamente improbabile, soprattutto se si considerano gli elementi che seguono.

In primo luogo, il miglioramento dell'intensità di carbonio globale ha subito un rallentamento dall'inizio del secolo, passando da un 1,28% annuo medio tra il 1960 e il 2000, allo 0% tra il 2000 e il 2014 (Hickel e Kallis, 2019, pagg. 8-9). Restringendo il campo di applicazione ai soli paesi OCSE ad alto reddito, dove sono sviluppate la maggior parte delle innovazioni, il tasso di miglioramento dell'intensità di CO_2 diminuisce ancora dall'1,91% (1970-2000) all'1,61% (2000-2014), che è molto lontano da raggiungere i livelli adeguati a frenare le emissioni per raggiungere l'obiettivo di +2°C, figuriamoci quello di +1,5°C.

Questa osservazione empirica non è affatto una sorpresa se si guarda alla teoria. L'innovazione tecnologica è limitata come soluzione a lungo termine ai problemi della sostenibilità, poiché mostra di per sé rendimenti decrescenti (motivo 1). Monitorando il numero di brevetti per inventore negli Stati Uniti nel periodo 1970-2005, Strumsky et al. (2010) forniscono la prova che la produttività dell'invenzione diminuisce nel tempo, anche in settori come l'energia solare ed eolica e le tecnologie dell'informazione (che sono spesso acclamate per i loro potenziali innovativi). "Il lavoro iniziale [...] risolve questioni poco costose ma ampiamente applicabili. [Successivamente] questioni che sono sempre più ristrette e ingestibili. La ricerca diventa sempre più complessa e costosa [...] "(ibid. 506). Osservando i cambiamenti dei fattori di produttività totale dal 1750 al 2015, Bonaiuti (2018) sostiene che l'umanità sia entrata in una fase generale di riduzione dei rendimenti marginali dell'innovazione.

Per riassumere, la tecnologia non è una panacea. È davvero impossibile prevedere cosa riservi il futuro in termini di innovazioni a lungo termine. Tuttavia, il punto è che ci sono molteplici e gravi ragioni per essere scettici sul potenziale dei cambiamenti tecnologici nel favorire il tipo di disaccoppiamento che abbiamo descritto come necessario. Innanzitutto, molte tecnologie che avrebbero potuto recidere parte del legame tra PIL e pressioni ambientali esistono da diversi decenni ormai, ma con effetti minimi. Ancora più importante, non tutte le innovazioni vanno nella direzione di una maggiore sostenibilità ecologica. In un'economia capitalista e orientata alla crescita, l'innovazione è molto spesso fortemente dipendente dalle opportunità di ricavarne del profitto, quindi prevalentemente orientata a questo scopo. In tale contesto, la maggior parte delle innovazioni può comportare un aumento del PIL, ma solo alcune di esse potrebbero contribuire a mitigare le pressioni ambientali. I futuri cambiamenti tecnologici potrebbero forse apportare ulteriori

[39] Poiché nello scenario di base sopra menzionato, il budget del carbonio finisce per essere pienamente utilizzato entro il 2025, l'autore calcola in un secondo scenario il requisito di una riduzione del 95%, tenendo tutto il resto dei parametri uguali. Il tasso di miglioramento dell'intensità di carbonio arriva ad una riduzione annua del 10,4%, ma il budget del carbonio si esaurisce ancora entro la fine degli anni 2020. Per evitare ciò, un terzo scenario fissa l' obiettivo al 2035 anziché al 2050, e la velocità necessaria per il cambiamento tecnologico diventa del 13% per una riduzione del 90% e del 15% per una riduzione del 95%. Nello scenario 4, i paesi a basso reddito dovrebbero raggiungere il reddito dei più ricchi (con un'espansione del 2% nei paesi ricchi, ci vorrà un tasso di crescita del 7,6% in quelli poveri per far convergere entrambi i livelli di reddito). In tali condizioni, l'intensità del carbonio deve essere inferiore a 2 gCO_2/$ per ottenere una riduzione del 95%, quasi 1/250 di quello che è oggi. Il raggiungimento di questi obiettivi entro il 2035 richiede una riduzione dell'intensità di carbonio in media del 18% annuo, 100 volte più veloce dell'attuale tasso di variazione.

miglioramenti, a condizione che questi non vengano annullati dagli effetti rimbalzo (cfr. Motivo 2) e purché non comportino problemi di spostamento (cfr. Motivo 3). I ritmi di innovazione tecnologica passati e attuali sono chiaramente in contrasto con i cambiamenti urgenti e radicali che le crisi ambientali richiedono e il calo dei tassi marginali di miglioramento (cfr. Motivo 1) fornisce pochi motivi di ottimismo per il futuro.

