

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

DIPARTIMENTO DI CULTURE, POLITICA E SOCIETÀ

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE INTERNAZIONALI



TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**LIMITI PLANETARI E CAMBIAMENTO CLIMATICO: UN'ANALISI
MULTIDIMENSIONALE DELLA SOSTENIBILITÀ**

Relatore: Prof. Mauro Bonaiuti

Correlatore: Prof. Egidio Dansero

Candidata: Greta Urani

Anno Accademico: 2021-2022

| | |
|--|-----------|
| INTRODUZIONE | 4 |
| CAPITOLO I: LIMITI PLANETARI | 8 |
| 1. I LIMITI PLANETARI | 8 |
| 1.2 IL CAMBIAMENTO CLIMATICO..... | 9 |
| 1.3 L'ACIDIFICAZIONE DEGLI OCEANI | 11 |
| 1.4 OZONO STRATOSFERICO..... | 12 |
| 1.5 LO SFRUTTAMENTO DEL SUOLO..... | 13 |
| 1.6 LA PERDITA DELLA BIODIVERSITÀ | 14 |
| 1.7 IL CARICO DI AEROSOL | 17 |
| 1.8 INQUINAMENTO CHIMICO | 18 |
| 1.9 I CICLI GLOBALI DEL FOSFORO E DELL'AZOTO | 19 |
| 1.10 L'USO GLOBALE DI ACQUA DOLCE | 21 |
| 2. INTERAZIONE TRA I LIMITI PLANETARI | 22 |
| 3. A GOOD LIFE FOR ALL WITHIN PLANETARY BOUNDARIES | 23 |
| CAPITOLO II: CRESCITA VERDE E DECOUPLING | 47 |
| 1. LA CRESCITA VERDE | 47 |
| 2. IL DISACCOPPIAMENTO O DECOUPLING | 48 |
| 2.1 DISACCOPPIAMENTO ASSOLUTO E RELATIVO | 50 |
| 2.2 DISACCOPPIAMENTO DELLE RISORSE E DEGLI IMPATTI | 52 |
| 2.3 SCALA, ENTITÀ E DURATA | 55 |
| 3. OSTACOLI AL DISACCOPPIAMENTO | 58 |
| 3.1 L'AUMENTO DELLA SPESA ENERGETICA | 60 |
| 3.1.1 L'EROI | 60 |
| 3.2 LO SPOSTAMENTO DEI PROBLEMI..... | 63 |
| 3.3 L'IMPATTO DEI SERVIZI..... | 64 |
| 3.4 I LIMITI DEL RICICLAGGIO | 66 |
| 3.5 L'EFFETTO RIMBALZO | 69 |
| 3.6 LA DELOCALIZZAZIONE DEI COSTI..... | 74 |
| CAPITOLO III: LE CONSEGUENZE SOCIO-ECONOMICHE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO | 76 |
| 1. L'IPCC E GLI STUDI SUL CAMBIAMENTO CLIMATICO | 76 |
| 2. DAL PRIMO RAPPORTO DI VALUTAZIONE ALL'AR6 | 77 |
| 3. IL SESTO RAPPORTO DI VALUTAZIONE | 79 |
| 3.1 GLI IMPATTI BIOFISICI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO | 81 |
| 3.1.1 DIFFERENTI TIPI DI RISCHI | 87 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.1.2 | L'EUROPA ED IL MEDITERRANEO | 89 |
| 3.2 | SHARED SOCIOECONOMIC PATHWAYS (SSP) | 90 |
| 4. | I COSTI ECONOMICI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO | 96 |
| 4.1 | I METODI PER STIMARE I COSTI ECONOMICI GLOBALI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO | 97 |
| 4.2 | LE STIME DEGLI IMPATTI ECONOMICI | 100 |
| 4.3 | L'ASSENZA DI UN APPROCCIO ECONOMICO DI COMPLESSITÀ..... | 110 |
| | <i>CONCLUSIONI</i>..... | 113 |
| | <i>BIBLIOGRAFIA</i> | 117 |
| | <i>SITOGRAFIA</i>..... | 123 |

INTRODUZIONE

Nel mese di Febbraio del 2022 è stato pubblicato l'ultimo rapporto di valutazione dell'IPCC. Il report evidenzia con certezza come attualmente l'umanità stia esercitando sulla terra una pressione mai vista prima. Gli impatti sociali, economici e biofisici prodotti da tale pressione destano non poche preoccupazioni; basti pensare che il Global Risk Report del 2022 ha affermato che, nei prossimi anni, i rischi principali che l'umanità dovrà affrontare saranno tutti di tipo ambientale. L'IPCC ha quindi confermato che la crisi ambientale non può essere messa in discussione, identificando inoltre come causa principale le attività prodotte dall'uomo.

Con tali premesse, la presente tesi si propone di analizzare due tematiche fondamentali al fine di comprendere i futuri impatti biofisici, ma soprattutto economici, dei cambiamenti ambientali in corso e la loro reale gravità.

In primo luogo, sono stati analizzati i limiti planetari. La vasta letteratura a riguardo risulta estremamente interessante in quanto permette di mettere in rilievo il livello di insostenibilità delle attuali economie avanzate. I differenti limiti rappresentano delle soglie che devono essere rispettate dal momento che un loro eventuale superamento rischierebbe di innescare dei cambiamenti irreversibili all'interno dell'ecosistema terrestre. Lo spazio "sicuro" designato da questi confini invece garantirebbe lo sviluppo e la prosperità delle società umane senza violare la resilienza e resistenza della Terra stessa.

Partendo dai dati forniti dallo studio dell'Università di Leeds, "A Good Life For All Within Planetary Boundaries", il presente lavoro ha calcolato la percentuale di riduzione delle attività necessaria a ciascun paese per poter rientrare al di sotto dei limiti presi in considerazione, riducendo in tal modo la propria pressione sul nostro pianeta (il lavoro completo verrà riportato all'interno del primo capitolo). I risultati di tale studio permettono di comprendere il livello di insostenibilità raggiunto fino ad oggi da ciascun paese e la portata delle azioni da attuare al fine di ridurre tale livello.

Uno dei più importanti limiti presi in considerazione è il cambiamento climatico. Negli ultimi decenni si sono moltiplicati gli studi a riguardo, permettendo di raggiungere una vasta conoscenza degli impatti biofisici che tale fenomeno avrà in futuro. Tuttavia la maggior parte di questi studi si è concentrata unicamente sull'analisi delle conseguenze

biofisiche, al contrario, l'obiettivo della presente tesi è quello di analizzare nello specifico le conseguenze economiche del cambiamento climatico.

Il principale organismo internazionale ad essersi occupato di tale tematica è stato l'IPCC che nel corso degli ultimi vent'anni ha prodotto una serie di rapporti di valutazione finalizzati a raccogliere la letteratura scientifica riguardante tale tematica. Nell'ultimo rapporto, pubblicato ad inizio 2022, è stata data maggiore importanza al tema degli impatti economici; nonostante ciò, i risultati rimangono ancora limitati e sottovalutati.

I risultati proposti nel rapporto del 2022 risultano coerenti con quelli del 2014 dove si affermava che i *“global annual economic losses for warming of ~2.5°C above pre-industrial levels are 0.2 to 2.0%”. Changes in population, age structure, income, technology, relative prices, lifestyle, regulation and governance are projected to have relatively larger impacts than climate change, for most economic sectors (medium evidence, high agreement)*” (IPCC; 2014). Da tale affermazione si può trarre l'implicita conclusione che, secondo l'IPCC, gli impatti economici del cambiamento climatico, nonostante non possano essere completamente trascurati, siano facilmente contrastabili grazie, nello specifico, a due fattori: la crescita economica futura, stimata come superiore al 2%, in media, ed il progresso tecnologico. Seguendo tale prospettiva il cambiamento climatico non rappresenterebbe un fattore di rischio sistemico per l'economia mondiale.