7. Delocalizzazione dei costi

Il disaccoppiamento assoluto verificatosi nelle nazioni precocemente industrializzate è solo apparente, se quei paesi esternalizzano la loro produzione ad alta intensità biofisica altrove. Questo effetto di dispersione[40] - a volte chiamato anche "disaccoppiamento tramite delocalizzazione dei costi" (UNEP, 2014a) o "disaccoppiamento virtuale" (Moreau e Vuille, 2018) può essere intenzionale o congetturale (Peters, 2008). È intenzionale o diretto quando lo spostamento geografico della produzione deriva da una scelta ovvia di trasferirsi in giurisdizioni con normative ambientali meno rigorose - questa è definita "ipotesi del paradiso dell'inquinamento". È congetturale o indiretto quando l'effetto è attribuito a un insieme più ampio di fattori (ad esempio differenze nel costo del lavoro, nella capacità industriale, dell'accesso alle risorse o alla tecnologia). Sulla base di questa premessa, la globalizzazione indurrebbe le attività inquinanti a concentrarsi nei paesi meno regolamentati, il più delle volte caratterizzati anche da basso reddito. Detto in altro modo, il commercio globale permetterebbe il verificarsi del disaccoppiamento in determinate regioni, a spese di un'intensificazione delle pressioni ambientali altrove, oppure, detto in altri termini, consente ai paesi ad alto consumo di esternalizzare i costi ambientali della produzione verso i paesi a basso consumo (si parla quindi di impatti "incorporati", ad esempio emissioni incorporate, energia incorporata).

Prove empiriche della delocalizzazione dei costi ambientali

La letteratura empirica sulle pressioni ambientali incorporate nel commercio è consistente. Riesaminando gli studi sulle emissioni di carbonio incorporate, Sato (2014) ha identificato nel commercio internazionale un grande volume, sempre più in crescita, di emissioni di carbonio incorporate: nel 2006 rappresentavano circa un quarto delle emissioni globali. Prendendo in considerazione 113 paesi, Peters et al. (2011) rilevano che i trasferimenti netti di emissioni attraverso il commercio internazionale da paesi a basso reddito verso paesi ad alto reddito, sono quadruplicati tra il 1990 e il 2008.

Ciò non riguarda solo le emissioni ma anche le risorse. Tra il 1997 e il 2001, il 16% dell'impronta idrica globale è stato incorporato nel commercio globale (Hoekstra e Chapagain, 2007). Le materie prime incorporate nel commercio internazionale hanno rappresentato il 30% dell'aumento globale del consumo di materia prima durante il periodo 1990-2010, "questo effetto è dovuto al crescente contributo delle economie meno efficienti, in termini di utilizzo di materiali, alla produzione globale" (Plank et al., 2018, p. 19). Allo stesso modo, Schandl et al. (2018, p. 8) riportano che l'efficienza globale nell'uso dei materiali sta diminuendo a causa di una "grande delocalizzazione" dell'attività economica da economie molto efficienti sotto il profilo dei materiali, come Giappone, Corea ed Europa, a quelle attualmente molto meno efficienti come Cina, India e Sud-Est asiatico.

[40] Poiché principalmente focalizzato sul carbonio, questo fenomeno è indicato come "dispersione del carbonio" nella letteratura empirica. Il termine "dispersione" depoliticizza il processo e quindi preferiamo, seguendo Kapp (1950) e la scuola di analisi del sistema mondiale (in particolare Hornborg, ad esempio 1998) chiamarlo processo di "delocalizzazione dei costi ambientali" in base al quale le nazioni più ricche impongono sistematicamente i costi ambientali del proprio consumo ai i paesi più poveri.

Ad esempio, un rapporto OCSE del 2011 affermava che Germania, Canada, Italia e Giappone avevano ottenuto un disaccoppiamento assoluto di emissioni di gas serra a partire dal 1980 (OECD, 2011). Anche se, come sottolineato da Bednik (2016, p. 107), gli autori del rapporto indicano che "parti" di questo disaccoppiamento sono dovute all'esportazione di attività manufatturiere nei paesi emergenti e in via di sviluppo (OECD, 2011, p. 15 -16). La differenza tra le emissioni lorde (misurato con un approccio di produzione) e le emissioni nette (misurato con un approccio al consumo) è stato in effetti del 27,7% per la Germania e del 24,7% per l'Italia nel 2004 e del 44% per la Francia (Laurent, 2012).

Più in generale, Davis e Caldeira (2010) stimano che la differenza tra le emissioni di produzione ed emissioni di consumo sia di circa il 30% nei paesi ricchi. Se confrontati ai tassi di supposto disaccoppiamento assoluto annunciati in alcuni studi, la sola esternalizzazione dei costi è un fattore sufficiente a spiegare l'osservazione.[41]

Perché si verifica una delocalizzazione dei costi?

Ciò che viene osservato empiricamente trova la sua spiegazione teorica nell'analisi del sistema mondiale e nella teoria della dipendenza (Amin, 1976; Emmanuel, 1972; Wallerstein, 1974). Basandosi su tale tradizione, Hornborg (1998, p. 38) definisce questo processo "scambio ecologicamente iniquo": "una relazione di scambio, anche se avviata volontariamente, può generare un deterioramento sistematico delle risorse, dell'indipendenza e dello sviluppo potenziale di una delle parti". Da questa particolare prospettiva, il mondo può essere suddiviso in paesi del centro, paesi semi-periferici e paesi periferici, dove i primi hanno più potere di importare ricchezza ed esportare miseria verso gli altri.

Emmanuel (1972) ha mostrato come le differenze nel costo del lavoro tra le nazioni portino a un trasferimento netto di manodopera incorporata dai paesi più poveri a quelli più ricchi. Ciò che è rilevante per il disaccoppiamento è che lo stesso meccanismo funziona anche con materie prime, energia e inquinamento. Se è più economico produrre ciò che è più inquinante altrove, come conseguenza ci sarà un trasferimento netto di oneri ambientali dal Nord del mondo al Sud del mondo. In termini di disaccoppiamento, ciò significherebbe che i paesi del centro si trovano in una situazione di deficit ecologico rispetto alla loro periferia.

Il disaccoppiamento in alcune regioni del mondo sarebbe una "illusione locale" (Hornborg, 2016, p. 115) o "illusione geografica" (Fischer-Kowalski e Amann, 2001) resa possibile da un processo di "delocalizzazione del carico ambientale" (Muradian et al., 2001) o "delocalizzazione degli oneri" (Kapp, 1950) da una località all'altra o dal presente al futuro. Seguendo questa linea di pensiero, Hornborg (2001, p. 33) ci invita a "pensare al mondo come a un sistema, in cui i problemi ambientali di un paese possono essere il rovescio della crescita di un altro paese". Ciò è particolarmente rilevante quando si tratta al cambiamento tecnologico. Hornborg (2019, p. 15) sostiene che la tecnologia moderna "dovrebbe essere intesa non semplicemente come un indice di ingegnosità, ma come una strategia sociale di appropriazione (del lavoro e della terra)" o come "una strategia di delocalizzazione (di lavoro e costi ambientali)." Un aspirapolvere può risparmiare tempo nella pulizia della casa, ma lo fa a spese di qualcuno che deve dedicare tempo ed energia

[41] Nel loro studio sulle emissioni incorporate nelle importazioni britanniche, Druckman et al. (2008, p. 594) concludono che "qualsiasi progresso verso gli obiettivi di riduzione del carbonio del Regno Unito (visibili sotto il profilo della produzione) scompare completamente se considerato dal punto di vista del consumo".

alla costruzione dell'aspirapolvere, e di molte più persone che devono estrarre i materiali necessari.

È quasi assurdo celebrare il disaccoppiamento in un paese se questo è realizzato a spese dell'accoppiamento in un altro, specialmente se quest'ultimo è più povero del primo. Vi sono forti ragioni teoriche per ritenere che i pochi casi di disaccoppiamento locale acclamati (che rimangono eccezioni) siano principalmente una delocalizzazione delle pressioni ambientali altrove, come abbiamo dimostrato nella Seconda Parte. Se è così, significa che la sostenibilità ecologica può essere raggiunta solo attraverso una riduzione della produzione inquinante. Questo motivo è forse il più problematico di tutti. Finché gli individui, le imprese e le nazioni resteranno impegnate nella competizione sui costi, ci saranno incentivi a spazzare i costi ecologici sotto il tappeto, dichiarando un'alleggerimento dell'impronta ecologica che risulta essere un semplice trucco statistico.

Conclusioni per la Terza Parte

In questa parte abbiamo offerto una serie di motivi per essere scettici sul disaccoppiamento: (1) aumento delle spese energetiche, (2) effetti rimbalzo, (3) spostamento dei problemi, (4) impatto sottovalutato dei servizi, (5) potenziale limitato del riciclaggio in un'economia in crescita, (6) cambiamenti tecnologici insufficienti e inappropriati e (7) delocalizzazione dei costi. Ognuno di essi preso singolarmente mette in dubbio la possibilità di disaccoppiamento e quindi la fattibilità della "crescita verde". Considerati tutti insieme, l'ipotesi di disaccoppiamento appare altamente compromessa, se non chiaramente irrealistica. È urgente trarre delle conseguenze in termini di elaborazione delle politiche e, seguendo il principio di precauzione, allontanarsi dal continuo perseguimento della crescita economica nei paesi ad alto consumo, in particolare nell'UE. Date tutte le argomentazioni discusse in questa parte, l'onere della prova resta ai difensori del disaccoppiamento. A meno che non vengano proposte dimostrazioni adeguate e convincenti contro tutti gli argomenti sopra menzionati, il concetto di disaccoppiamento rimane un atto di pura convinzione, con scarsa rilevanza per l'elaborazione delle politiche.

7 barriere alla crescita verde

7 Trasferimento dei costi
ciò che è stato osservato e denominato come disaccoppiamento in qualche caso locale è generalmente solo un disaccoppiamento apparente, risultato prevalentemente da una esternalizzazione degli impatti ambientali dai paesi ad alto reddito a quelli a basso reddito, resa possibile dal commercio internazionale. La valutazione alla base dell'impronta ambientale rivela un quadro molto meno ottimistico, e mette ulteriormente in dubbio la possibilità di un disaccoppiamento rilevante in futuro.

6. Cambiamenti tecnologici insufficienti e inadeguati
Il progresso tecnologico non è rivolto a quei fattori di produzione che contano per la sostenibilità ecologica e non porta al tipo di innovazioni che riducono le pressioni ambientali; non è abbastanza dirompente, in quanto non riesce a sostituire le tecnologie indesiderabili e non è di per sé abbastanza veloce da consentire un disaccoppiamento sufficiente.

5. Potenziale limitato del riciclaggio
Le percentuali di riciclaggio sono attualmente basse e solo in lento aumento, e il processo di riciclaggio in genere richiede ancora una quantità significativa di energia e materie prime vergini. Ancora più importante è che il riciclaggio ha un potere limitato nel fornire risorse in un'economia materiale in espansione.

4.L'impatto sottovalutato dei servizi
L'economia dei servizi può esistere solo al di sopra di un'economia materiale, non al suo posto. I servizi hanno un'impronta significativa, che spesso si aggiunge a quella delle merci, piuttosto che sostituirla.