La presente tesi vuole invece dimostrare come tale affermazione rischi di essere decisamente ottimista, introducendo una prospettiva di complessità, la quale propone un approccio interdisciplinare e sistemico. L'attuale ricerca empirica ha affermato, negli ultimi anni, che difficilmente nel prossimo futuro si riusciranno a raggiungere tassi di crescita economica superiori al 2%; inoltre gli studi sulla Total Factor Productivity (TFP) growth ed il suo andamento nel tempo hanno dimostrato come essa, a partire dagli anni 50, presenti un trend decrescente, attualmente prossimo allo zero, nelle società capitalistiche avanzate (Bonaiuti; 2018). Infine, seguendo tale approccio di complessità si può affermare che il verificarsi in contemporanea di più fattori di stress (cambiamento climatico, crisi del debito pubblico, rallentamento della crescita economica e dell'innovazione tecnologica) all'interno di un sistema, aumenta il rischio che si verifichi un vero e proprio collasso, in quanto la presenza di questi stress impedisce al sistema stesso di trasferire l'incremento dei costi da un sottosistema ad un altro. (Tainter; 1988).

Prendendo in considerazione tutti questi elementi, il presente lavoro intende quindi sostenere l'ipotesi che la gravità degli impatti economici del cambiamento climatico

venga attualmente sottostimata dall'IPCC e che il quadro futuro sarà probabilmente più allarmante.

La tesi è suddivisa in tre capitoli. Il primo si occupa di analizzare il concetto di limite planetario. La prima parte del capitolo è dedicata allo studio della definizione di "planetary boundaries" individuata da Rockstrom, analizzando i 9 limiti da lui proposti e le soglie, per ciascun limite, indicate nei suoi studi. In seguito, si passerà all'analisi dello studio "A Good Life For All Within Planetary Boundaries" pubblicato nel 2018 dall'Università di Leeds, il quale riprende il concetto di limite planetario di Rockstrom ma individua solamente 7 indicatori e non 9; per ciascun limite viene proposta una soglia che indica il livello massimo che dovrebbe essere raggiunto da ogni nazione e il punteggio attribuito a ciascuno stato. In questa tesi si vuole fare un passo in avanti rispetto a tale lavoro, viene infatti analizzata la riduzione percentuale delle attività di ciascun paese, necessaria al fine di rientrare all'interno dei limiti; tale analisi considera sia la riduzione percentuale per ogni singolo indicatore che la percentuale riguardante la performance generale di un paese.

Il secondo capitolo analizza la teoria della crescita verde e il fenomeno del decoupling; quest'ultimo viene presentato in quanto elemento teorico fondamentale della Green Growth Strategy, se esso non può realizzarsi, infatti, anche le strategie adottate dai differenti stati e basate su questo approccio risulteranno fallimentari. All'interno del capitolo, in un primo momento, verrà analizzato il concetto di decoupling e le sue differenti forme, ovvero il disaccoppiamento assoluto e relativo, quello delle risorse e quello degli impatti, mentre nella seconda parte del primo capitolo ci si concentrerà sugli attuali ostacoli che, nella società attuale, rendono impossibile la realizzazione di un disaccoppiamento assoluto e stabile nel tempo tra la crescita economica e gli impatti ambientali.

Infine, l'ultimo capitolo, ovvero il terzo, considera il cambiamento climatico ed i suoi impatti (fisici ed economici) in particolar modo tramite l'analisi dei lavori compiuti dall'IPCC negli ultimi decenni, dallo Swiss Re e dal JRC. In un primo momento ci si concentrerà sull'IPCC, analizzando il suo ruolo e le sue pubblicazioni. Successivamente si effettuerà una analisi più specifica, ovvero verrà preso in considerazione il Sesto Rapporto di Valutazione, pubblicato nel 2022, studiandone le caratteristiche ed i principali risultati esposti; per quanto riguarda gli impatti biofisici del cambiamento climatico, un'attenzione particolare verrà data all'area dell'Europa e del Mediterraneo. Infine, l'ultima parte di questo lavoro si concentrerà sugli impatti economici del

cambiamento climatico, confrontando i risultati riportati dall'IPCC nei suoi ultimi due Rapporti di Valutazione, pubblicati nel 2014 e nel 2022, con i dati ricavati da altri studi, tra cui quello dello Swiss Re e quello del JRC ed introducendo una cornice interpretativa basata sulla teoria della complessità e dei rendimenti marginali decrescenti.

CAPITOLO I: LIMITI PLANETARI

La società umana attualmente sta esercitando sul pianeta Terra una pressione insostenibile. Diventa impensabile quindi continuare ad agire e vivere seguendo le stesse abitudini adottate negli scorsi decenni senza che tutto ciò provochi dei danni irrimediabili all'equilibrio del nostro pianeta. Risulta quindi necessario che l'umanità si concentri sullo studio di strategie di sviluppo e azioni sostenibili, che non rischiano di danneggiare ulteriormente la Terra. Per far ciò risulta importante studiare i differenti limiti planetari e le loro soglie.

1. I LIMITI PLANETARI

I limiti planetari sono stati individuati e definiti da Johan Rockström (Rockstrom; 2009).

Lo studio dei limiti planetari e delle loro soglie ha come obiettivo quello di individuare uno spazio che sia sicuro al fine di garantire lo sviluppo e la prosperità delle società umane in relazione alla capacità di resistenza e resilienza della Terra (Steffen et al.; 2015).

Questo approccio definito dei confini planetari è basato su tutti quei processi dinamici biofisici che possiede la Terra e che permettono di attuare al suo interno dei processi di autoregolazione (Rockstrom; 2009). Sono quindi analizzate le soglie di alcuni processi che non devono essere superate se si vogliono evitare cambiamenti non lineari all'interno della biosfera (Rockstrom; 2009). Ogni soglia però è caratterizzata da una zona di incertezza. Questa zona è causata da un insieme di elementi, tra cui l'incertezza legata al modo in cui agiscono i sistemi nel loro complesso, i meccanismi e gli altri processi biofisici che possono interagire con la variabile di controllo primaria individuata e la ridotta conoscenza scientifica che attualmente l'uomo possiede (Rockstrom; 2009). La dimensione di questa zona risulta, infine, rilevante nel definire un confine planetario e la sua soglia (Rockstrom; 2009).

I limiti planetari identificati da Rockstrom e dai suoi colleghi sono nove, anche se altri studi hanno preferito suddividere in maniera differente tali limiti. Uno dei più importanti è "A Good Life For All Within Planetary Boundaries" pubblicato nel 2018 dall'Università di Leeds. Gli autori di questo studio non hanno infatti rispettato la divisione in nove confini differenti bensì si sono fermati a sette.

1.2 IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il primo limite da analizzare è quello che riguarda il cambiamento climatico. A livello internazionale tale argomento è stato approfondito tramite l'Accordo di Parigi, ovvero un trattato ONU sottoscritto da 197, tra cui l'Italia, il cui contenuto è stato negoziato a Le Bourget, località situata nei pressi di Parigi, il 12 dicembre 2015 (Ciccarese; 2019).

L'Accordo di Parigi pone come principale obiettivo, a lungo termine, quello di contenere, grazie all'azione dei governi, l'aumento della temperatura media globale, in modo che si rimanga notevolmente al di sotto di un incremento di 2° rispetto al livello preindustriale, fino a raggiungere un incremento non superiore a 1.5° (Ciccarese; 2019).

Il limite è stato fissato a seguito di alcune considerazioni sviluppate dopo aver analizzato le proiezioni scientifiche delle possibili conseguenze dannose in base al differente livello di riscaldamento, dopo aver analizzato alcuni giudizi di valore che sono stati espressi riguardo l'inaccettabilità di questi impatti, e infine in base a considerazioni politiche che hanno definito cosa può essere realizzato attualmente e cosa no (Rockstrom; 2009).