3. Spostamento dei problemi
Le soluzioni tecnologiche di un problema ambientale possono crearne di nuovi e/o esacerbarne altri. Ad esempio, la produzione di veicoli elettrici privati aumenta il consumo di litio, rame e cobalto; la produzione di biocarburanti solleva preoccupazioni sull'uso del suolo; la generazione di energia nucleare produce rischi e preoccupazioni logistiche in merito allo stoccaggio di scorie nucleari.

2. Effetti rimbalzo
Gli aumenti di efficienza sono spesso compensati, parzialmente o totalmente, da una riallocazione di risorse e denaro risparmiati verso un maggior consumo (ad es. utilizzando auto a basso consumo più spesso) oppure verso altri consumi a impatto maggiore (ad es. l'acquisto di biglietti aerei per vacanze in luoghi remoti con denaro risparmiato dall'economia dei combustibili fossili). Può anche generare cambiamenti strutturali nell'economia che inducono alla fine un maggiore consumo assoluto (ad es. automobili più efficienti dal punto di vista dei consumi rafforzano un sistema di trasporto basato sull'auto privata, a scapito delle alternative più ecologiche, come il trasporto pubblico e le biciclette).

1. Aumento delle spese energetiche
Quando si estrae una risorsa, le opzioni più economiche vengono generalmente utilizzate per prime. L'estrazione delle scorte rimanenti diviene un processo più dispendioso in termini di risorse e materiali, con conseguente aumento del degrado ambientale totale per unità di risorse estratte.



Conclusioni: addio alla crescita verde

La presente relazione ha cercato di fissare alcuni punti. Per cominciare, gli studi scientifici e le discussioni politiche sul disaccoppiamento devono essere precisi sul modo in cui definiscono il termine (è relativo o assoluto, riguarda l'uso delle risorse o l'impatto, è globale o locale, è temporaneo o permanente?) e in che modo si relaziona con le esistenti soglie ambientali e gli obiettivi politici: è sufficiente a raggiungere l'obiettivo? Rappresenta un'equa distribuzione di costi e benefici?

Nella seconda parte abbiamo esaminato la letteratura empirica sul disaccoppiamento, alla ricerca di prove di disaccoppiamento tali da giustificare la scelta della crescita verde come strategia politica. La nostra scoperta è chiara: la letteratura sul disaccoppiamento è un pagliaio senza ago. Di tutti gli studi esaminati, non abbiamo trovato alcuna traccia che giustifichi le speranze attualmente investite nella strategia di disaccoppiamento. Nel complesso, l'idea che la crescita verde possa affrontare efficacemente le attuali crisi ambientali non è sufficientemente supportata da basi empiriche.

È importante notare che il disaccoppiamento non è né una strategia nuova né mai provata. È stato il principale piano di sostenibilità, almeno per l'OCSE e la Commissione Europea, a partire dal 2001, e una caratteristica chiave delle politiche ambientali e industriali di molti Stati membri già dagli anni '90. Il disaccoppiamento non è una strategia innovativa, ma piuttosto la continuazione di ciò che è stato fatto nell'Unione Europea negli ultimi decenni. I magri risultati della strategia di disaccoppiamento ottenuti finora, riportati nella Seconda Parte, mettono seriamente in dubbio che le prospettive future a breve e medio termine possano essere migliori. Considerando gli ultimi due decenni come un periodo di prova, si deve riconoscere che il disaccoppiamento non è riuscito a garantire la sostenibilità ecologica che aveva promesso.

Infine, abbiamo affermato che c'erano diversi motivi per essere scettici sul fatto che il disaccoppiamento possa verificarsi in futuro. (1) L'aumento della spesa energetica, (2) gli effetti rimbalzo, (3) lo spostamento dei problemi, (4) l'impatto sottovalutato dei servizi, (5) il potenziale limitato del riciclaggio, (6) i progressi tecnologici insufficienti e inappropriati e (7) l'esternalizzazione dei costi possono, ciascuno individualmente, e ancora di più tutti insieme, compromettere o addirittura negare la possibilità di una "crescita verde". La conclusione in questo caso non è che i miglioramenti dell'efficienza non siano necessari (e in tal senso, sosteniamo la maggior parte delle politiche mirate al disaccoppiamento sostenute dall'UNEP nel suo rapporto del 2014), ma che è invece teoricamente ed empiricamente irrealistico aspettarsi che provochino uno scollegamento assoluto, globale e permanente tra un metabolismo economico in costante crescita e la sua base biofisica. Data la correlazione storica tra PIL e pressioni ambientali, così come quella dei miglioramenti tecnologici necessari per una riduzione sufficientemente ampia e rapida dell'uso delle risorse e il degrado ambientale, fare affidamento sul solo disaccoppiamento per risolvere i problemi ambientali sembra essere una scommessa estremamente rischiosa

e irresponsabile. Inquadrare poi le questioni della giustizia socio-ecologica con il concetto di disaccoppiamento è come cercare di tagliare un albero con un cucchiaio: il tentativo durerà a lungo e molto probabilmente alla fine si fallirà.

Come già Daly (1977, p. 115) ha sostenuto 40 anni fa, la scommessa che stiamo affrontando è simile alla scommessa di Pascal. O speriamo che in qualche modo questi sette problemi si risolvano da soli, perseguendo come al solito la crescita e rischiando un collasso sociale e ambientale; oppure riconosciamo che il disaccoppiamento probabilmente fallirà con conseguenze irreversibili sull'ambiente e seguiamo un approccio basato sul principio di precauzione, allontanandoci da una strategia basata sulla rischiosa crescita verde e riducendo direttamente fin da subito le forme problematiche di produzione e consumo. Alla luce di ciò che mostra questo rapporto, la sola prudenza merita l'abbandono del disaccoppiamento e della crescita verde come unica strategia per la sostenibilità.