Questo primo confine ha come obiettivo anche quello di evitare risposte brusche, irreversibili o non lineari, legate ad altre soglie, che potrebbero, se superate, portare ad un aumento di ulteriori impatti difficili da gestire, tra cui il rapido innalzamento dei mari (Rockstrom; 2009).

Rockstrom ha utilizzato due criteri differenti per calcolare tale limite: il primo è la concentrazione atmosferica di CO₂, mentre il secondo parametro è il forcing radioattivo (Rockstrom; 2009). Il primo è sicuramente l'indicatore più utilizzato e studiato. Rockström propone un limite massimo di concentrazione di anidride carbonica pari a 350 parti per milione in volume (Rockstrom; 2009).

Una concentrazione troppo elevata di CO₂ è responsabile di numerosi impatti negativi, in particolar modo del cambiamento climatico in quanto comporta un aumento delle temperature. All'inizio dell'era industriale, all'incirca nel 1750, la sua concentrazione nell'atmosfera aveva un valore di 277 ppm (parti per milione), nei secoli successivi tale cifra è aumentata fino ad arrivare ad un livello pari a 405 ppm nel 2017, per poi raggiungere il picco nel 2018 quando la concentrazione di CO₂ è cresciuta ulteriormente fino alla quota di 410 ppm, corrispondenti ad un aumento del 44% rispetto al livello preindustriale (Le Quéré et al.; 2018).

Le emissioni di CO₂ inoltre sono aumentate in maniera differente in base al continente o alla nazione preso in considerazione, come dimostrato dalla figura 1, nella quale possiamo osservare la produzione di CO₂ in Cina, India, Stati Uniti ed Europa, nei 50 anni compresi tra il 1968 e il 2018.

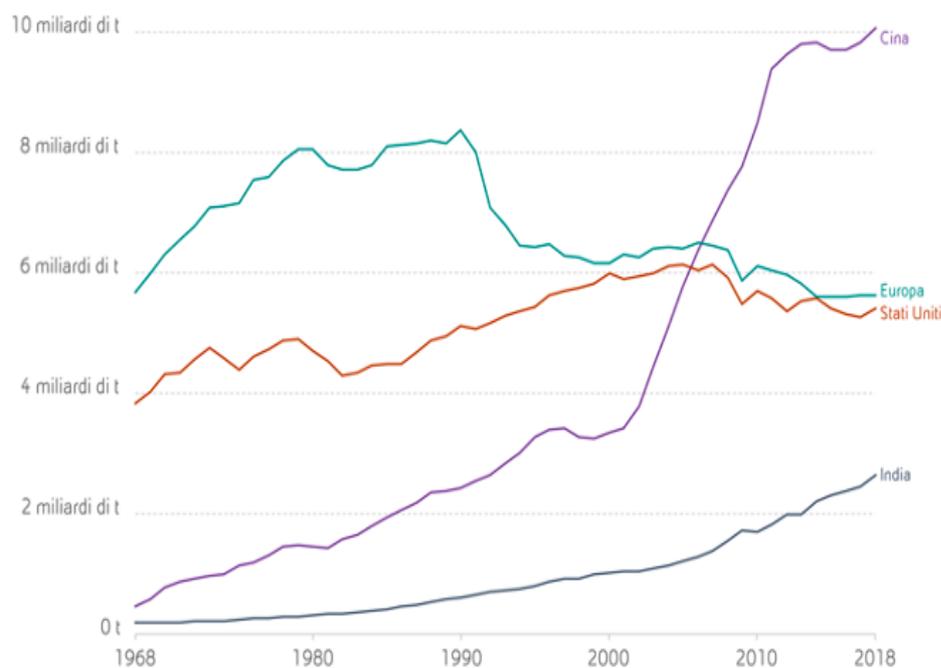


Figura 1: Emissioni di CO₂ 1968-2018. Fonte: Global Carbon Budget 2018

Negli ultimi 20 anni le emissioni sono aumentate in Cina e in India mentre in Europa e negli Stati Uniti sono rimaste per lo più stabili, non hanno infatti subito forti aumenti o diminuzioni (Le Quéré et al.; 2018).

Un gruppo di ricercatori del Global Carbon Project ha affermato che nel 2018 le emissioni di gas serra hanno ricominciato ad aumentare non solo in Cina e in India, dove vi è stato un incremento rispettivamente del 4,7% e del 6,3%, ma anche negli USA con un aumento del 2,5%. Le cause sono state individuate nell'aumento del numero di veicoli e nel riutilizzo del carbone per la produzione di energia (Ciccarese; 2019).

Il limite è stato fissato da Rockstrom a 350 parti per milione in volume per diversi motivi. Innanzitutto, è necessario, prendere in considerazione i feedback di lungo periodo che portano ad un aumento ulteriore della temperatura finale, come la riduzione del volume della calotta glaciale; se questi fenomeni non vengono presi in considerazione, ma al contrario, si analizzano solo i feedback veloci, che includono ad esempio i cambiamenti nel vapore acqueo, si rischia di sottovalutare l'impatto finale e la gravità dei futuri

cambiamenti legati ad una data concentrazione di gas serra. In secondo luogo, sono stati presi in considerazione i dati a partire da 65 milioni di anni fa fino ai giorni nostri; queste analisi hanno dimostrato che nel caso in cui le concentrazioni di anidride carbonica raggiungano un livello compreso tra 350 e 550 ppm si entrerebbe una vera zona di pericolo, il superamento di questa soglia infatti rischia di portare alla vera e propria scomparsa di intere lastre di ghiaccio nella zona polare. Infine, si può notare già negli ultimi decenni un movimento di alcuni sottosistemi che si spostano rispetto alla loro posizione stabile; questo fenomeno comporta, tra le differenti conseguenze, la riduzione della massa delle calotte glaciali presenti attualmente nell'Antartide occidentale e in Groenlandia, l'aumento rapido del livello del mare che si è verificato negli ultimi due decenni e un incremento delle possibili grandi inondazioni (Rockstrom; 2009).

1.3 L'ACIDIFICAZIONE DEGLI OCEANI

Attualmente gli oceani e la biodiversità marina al loro interno si trovano di fronte a numerose sfide e differenti problematiche; una grande quantità di carbonio viene assorbita attualmente dai moltissimi organismi marini, inoltre la CO₂ si dissolve, in maniera non omogenea né dal punto di vista spaziale né da quello temporale, negli oceani. Quest'ultimo fenomeno comporta un aumento dell'acidità degli oceani, in quanto viene abbassato il pH delle acque marine che si trovano più in superficie. Confrontando il dato attuale con quello precedente all'epoca industriale si può notare una diminuzione di 0,1 unità di pH (Rockstrom; 2009).

Questa acidificazione ha degli effetti diretti sugli organismi marini, in particolare sulle specie che riescono a creare i propri gusci protettivi grazie agli ioni di carbonato diffusi e sciolti nell'acqua (Rockstrom; 2009). Nel processo di creazione dei gusci producono carbonato di calcio in forme differenti, quella di aragonite, quella di calcite e quella di calcite ad alto contenuto di magnesio. Ognuna di queste forme, nonostante presentino delle caratteristiche differenti, è influenzata dagli ioni carbonato e dalla loro concentrazione in quanto è quest'ultima a determinare la saturazione del minerale nell'acqua dei mari (Rockstrom; 2009).

Se si analizza il caso specifico del livello di saturazione dell'aragonite si può notare come su scala globale si stia riducendo con l'incrementarsi dell'acidità degli oceani. La diminuzione della presenza di aragonite e di organismi marini in grado di produrla ha

delle conseguenze importanti e incerte nell'equilibrio degli ecosistemi marini (Rockstrom; 2009).