Poiché affermazioni straordinarie richiedono prove straordinarie, l'onere della prova dovrebbe ricadere sui sostenitori del disaccoppiamento. Come abbiamo sostenuto nella Terza Parte, ogni affermazione di un avvenuto disaccoppiamento deve essere in grado di superare una serie di verifiche. Questa è la sfida per qualsiasi politica che tenti di perseguire lo scenario di mitigazione proposto dall'IPCC di +1.5°C e di attuare gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile. Finora, la letteratura sulla crescita verde non ha affrontato i sette argomenti che abbiamo elencato in questo rapporto, o lo ha fatto in modo non convincente. Riflettendo su questi risultati, la nostra raccomandazione è la seguente: i responsabili politici devono riconoscere il fatto che affrontare le crisi climatica e della biodiversità (che sono solo due delle diverse crisi ambientali) potrebbe richiedere una riduzione diretta della produzione economica e del consumo nei paesi più ricchi. In altre parole, sosteniamo un passaggio di priorità dall'efficienza alla sufficienza, con la seconda al primo posto. La strategia del disaccoppiamento considera scontati i livelli di consumo, e si basa sulla speranza che un'ulteriore crescita economica fornirà i mezzi per (sovra) compensare i propri impatti ambientali. È davvero un approccio accattivante per i responsabili politici, in quanto richiede solo cambiamenti minimi nella struttura economica e sociale. Tuttavia, questo focus sulla produzione appare controintuitivo e, ora, obsoleto. L'ossessione per il disaccoppiamento nella politica europea mostra una problematica mancanza di creatività e ambizione politica, nonché l'incapacità dei politici di immaginare l'economia in modo diverso rispetto alla sua forma attuale.

Il problema è che, anche se si dimostrasse definitivamente che il disaccoppiamento è impossibile, ci vorrebbe del tempo per dimostrarlo fino a convincere i suoi sostenitori. Come sostenuto da Fletcher e Rammel (2017), il disaccoppiamento agisce come una fantasia distraente che giustifica un percorso (sempre più) distruttivo, con il rinvio al futuro sia della sua promessa di successo che della dimostrazione della sua impossibilità. Ma, mentre il disaccoppiamento non si materializza, le risorse naturali si esauriscono e gli ecosistemi collassano. In tal senso, il disaccoppiamento non è un'opportunità ma una minaccia. Infine, fino a quando il PIL non sarà effettivamente disaccoppiato dalle pressioni ambientali, qualsiasi produzione aggiuntiva richiederà uno sforzo maggiore per ottenere una riduzione dell'utilizzo di risorse e dell'intensità d'impatto, al fine di evitare conflitti per l'accaparramento delle risorse e il collasso ecologico. In tal senso, cercare di ridurre gli impatti durante la crescita ha poco senso, così come cercare di frenare l'auto mentre si accelera davanti ad un ostacolo.

La produzione e il consumo meno impattanti sono quelli che non si verificano. In uno dei suoi rapporti sul disaccoppiamento, l'UNEP (2014a, p. 48) spende una pagina intera per descrivere tutte le possibili tecnologie in grado di migliorare l'efficienza nell'utilizzo di

carburante degli autocarri, dai deflettori, a cappe inclinate da paraurti aerodinamici, ai parabrezza curvi. Altre opzioni non menzionate includono la semplice riduzione della velocità di questi camion, oppure la sostituzione del trasporto merci su strada con il trasporto ferroviario, o ancora più efficace, la riduzione totale della necessità di trasporto merci, rilocalizzando produzione e consumo. Il fatto che tali soluzioni di buon senso non siano nemmeno prese in considerazione in un rapporto esauriente incentrato sulle opzioni politiche, sta a dimostrare quanto sia diventata dominante l'enfasi unidimensionale sull'ecoefficienza.

Contrariamente alle auto a idrogeno, alle reti regionali intelligenti e ai mercati del carbonio ben funzionanti, ridurre la produzione e il consumo non è una narrazione astratta. Negli ultimi due decenni, i movimenti nel nord del mondo (città in transizione, decrescita, ecovillaggi, città lente, economie sociali e di solidarietà, economie per il bene comune) hanno iniziato a organizzarsi attorno al concetto di sufficienza, e potrebbero ispirare un approccio politico trasversale. Quello che dicono è che "di più non è sempre meglio" e che in un mondo in emergenza climatica, abbastanza può essere abbondanza. Come sostenuto da molti di questi attori, la scelta della sufficienza non è una scelta di sacrificio, disoccupazione, crescente disuguaglianza, povertà e riduzione dello Stato sociale. E' invece la scelta di un'economia equa, che rimanga all'interno delle capacità di carico della biosfera o, come è stata definita nel 7° programma di azione ambientale dell'UE, "vivere bene entro i limiti ecologici del pianeta". Ascoltando queste opzioni alternative, dovremmo riformulare del tutto il dibattito: ciò che dobbiamo disaccoppiare non è la crescita economica dalle pressioni ambientali ma la prosperità e la "bella vita" dalla crescita economica.