L'acidificazione degli oceani inoltre può avere un impatto rilevante sulle barriere coralline, modificando la composizione degli organismi che sono associati a queste zone e il loro equilibrio; questi impatti sono dovuti anche all'azione del riscaldamento globale che insieme all'acidificazione degli oceani moltiplicano i fattori di stress e producono effetti non prevedibili (Rockstrom; 2009).

Il limite di questo confine planetario è stato fissato ad un livello di saturazione dell'aragonite pari almeno all'80% o più della media globale preindustriale dell'acqua di mare superficiale, in modo da permettere ai sistemi corallini di mantenere delle condizioni adeguate (Rockstrom; 2009).

1.4 OZONO STRATOSFERICO

L'ozono, un gas formato da tre atomi di ossigeno, è una componente fondamentale per la biodiversità presente sulla Terra. Nonostante sia un gas tossico per gli esseri viventi, esso ricopre un ruolo essenziale nella stratosfera al fine di garantire la vita stessa sulla terra. Questo gas è situato ad una altitudine di 15-35 km, si colloca quindi di preciso nella parte bassa della stratosfera. Il suo ruolo è quello di filtrare le radiazioni solari ultraviolette, proteggendo così gli esseri viventi dagli effetti negativi e dannosi di queste ultime (ISPRA; 2022).

Nel 1985 gli scienziati hanno osservato una forte diminuzione di questo gas all'interno della stratosfera antartica, definendo il fenomeno come "buco nell'ozono". Il superamento inaspettato di questa soglia ha comportato non solamente degli effetti dannosi per la salute umana ma anche un riscaldamento degli strati più bassi dell'atmosfera, dovuto alla riduzione della capacità di assorbimento di energia termica con un conseguente raffreddamento della stratosfera. La stratosfera antartica è stata modificata sia a causa di sostanze come i clorofluorocarburi, prodotte dall'uomo, che a causa delle nuvole della stratosfera polare. La formazione delle nuvole si pensa possa essere una delle conseguenze del riscaldamento globale, inoltre se queste si formassero anche nella regione artica ciò comporterebbe il rischio della creazione di buchi nell'ozono anche nell'emisfero settentrionale e nei continenti che esso ospita (ISPRA; 2022).

Negli studi di Rockström e del suo gruppo di lavoro si è deciso di definire i limiti del confine planetario considerando lo strato di ozono stratosferico extra polare, dal momento che, al contrario dei buchi che si formano nelle regioni polari i quali hanno un impatto locale, la riduzione dello strato di ozono nel resto del mondo andrebbe ad influenzare in maniera molto più evidente e rilevante l'umanità e gli ecosistemi. Il posizionamento di questo limite però non è chiaro, anzi risulta molto più incerto di quello fissato per il confine precedente ovvero per l'acidificazione degli oceani; in conclusione si è affermato che per non superare questo confine è necessario che i livelli di ozono non raggiungano un valore inferiore al 5% rispetto ai livelli registrati tra il 1964 e il 1980 (Rockstrom; 2009).

Il caso dell'ozono però è anche una dimostrazione di come un importante intervento e sforzo da parte di tutta l'umanità possa permetterci di rientrare all'interno dei limiti planetari. Grazie all'adozione del Protocollo di Montreal nel 1987 infatti si è riusciti a proibire il consumo di CFC e altre sostanze alogenate in molti paesi industrializzati, nel 2005 le percentuali di gas inquinanti responsabili della riduzione dello strato di ozono erano diminuite di 8-9 punti percentuali rispetto agli anni 1992-1994 durante i quali era stato registrato il picco più alto. Le previsioni però annunciano che per ristabilire la situazione che caratterizzava il globo prima dell'avvento del buco dell'ozono sarà necessario ancora parecchio tempo; se gli obiettivi e gli impegni annunciati nel Protocollo verranno mantenuti, a partire dal 2060 circa, si potrebbe completare il riassetto dello strato di ozono (ISPRA; 2022).

1.5 LO SFRUTTAMENTO DEL SUOLO

Lo sfruttamento del suolo è un confine legato principalmente al settore dell'agricoltura, alla sua espansione e intensificazione. Quest'ultimo infatti è un settore estremamente dannoso per l'ambiente in quanto per incrementare il numero di terreni dedicati a questa attività è necessario eliminare intere foreste assieme a differenti ecosistemi e alle loro funzioni; negli ultimi 50 anni la superficie terrestre trasformata in terreni dedicati all'agricoltura è aumentata dello 0,8% annuo, tutto ciò significa che una conversione ulteriore rischierebbe di minacciare la biodiversità totale, il funzionamento del sistema climatico e del ciclo idrologico della Terra stessa, comportando danni a livello globale. La soglia legata a questo tipo di confine prevede che la percentuale di terra coltivata,

rispetto alla superficie globale senza considerare le aree composte da ghiaccio, non superi il 15% del totale (Rockstrom; 2009).

1.6 LA PERDITA DELLA BIODIVERSITÀ

Un altro confine per cui risulta molto difficile stabilire un limite preciso è la perdita di biodiversità, dal momento che attualmente l'umanità non è ancora riuscita a definire una soglia che permetta di includere il ruolo regolatore che attualmente svolge la biodiversità. Tuttavia la biodiversità risulta un fattore estremamente importante, per questo motivo viene incluso nei nove limiti planetari; ciascuna specie ricopre un ruolo differente all'interno dei vari ecosistemi, perciò i cambiamenti che si stanno verificando nella biodiversità possono creare degli effetti inaspettati che modificano il funzionamento degli ecosistemi all'interno del globo, ad esempio può aumentarne la vulnerabilità a fenomeni quali il riscaldamento terrestre o l'acidità degli oceani (Rockstrom; 2009).

In passato si erano già verificati eventi di estinzione, come ad esempio quella dei dinosauri, o l'arrivo di nuove forme di vita, come i mammiferi, che hanno modificato la composizione biotica il funzionamento degli ecosistemi; la perdita attuale e prevista per il futuro di biodiversità è quindi il sesto grande evento di estinzione che la Terra ha affrontato, ma è anche il primo ad essere causato dall'umanità (Rockstrom; 2009).

Attualmente l'accelerazione rilevata nella perdita di biodiversità è diventata particolarmente grave, il tasso di estinzione, infatti, ha superato ormai quello di specializzazione a livello globale; è proprio questo fattore a comportare i cambiamenti visibili all'interno della biodiversità (Rockstrom; 2009).

Questa situazione comporta conseguenze anche gravi dal momento che è stata provata la relazione stretta tra la biodiversità e gli ecosistemi, sia per quanto riguarda il loro funzionamento che i servizi proposti; infatti, tutti gli ecosistemi che presentano una scarsa diversità di risposta al loro interno sono più sensibili ai diversi disturbi in cui possono imbattersi; per questo motivo la presenza di numero elevato di specie o meno influisce anche sulle risposte che gli ecosistemi possono attuare in caso di cambiamenti delle condizioni sia fisiche che biotiche (Rockstrom; 2009).

Negli ultimi secoli il tasso di estinzione delle specie è aumentato di 100-1.000 volte rispetto ai ritmi tipici della Terra in passato, questo incremento inoltre tenderà ad aumentare ancora di almeno 10 volte secondo le previsioni effettuate. Inoltre vi è stato

anche un importante cambiamento a livello geografico, se la maggioranza delle specie che tenevano a estinguersi in passato, nello specifico fino al 1500, era concentrata nelle isole oceaniche, a partire dalla fine degli anni 80 e l'inizio degli anni 90 invece oltre la metà delle estinzioni è avvenuta in un solo continente dimostrando ulteriormente come la biodiversità sia a rischio ovunque in particolar modo a causa di fenomeni come il cambiamento del clima e dell'uso del suolo (Rockstrom; 2009).