Questo lavoro evidenzia la necessità di una nuova cassetta degli attrezzi concettuale per influenzare le politiche ambientali. In questa prospettiva, sembra urgente che i responsabili politici prestino maggiore attenzione e sostengano le diverse alternative alla crescita verde già esistenti. Trarre insegnamenti dalla diversità delle persone e delle cornici teoriche che in questo momento sono impegnate nell'immaginare e attuare modi di vita alternativi è un modo promettente per risolvere ciò che percepiamo come una crisi dell'immaginazione politica. Il successo di tale iniziativa è importante, perché c'è in gioco a dir poco il futuro dei nostri figli e nipoti, per non dire dell'intera civiltà umana in quanto tale.

Bibliography

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, consequences, 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.2007.02.034

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

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

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 CO2emissions. 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

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

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 Comission.

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 Sutainability 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

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

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 CO 2 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

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

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. Universtiy 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

Malmodin, 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., Maasakkers, 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/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

Appendix: Summary of empirical literature

Variable	Author(s)	Year	not an explicit decoupling study	consumption (c) production (p)-based	Period	Scale	Magnitude	Permanence
Materials	Behrens et al.	2007		-	1980-2002	global	relative	permanent
	Bithas and Kalimeris	2018		p	1900-1945, 1950-2000	World	relative	temporary
				-	1951-2009		no	-
	Fischer-Kowalski and Amann	2001		c	1975-1996	national	relative	temporary
	Krausmann et al.	2018		p	1945-2002	global	relative	permanent
				-	2002-2015	global	no	temporary
	Wang et al.	2018		c	1995-2013	Australia, Japan, USA, India	relative	permanent
	Wiedmann et al.	2015		c	1990-2008	global	no	-
	Bringezu	2015		c	2000-2050	global	no	-
	Zhang et al.	2017		-	1985-2009	USA (flow indicators)	absolute	permanent
				-	2000-2009	USA (stock indicator)	relative	permanent
	Krausmann et al.	2009		p	1900-2005	global	relative (material intensity)	permanent
	Gilijum et al.	2014	x	-	1997-2007	global: Africa, Asia, Eurpe, Latin America, Oceania	-	-
	Jollands et al.	2004	x	-	1994/95-1997/98	national: Austria, Germany, Japan, Netherlands, UK, USA	-	-
	West and Schandl	2013	x	cp	1970-2008	-	-	-
Energy	Kovacic et al.	2018		p	1995-2013	14 EU countries (EU15 excluding Luxembourg)	relative	permanent
	Luzzati and Orsini	2009		p	1971-2004	global	no	-
	Moreau and Vuille	2018		cp	2000-2014	Switzerland	relative	permanent
	Szlavik and Sebestyen Szep	2017		-	1990-2015	Poland, Czech Republic, Slovakia, Hungary	both	temporary
	Wu et al.	2018		p	1965-1975	Brazil, Germany, France, UK, USA	relative	both
				p	1976-1985	China, France, Germany, India, UK	relative	both
				p		USA	absolute	temporary

				p	1986-1995	Brazil, China, France, Germany, UK, USA	relative	both
				p	1996-2005	China, France, Germany, India, Russia, UK, USA	relative	permanent
				p	2006-2015	Brazil, China, Germany, India, Russia	relative	-
				p		France, UK, USA	absolute	-
	Feng et al.	2015		c	2007-2013	USA	relative	both
	Cserklyei	2014		-	1971-2010	multiregional, 99 countries	relative	temporary
	Semienuk	2018		-	1950-2014	global	no	-
GHG	Cansino and Moreno	2018		p	2012-2013	Chile	relative	temporary
				-	1990–1991, 1999–2001, 2002–2003, 2004–2006, 2008–2010, 2012–2013		absolute	temporary
	Chen et al.	2018		cp	2001-2015	30 OECD countries	absolute	permanent
	Cohen et al.	2018		p	1990-2014	Brazil, Mexico, Turkey, Korea, South Africa, Indonesia, India, China, Canada, Japan, Australia, USA	relative	permanent
GHG				p		Italy, Russia, Ukraine, France, Germany, UK	absolute	permanent
				c	1990-2014	Mexico, Korea, South Africa, Indonesia, India, China, Canada, Japan, USA, Ukraine, France, UK	relative	permanent
				c		Germany, Russia	absolute	permanent
	Jiang and Li	2017		p	1991-1993, 1995-1998, 1999-2001, 2002-2003, 2004-2005, 2006-2007, 2009-2010, 2012-2013	USA	no	temporary
				p	all other years in the study period (1990-2014)		relative	temporary
	Jiborn et al.	2018		cp	1995-2009	Sweden, UK	relative	permanent
	Liddle and Messinis	2017		p	1870-2010	Australia, Canada, Ireland, Italy, Norway	relative	permanent
				p	1981/1981/1980-2010	Belgium, Netherlands, USA	absolute	permanent
				p	1968/1980/1968/1972-2010	Denmark, France, Switzerland, UK	absolute	permanent

	Longhofer and Jorgenson	2017		p	1970-2009	Australia, Brazil, Canada, Denmark, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Japan, Netherlands, Norway, Portugal, South Africa, Spain, Sweden, UK, USA	relative	permanent
	Madaleno and Moutinho	2018		p	2000-2008, 2010-2013	EU-15	relative	temporary
				p	1996-1999	EU-15	absolute	temporary
	Marques et al.	2018		p	1965–1975	Australia	no	-
				p	1975-2016		relative	permanent
	Pilatowska and Wlodarczyk	2017		cp	1990-2012	Denmark, Sweden, Austria (since 2005), Belgium, France (since 2005), Germany	absolute	permanent
				p	2010-2012	Finland, Netherlands	relative	permanent
	Roinioti and Koroneos	2017		p	2003-2007, 2009-2010	Greece	relative	temporary
				p	2005-2006, 2007-2009		absolute	temporary
	Wang et al.	2018		P	2000-2001, 2006-2007,2011-2013	China	relative	temporary
				P	2000-2001, 2005-2006, 2010-2012	USA	absolute	temporary
				P	2000-2014		absolute	permanent
				p	2001-2005, 2012-2014		relative	temporary
	Azomahou et al.	2006		p	1960-1996	global (100 countries)	no	-
	Bassetti	2012		p	1970-2006	global (126 countries)	no	-
	Fosten et al.	2012		p	1751-2007	United Kingdom	absolute	permanent
				p	1850-2002	United Kingdom	absolute	permanent
GHG	Bertinelli and Strobl	2004		-	1950-1990	global (122 countries (CO2) and 108 countries (sulfur))	no	-
	Jiang et al.	2016		-	2005-2006, 2010-11, 2011-12	USA	absolute	temporary
	Itkonen	2012		-			no	-
	Knight and Schor	2014		-	1991-2008	29 high-inocme countries	no	-
	Lean and Smyth	2009		p	1980-2006	ASEAN countries: Indonesia, Malaysia, Philippines, Singapore and Thailand	absolute	permanent
	Lin et al.	2016		-	1980-2011	Kenya, Nigeria, Egypt, South Africa, DR Congo	no	-
	Huang et al.	2007		p	1990-2003	Annex II and EIT	absolute	-
	Azam and Khan	2016		p	1975-2014	China and USA	no	-
	Azam and Khan	2016		p	1975-2014	Tanzania and Guatemala	absolute	temporary
	Tapio	2005		-	1990-2001	EU15 countries	absolute	temporary
				-	1990-2001	national: UK, Sweden and Finland	relative	temporary
	Wagner	2006		-	1986-1998	global	no	-
	Akbostanci et al.	2009		p	1968-2003	turkey	no	-
	Schröder and Storm	2018		c	1995-2011	61 countries	no	

	Finel and Tapio	2012		p c	1995-2011 1975-2005, special focus on 2000-2005	61 countries national (137 countries)	relative relative and absolute	temporary temporary
	Wu et al.	2018		p	1965-2015	Brazil, China, France, Germany, India, UK, USA, Russia	relative	permanent (except for India and Brazil)
Pollutants	Chang et al.	2018		p	1992-2014	Japan	absolute	permanent
	Selden and Song	1994		p	1973-75, 1979-84	global	absolute	temporary
	Stern and Common	2001		p	1960-1990	regional; OECD countries	absolute	-
	Diaz and Rosenberg	2008	x	-	2008	global	-	-
	Bouwman et al.	2012	x	-	1900-2000 scenarios for the period 2000-2050	global	-	-
	Billen et al.	2013	x	cp	1951-2005	Global	-	-
Waste	Jaligot and Chenal	2018		cp	1996-2015	canton of Vaud in Switzerland	no	-
	Tsiamis et al.	2018		c	1998-2013	USA	relative	permanent
Biodiversity	Mills and Waite	2009		p	1972-1992	national	no	-
	Asafu-Adjaye	2003		c	1990-1999	global	no	-
	Raymond	2004		c	2002	national (140 nations)	no	-
	Mozumder et al.	2006		-	1998	national	no	-
	Dietz and Anger	2003		-	1950-1991 and 1999	global (141 countries)	no	-
	Tevie et al.	2011		-	2007	USA (48 states)	no	-
	Naidoo and Adamowicz	2001		-	1999	global	absolute only for birds	temporary
	Koirala et al.	2011		cp	1992-2009	global	no	-
	Ceballos et al.	2015	x	-	1500-2015	global	-	-
	Butchart et al.	2012	x	-	1988-2008	global	-	-
Ecological Footprint	Caviglia-Harris et al.	2009		p	1961-2000	global	no	-
	Szigeti et al.	2017		c	1999 - 2009 (data only collected for the two years, not inbetween)	global	both	-
Energy, Water, Land, (Air) Energy, Poll	Conrad and Cassar	2014		p	1995-2012	Malta	relative	temporary
	Naqvi and Zwickl	2017		p	1995-2008	18 EU countries	both	both
	Van Caneghem et al.	2010		p	1995-2006	Flanders (climate change, acidification, photo-oxidant formation, human toxicity, freshwater aquatic ecotoxicity and eutrophication)	absolute	permanent