Al giorno d'oggi circa l'8% delle specie totali di animali riconosciute si è estinto mentre il 22% è a rischio di estinzione. Il Red List Index, che si occupa di monitorare tutte le specie viventi, ha affermato che il dato legato al rischio di estinzione negli ultimi 25 anni ha subito un peggioramento del 10%, come si può notare osservando il grafico proposto nella Figura 2 (Minucci; 2020).

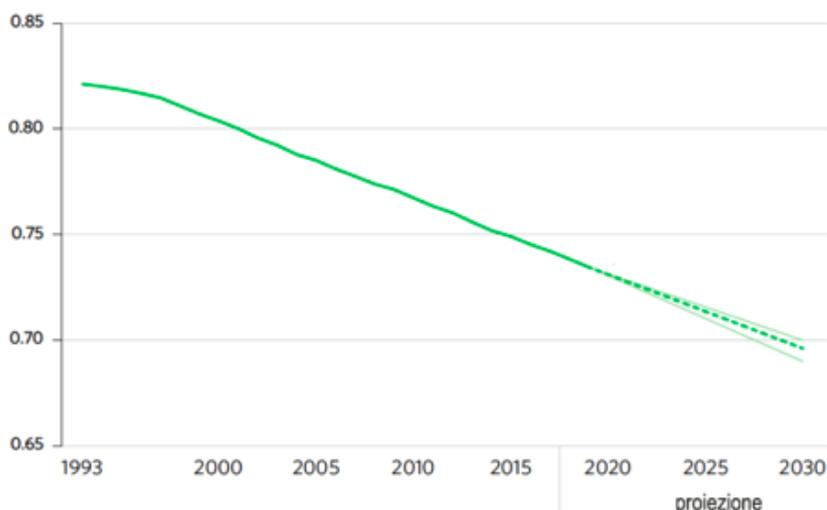


Figura 2: Perdita della biodiversità. Fonte "Agenda 2030-Goal 15: La vita sulla terra" di S. Minucci (Tradotto da The Sustainable Development Goals Report 2019)

Nella Figura 3 inoltre possiamo osservare il Red List Index (RLI) della sopravvivenza per differenti specie: mammiferi, anfibi, uccelli, cicadee presenti nella barriera corallina e coralli (Minucci; 2020).

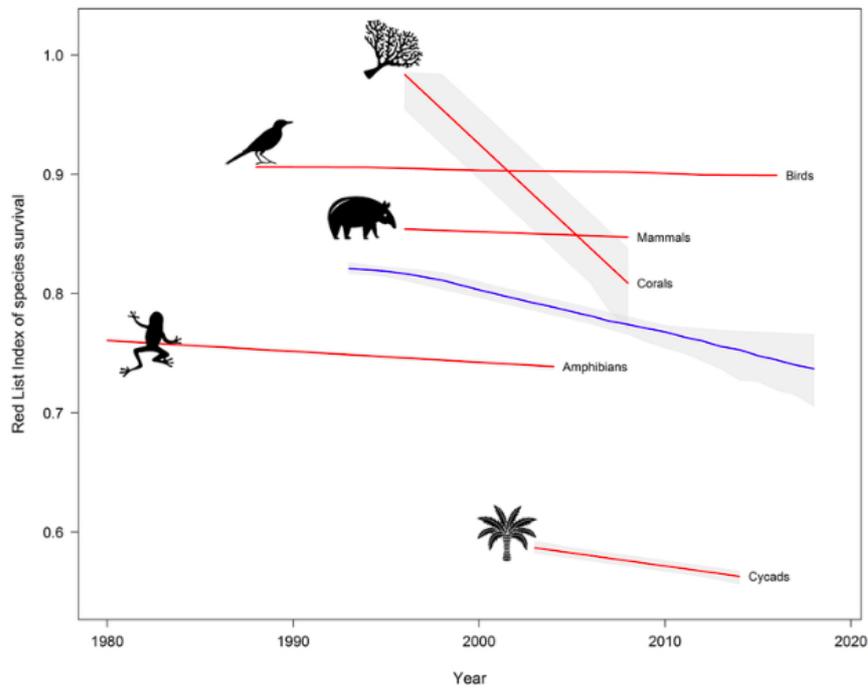


Figura 3: Red List Index

Le specie di corallo sembrano muoversi più velocemente rispetto alle altre verso l'estinzione, mentre per quanto riguarda gli animali, gli anfibi attualmente sono i più minacciati. Osservando la linea blu invece si può notare tutti i taxa combinati. Quando il valore RLI corrisponde a 0 allora indica le specie ormai estinte, mentre un valore uguale a 1,0 si riferisce alle specie che per il momento non rischiano di estinguersi (Minucci; 2020).

Nella Figura 4 vengono riportati due grafici, il primo nel quale vengono rappresentate le specie vegetali minacciate e il secondo nel quale vengono rappresentate quelle animali (Minucci; 2020).

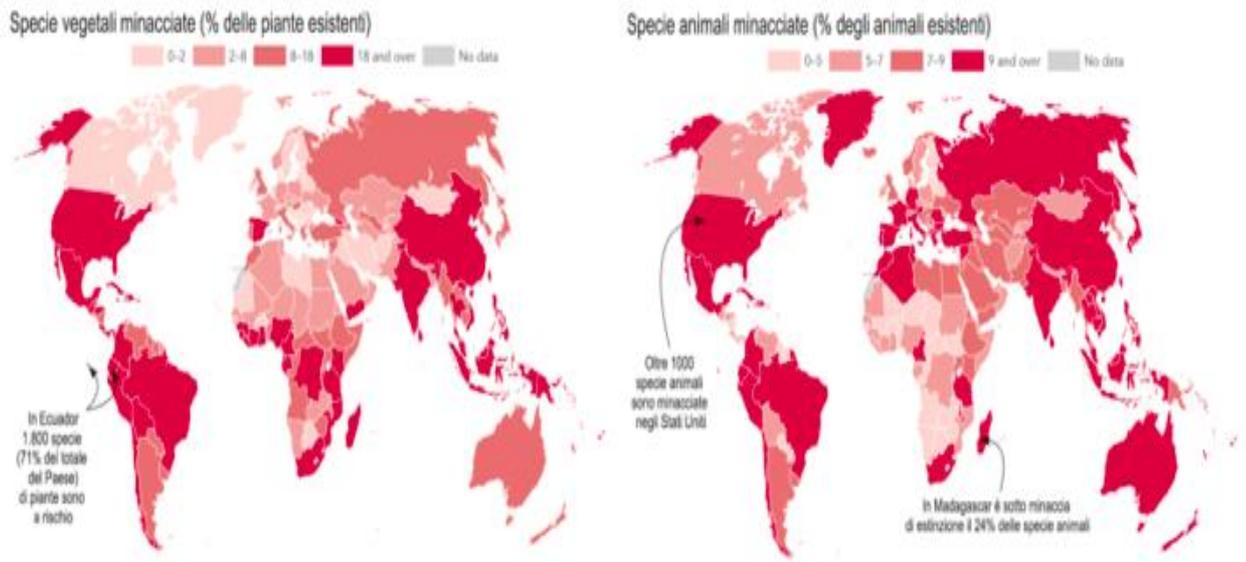


Figura 4: Specie animali e vegetali minacciate. Fonte "Agenda 2030-Goal 15: La vita sulla terra" di S. Minucci

1.7 IL CARICO DI AEROSOL

Il carico di aerosol è considerato un possibile confine planetario principalmente per due ragioni differenti ovvero per la sua influenza sul sistema climatico e per gli effetti che questa sostanza ha direttamente sulla salute umana. Le conseguenze negative legate al raddoppiamento di questa sostanza, avvenuto a partire dall'era preindustriale, sono molteplici. Innanzitutto, l'aerosol ha una importante rilevanza nel determinare le radiazioni che entrano dallo spazio, inoltre può intervenire nel ciclo idrologico, modificando in questo modo tutti i processi che permettono le precipitazioni delle nuvole (Rockstrom; 2009).

Per quanto riguarda i rischi per la salute umana, l'aumento del carico di aerosol e l'inquinamento atmosferico che esso provoca comportano una perdita annuale di circa 6,4 milioni di anni di vita in quanto gli effetti di questo fenomeno comportano all'incirca 800.000 morti premature (Rockstrom; 2009).

Infine, il particolato, gli ossidi di zolfo e azoto e gli altri elementi che compongono l'aerosol comportano altre conseguenze dannose come la scomparsa di moltissime specie di pesci e altri animali marini a causa del fenomeno delle piogge acide o la degradazione di campi dedicati alle colture oltre alla modifica dei modelli di precipitazione che governano il mondo (Rockstrom; 2009).

Per questo confine però risulta difficilissimo stabilire un limite in quanto il numero di particelle coinvolte risulta elevatissimo oltre al fatto che vi sono differenti fonti, impatti e dinamiche sia dal punto di vista spaziale che temporale ancora difficili da spiegare del tutto (Rockstrom; 2009).

1.8 INQUINAMENTO CHIMICO

Quando si parla di inquinamento chimico ci si riferisce all'inquinamento legato a tutta una serie di metalli pesanti, di composti organici e di elementi radioattivi (Rockstrom; 2009).

L'inquinamento chimico deve essere considerato uno dei confini planetari dal momento che la sua azione influenza il modo di funzionare della Terra stessa, sia grazie al suo impatto sullo sviluppo fisiologico e sugli ecosistemi, sulla loro struttura e sul loro funzionamento, che influenzando tutti gli altri confini planetari dal momento che agisce anche come variabile lenta. Le conseguenze dannose dell'inquinamento chimico sugli esseri umani e la biodiversità si possono riconoscere su diversi livelli di scala, locale, regionale, globale. In concreto una delle azioni più visibili di questo fenomeno è la riduzione di vulnerabilità per differenti organismi e l'estinzione di una parte delle specie appartenenti a differenti ecosistemi, oltre all'incremento di processi come il cambiamento climatico (Rockstrom; 2009). Quest'ultimo viene influenzato dall'inquinamento chimico tramite il rilascio di sostanze come il mercurio derivanti dalla combustione del carbone, inoltre una grandissima quantità di anidride carbonica viene prodotta dalla creazione di prodotti chimici industriali che rilasciano questa sostanza nel momento cui vengono inceneriti o degradati (Rockstrom; 2009).

Per potere stabilire una soglia definitiva per questo confine sarebbe necessario analizzare e conoscere un numero elevatissimo di sostanze chimiche assieme all'impatto che esse hanno su tutti gli organismi e gli esseri umani, oltre al livello specifico nel quale questi effetti tendono a presentarsi. Inoltre tutti questi effetti dannosi potrebbero essere prodotti non solo dall'esposizione diretta a queste sostanze, bensì anche dal fenomeno del bioaccumulo, tramite il quale le sostanze inquinanti si accumulano all'interno di un organismo e della biomagnificazione lungo le catene alimentari, che può essere spiegata tramite un esempio: se un organismo di zooplancton assorbe un atomo di mercurio, un essere più grande, come un pesce, che si nutrirà di dieci organismi di zooplancton

assorbirà a sua volta dieci atomi di mercurio e così via fino ad arrivare ai predatori più grandi (Rockstrom; 2009).

Data la presenza di un numero elevatissimo di sostanze chimiche attualmente sul mercato, risulta pressoché impossibile riuscire a misurarle tutte, ciò allontana ulteriormente la possibilità di identificare una soglia precisa per questo confine, oltre al fatto che nonostante siano stati avviati degli studi su alcune di queste sostanze, l'attuale conoscenza sugli effetti combinati rimane estremamente limitata (Rockstrom; 2009).

Nel tentativo di identificare una soglia si possono comunque prendere in considerazione due differenti approcci. Il primo di questi si basa sullo studio delle sostanze chimiche inquinanti che riescono a spostarsi anche a lunghe distanze, soprattutto si concentra su quelle sostanze che hanno effetti significativi sugli organismi a livello globale. Al contrario il secondo approccio si concentra sull'identificare gli effetti di questo tipo di inquinamento sugli esseri viventi nel lungo periodo. In conclusione, una soglia per questo confine può necessitare di uno studio approfondito su tutti i sotto-limiti delle sostanze chimiche e le loro interazioni con il limite planetario dell'aerosol. Attualmente però non è possibile unirli in un solo limite completo (Rockstrom; 2009).

1.9 I CICLI GLOBALI DEL FOSFORO E DELL'AZOTO

Rockström ed i suoi colleghi hanno considerato il fosforo e l'azoto come due indicatori fondamentali in quanto entrambi possono causare, nei sottosistemi della terra, cambiamenti rapidi ed improvvisi.

Il fosforo è un minerale fossile finito. Questo minerale viene estratto dall'uomo per differenti utilizzi, è ad esempio un componente molto diffuso tra i fertilizzanti e concimi dal momento che permette di incrementare la capacità di rendimento delle colture, può però diventare un elemento pericoloso in quanto la gran parte di esso non viene assorbita dalle piante ma al contrario finisce per accumularsi nel suolo, nei fiumi, nei laghi e sulle coste (Spagnolo; 2018). Nello specifico, prendendo in considerazione il caso degli oceani, superata una determinata soglia, l'afflusso di fosforo che si ritrova in questo ecosistema, è stato individuato come la principale causa di alcune estinzioni di massa della vita marina avvenute in passato e degli eventi anossici, ovvero di situazioni che si realizzano quando le acque marine e oceaniche si trovano in situazioni caratterizzate da una forte scarsità o

O₂ o addirittura dalla sua assenza totale, negli strati appena sotto la superficie (Rockstrom; 2009).

L'azoto invece è uno degli elementi naturalmente presenti nell'ambiente, costituisce infatti fino al 78% dell'atmosfera terrestre; in questa sua forma esso è innocuo e inerte, non danneggia quindi l'ambiente o la salute umana. Al contrario, diventa un elemento pericoloso quando assume la sua forma reattiva (Rockstrom; 2009). Quest'ultima può essere causata sia da fonti naturali, come l'azione di fulmini, gli incendi o le emissioni vulcaniche, sia da fonti derivanti da azioni umane tra cui possiamo trovare la produzione di massa di fertilizzanti e la combustione di carburanti fossili. Le attività umane attualmente sono le principali cause della trasformazione dell'azoto nell'atmosfera in forme reattive, la quantità di azoto convertita da questi processi infatti supera quella di tutte le altre attività sommate tra loro (Rockstrom; 2009).

La quantità prodotta di azoto è legata alla temperatura di combustione e alla velocità di raffreddamento dei gas prodotti, maggiori saranno questi valori, più alta sarà la quantità di azoto prodotta. Altre fonti importanti sono gli impianti termici e le centrali termoelettriche, nonostante le quantità emesse in queste situazioni siano più contenute, dal momento che le temperature di fiamma raggiunte durante la combustione sono decisamente più basse di quelle raggiunte, ad esempio, dai motori degli autoveicoli. Si può quindi riassumere i diversi modi in cui la quantità di azoto è trasformata dalle attività umane in quattro processi: la fissazione industriale di azoto atmosferico in ammoniaca, quella agricola tramite la coltivazione di leguminose, la combustione di biomassa e quella di combustibili fossili (Rockstrom; 2009).