utants Energy, Water, (Air) Pollutants, Waste, GHG				p	1995-2006	Flanders (industrial waste generation, energy consumption)	relative	permanent
Energy, Materials	Ward et al.	2016		p	2015-2050	Australia	relative	temporary
	Schandl et al.	2016		cp	1990-2010	global	relative	
GHG, Energy, Materials, Water, Land	Wood et al.	2018		cp	1995-2011	global	absolute (land use)	permanent
water	Wang et al.	2016		c	2007	global (110 countries)	relative (domestic blue water use)	permanent
	Richey et al.	2015	x	cp	2013	global	-	-
	Loch and Adamson	2015	x	cp	2011	local (Australia's Murray–Darling Basin)	-	-
	Wada and Bierkens	2014	x	-	1960-2010	global	-	-
	Oki, Yano, and Hansaki	2017	x	cp	2017	global	-	-
	Strokal et al.	2019	x	-	2010	regional (sub-basins of Europe, North America, South Asia)	-	-
	Zhao et al.	2015	x	cp	2007-2030	regional: China		
	Hoekstra and Mekonnen	2016	x	c	1996-2005	regional (UK)	-	-
water	Ashaf et al.	2017	x	-	1997-2001, 1998-2007, 2000-2006	regional (North America, Eurpe and the Middle East)	-	-
	Kiguchi	2015	x	c	2015 and scenarios for 2070	global	-	-
Land use	Krausmann et al.	2013		p	1910-2005	global	relative	permanent
	Bagliani	2008		-	2008	global	no	-
	Tilman et al.	2011		cp	1961-2007	global	relative (cropland)	-
	Kumar and Aggarwal	2003		p	1963-64 to 1995-96	regional	relative (crop area)	temporary
	Kastner	2014		cp	1986-2009	global (200 nations)	relative (cropland)	-
	Lambin and Meyfroidt	2010	x	-	1961-2010	regional (China, Costa Rica, El Salvador, Vietnam)	-	-
	Weinzettel et al.	2013	x	-	2004	global	-	-
	Sandström	2017	x	cp	1986-2011	regional (Finnland)	-	-

		2013	x	c		global (Australia, Brazil, Indonsia, India, Russian Federation, United Kingdom, Germany, Japan,		
	Yu, Feng, Hubacek				2007	China, US)	-	-
	Steen-Olsen et al.	2012	x	-	2004	regional (member states of the EU)	-	-
	Tukker et al	2016	x	-	2007	global (43 countries)	-	-
	Schreinemachers et al.	2012	x	-	1990-2009	global (except China)	-	-
	Borucke et al.	2013	x	-	2004	global (200 countries)	-	-

We would like to thank our funders.

- **For the research work, the authors like to thank the following:**

Timothée Parrique acknowledges funding received from the Marie Sklodowska Curie Fellowship Action in Excellent Research (grant agreement n° 675153).
Jonathan Barth acknowledges funding received by the KR Foundation
François Briens thanks the French unemployment allowance scheme which made his contribution possible.
Christian Kerschner acknowledges funding received from the Czech science foundation under the project VE2NEX (GA CR 16-17978S).
Alejo Kraus-Polk acknowledges funding received from the California Department of Water Resources (grant agreement n° 4600012167).

- **For the production, layout, printing and dissemination, the European Environmental Bureau, Deutscher Naturschutzring and Zoe Institute for future-fit economies like to thank the following:**

Federal Ministry
Republic of Austria
Sustainability and Tourism

This report has been produced with the financial assistance of the Federal Ministry of Sustainability and Tourism from the Republic of Austria. The contents of this report are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be taken as reflecting the position of the Austrian Ministry.

This report has been produced with the financial assistance of the European Union. The contents of this report are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be taken as reflecting the position of the European Union.

KR foundation

This report has been produced with the financial assistance of the KR foundation. The contents of this report are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be taken as reflecting the position of the foundation.

This report was produced and disseminated as part of:

MAKE EUROPE SUSTAINABLE FOR ALL

The European-wide project **Make Europe Sustainable for All (MESA)** is coordinated by the European Environmental Bureau (EEB) and implemented in 15 European countries by 25 partners. At the core of the project are various campaigns and advocacy activities. This report is part of the campaign on sustainable consumption and production (2019-2020). The contents of this report are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be taken as reflecting the position **#SDGS4All makeeuropesustainableforall.org**

We would like to thank our funders.

- For the research work, the authors like to thank the following:

Timothée Parrique acknowledges funding received from the Marie Sklodowska Curie Fellowship Action in Excellent Research (grant agreement n° 675153).
Jonathan Barth acknowledges funding received by the KR Foundation
François Briens thanks the French unemployment allowance scheme which made his contribution possible.
Christian Kerschner acknowledges funding received from the Czech science foundation under the project VE2NEX (GA CR 16-17978S).
Alejo Kraus-Polk acknowledges funding received from the California Department of Water Resources (grant agreement n° 4600012167).

- For the production, layout, printing and dissemination, the European Environmental Bureau, Deutscher Naturschutzring and Zoe Institute for future-fit economies like to thank the following:

Federal Ministry
Republic of Austria
Sustainability and Tourism

This report has been produced with the financial assistance of the Federal Ministry of Sustainability and Tourism from the Republic of Austria. The contents of this report are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be taken as reflecting the position of the Austrian Ministry.

This report has been produced with the financial assistance of the European Union. The contents of this report are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be taken as reflecting the position of the European Union.

KR foundation

This report has been produced with the financial assistance of the KR foundation. The contents of this report are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be taken as reflecting the position of the foundation.

This report was produced and disseminated as part of:

MAKE EUROPE SUSTAINABLE FOR ALL

The European-wide project **Make Europe Sustainable for All (MESA)** is coordinated by the European Environmental Bureau (EEB) and implemented in 15 European countries by 25 partners. At the core of the project are various campaigns and advocacy activities. This report is part of the campaign on sustainable consumption and production (2019-2020). The contents of this report are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be taken as reflecting the position
#SDGS4All makeeuropesustainableforall.org