Negli ultimi anni le emissioni sono aumentate notevolmente, soprattutto a causa dell'aumento del traffico aereo, comportando un incremento dei livelli di concentrazione nelle aree urbane. L'azoto reattivo si accumula nel suolo, nell'atmosfera e nelle acque costiere oceaniche, contribuendo allo smog, all'effetto serra e alle piogge acide, inoltre, causa un impoverimento del terreno per la perdita di magnesio, sodio e potassio. Infine, gli ossidi di azoto e i loro derivati possono danneggiare anche edifici e monumenti, causandone un invecchiamento accelerato (Ministero Transazione Ecologica). A livello globale l'azoto agisce anche come variabile lenta, la quale incrementa l'erosione di alcuni sottosistemi terrestri.

L'interferenza delle attività dell'uomo sui cicli di azoto e fosforo sia a livello globale che a livello regionale ha comportato dei cambiamenti rapidi e delle conseguenze rilevanti sia

nei laghi che negli ecosistemi marini. Secondo uno studio dell'Università del Nebraska, 1,62 milioni di tonnellate di fosforo vengono rilasciate ogni anno nei principali bacini di acqua dolce da parte delle attività umane su scala globale. Una delle principali conseguenze di questa forma di inquinamento è l'eutrofizzazione ovvero la presenza eccessiva di nutrienti all'interno dei corpi idrici coinvolti che causa la proliferazione di alghe; tutto ciò provoca un aumento della mortalità a causa della mancanza di ossigeno e di luce (Spagnolo; 2018). L'eutrofizzazione, legata agli aumenti dei flussi di azoto e fosforo, e la degradazione degli ecosistemi marini causata dall'umanità, ad esempio tramite la pesca eccessiva, sono le principali cause dei cambiamenti non lineari che si sviluppano nei sistemi non solo marini ma anche terrestri e acquatici. Inoltre, questi fattori influenzano il cambiamento climatico globale (Rockstrom; 2009).

1.10 L'USO GLOBALE DI ACQUA DOLCE

Il flusso fluviale, come anche il flusso di vapore, sono ormai dominati dagli esseri umani e dalle loro attività a livello non solo locale bensì globale. Interferire sul corso di questi cicli di acqua dolce comporta degli effetti, in molti casi dannosi, su tutta la biodiversità, la capacità di resilienza degli ecosistemi differenti in tutto il mondo e per la sicurezza alimentare e sanitaria (Barba; 2013). Attualmente all'incirca il 25% di tutti i bacini fluviali al mondo secca ancora prima di arrivare ad uno sbocco negli oceani, ciò è dovuto allo sfruttamento massiccio dei bacini e delle acque dolci che si trovano all'interno (Rockstrom; 2009).

Tutto ciò comporta principalmente tre tipi di minacce per la sicurezza e sussistenza dell'umanità. La prima minaccia è legata ad una riduzione dell'acqua verde ovvero di tutte le risorse di umidità che si trovano nel suolo terrestre, come conseguenza dei fenomeni che comportando una deteriorazione del terreno, ad esempio la deforestazione (Rockstrom; 2009). La seconda riguarda invece l'approvvigionamento idrico umano, il quale è a forte rischio a causa dello sfruttamento e delle modifiche sia dei volumi che dei modelli di deflusso per quanto riguarda l'acqua blu. Infine, l'ultima minaccia è legata alla modifica dei modelli delle precipitazioni che sono influenzati dai flussi di acqua verde e dal feedback di umidità che da essi deriva (Rockstrom; 2009).

A livello globale è stato stimato che per garantire il regolare funzionamento degli ecosistemi acquatici è necessario utilizzare all'incirca il 20-25% dei flussi di acqua blu

tratta dai bacini fluviali, mentre l'acqua verde, in particolar modo il 90% dei suoi flussi, sono sfruttati per mantenere solidi i servizi ecosistemici critici (Rockstrom; 2009).

Rispettare la soglia legata a questo confine è necessario per evitare il collasso di alcuni sistemi lacustri a livello regionale, per garantire che i flussi di acqua verde continuino a generare un feedback sufficiente di umidità e per garantire fenomeni come la crescita della biomassa e la diversità biologica (Rockstrom; 2009). Fissare un limite preciso, che riesca a catturare la complessità di questo confine, però risulta complicato soprattutto dal momento che vi è una stretta relazione tra la terra e l'acqua. Il limite fissato da Rockström individua un limite di estrazione di acqua dolce, ovvero blue water, pari a 4000 km³ mentre per la green water il confine è fissato a 5000 km³ (Barba; 2013).

2. INTERAZIONE TRA I LIMITI PLANETARI

I confini planetari non agiscono solamente in maniera individuale, anzi spesso si combinano creando degli effetti non lineari ed incerti, inoltre a causa di queste interazioni ed influenze un confine rischia di essere influenzato da altri, provocando uno spostamento della soglia del limite stesso. Tutte le soglie analizzate in precedenza infatti restano valide solamente nel caso in cui nessun altro confine sia superato. Uno degli aspetti più imprevedibili sono le variabili lente che attualmente non posseggono delle soglie globali affermate, queste infatti possono portare ad una modifica stessa di altri confini con soglie definite quando raggiungono il loro livello limite. Analizzando le interazioni, inoltre si può affermare che queste tendono maggiormente a ridurre i confini anziché espanderli portando ad una riduzione dello spazio di manovra dell'umanità.

Nella Figura 5 possiamo osservare i limiti planetari, la zona verde rappresentata indica lo spazio all'interno del quale si può operare in maniera sicura, le zone rosse invece servono ad indicare una stima della posizione di ciascuna variabile attualmente. Possiamo quindi notare come i limiti di ben tre sistemi siano già stati superati, ovvero i confini riguardanti la perdita di biodiversità, il cambiamento climatico e il ciclo di azoto (Rockstrom; 2009).

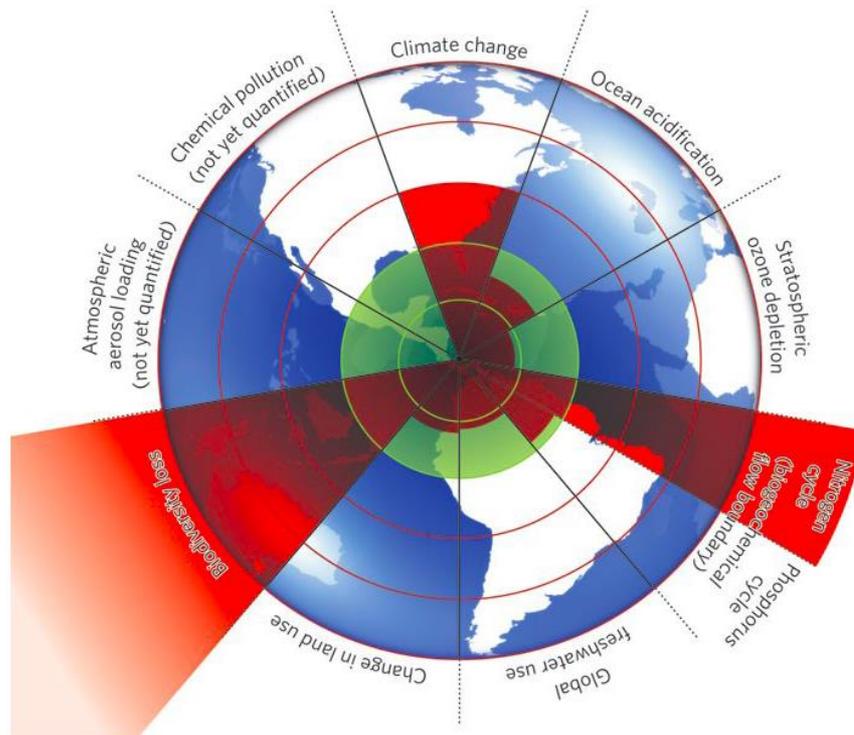


Figura 5: Limiti planetari. Fonte Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. et al. A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475 (2009). <https://doi.org/10.1038/461472a>

3. A GOOD LIFE FOR ALL WITHIN PLANETARY BOUNDARIES

Lo studio “A Good Life For All Within Planetary Boundaries” pubblicato nel 2018 dall’Università di Leeds riprende l’idea di limite planetario proposta da Rockström, modificando alcuni dei confini da lui presi in considerazione. In questo studio, infatti, i limiti proposti sono solamente sette: le emissioni di CO₂, il fosforo, l’azoto, le acque blu, l’eHANPP, l’impronta ecologica e l’impronta materiale. Rispetto ai nove limiti proposti da Rockström vi sono quindi delle modifiche, lo studio, ad esempio, ha diviso il confine dei cicli di azoto e fosforo, prendendo in considerazione i due elementi in maniera separata. La novità più importante risulta però l’introduzione dell’impronta materiale, di quella ecologica e dell’eHANPP mentre le emissioni di CO₂ assieme all’acqua blu, all’azoto e al fosforo sono già state presentate negli studi di Rockström.

L' eHANPP ovvero l' "HANPP incorporato" è legato al concetto di HANPP, il quale indica l' appropriazione umana della produzione primaria netta, in quanto è una misura di questo indicatore relativa però alla produzione dei beni che vengono consumati all' interno dei confini di uno stato. L' eHANPP di un paese viene calcolato semplicemente sommando all' HANPP di uno stato l' HANPP dei prodotti importanti all' interno di quel paese e sottraendo quello legato ai prodotti che, al contrario, vengono esportati (Haberl et al.; 2012). La differenza tra i due indicatori è quindi strettamente legata al settore del commercio, non considerato dall' HANPP, il quale si riferisce unicamente alle conseguenze legate all' uso del suolo senza includere il terreno utilizzato, al di fuori dei confini della nazione presa in considerazione, per produrre tutti i beni che sono stati importati o sottrarre la quota di territorio sfruttata per la produzione dei beni esportati (Haberl et al.; 2012).

L' impronta materiale, invece, viene utilizzata per calcolare la quantità di materiale prime utilizzata al fine di riuscire a soddisfare la domanda di consumo finale. Tramite questo indicatore possiamo quindi rilevare le pressioni esercitate sull' ambiente in modo da riuscire, da un lato, a sostenere la crescita economica e dall' altro a soddisfare i differenti bisogni materiali dell' umanità (Minucci; 2020). L' impronta materiale totale viene calcolata sommando l' impronta materiale della biomassa, dei combustibili fossili, dei materiali metallici e dei minerali non metallici (Minucci; 2020). A partire dall' anno 2000 si è verificata una forte accelerazione per quanto riguarda il tasso di estrazione, nell' arco di circa 30 anni (dal 1990 al 2017) è stato infatti rilevato un aumento del 70%. Tramite il processo di calcolo dell' impronta materiale possiamo inoltre notare una vasta differenza tra i paesi ad alto reddito e quelli a basso reddito (Minucci; 2020).

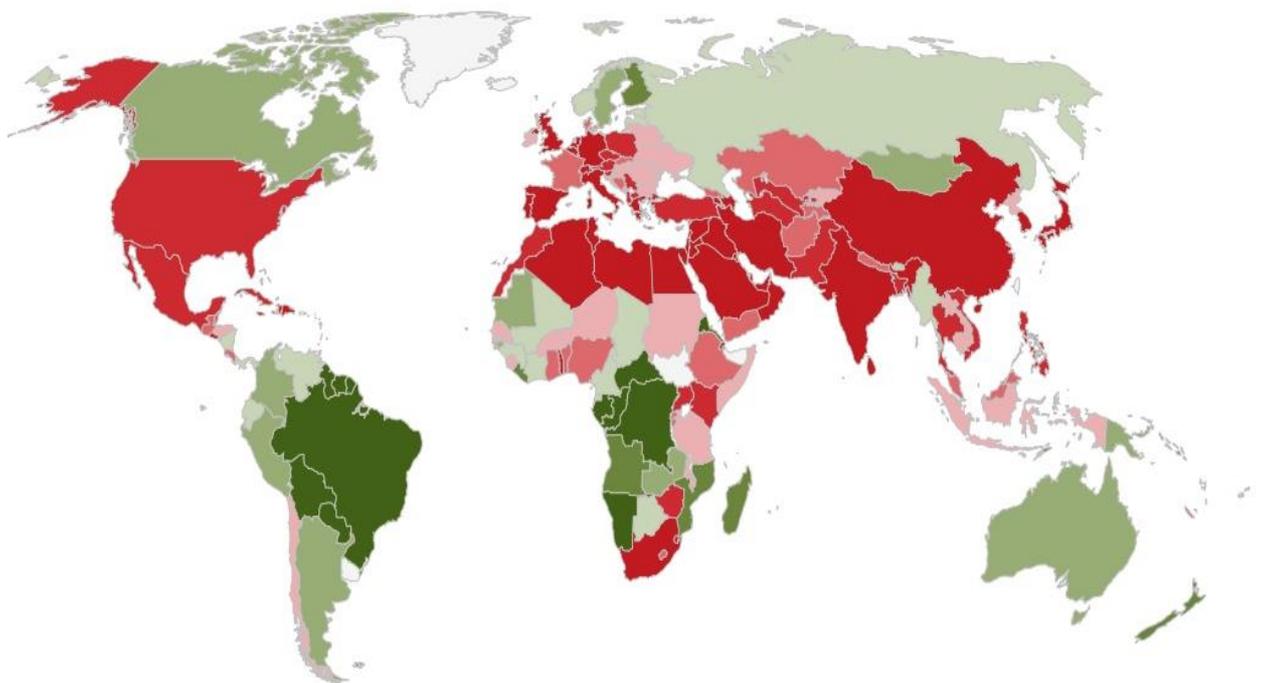
Infine, vi è l' impronta ecologica, tramite questo indicatore viene calcolata la quantità di superficie naturale necessaria al fine di rigenerare le risorse consumate e riuscire a riassorbire i rifiuti prodotti. In questo modo diventa possibile stimare quanti pianeta terra servirebbero per sostenere l' intera umanità se il nostro stile di vita non dovesse cambiare (Global Footprint Network; 2021).

Questo indice misura quindi la sostenibilità, ovvero, la capacità di una popolazione di sostenersi nel presente, senza però influenzare negativamente la sua capacità di vita futura (Lim; 2022).

L'impronta ecologica, quindi, traccia l'uso di tutte le superfici produttive, ovvero, considera, i pascoli, le zone di pesca, i terreni edificati e quelli coltivati, le aree forestali ed infine la domanda di carbonio (Global Footprint Network; 2021).

L'impronta ecologica può essere calcolata tramite la misurazione diretta dei consumi personali oppure familiare o in alternativa ricavando il consumo individuale pro capite medio a partire da dati statistici regionali o nazionali che vengono successivamente divisi per il numero degli abitanti. Inoltre, studia ed identifica la quantità di acqua e di terra che permette alla popolazione di mantenersi. La misurazione dell'impronta ecologica deve quindi tener conto di tutte le risorse necessarie all'umanità per poter produrre i propri beni e di quelle necessarie al fine di riuscire ad "assimilare" i propri rifiuti (Lim; 2022).

Il Global Footprint Network col la collaborazione dell'Università di York e del FODAF ovvero il Footprint Data Foundation, si occupa di studiare l'impronta ecologica e ha prodotto una mappa del mondo, riportata nella figura 6, all'interno della quale i singoli stati vengono divisi in creditori e debitori in rapporto alla biocapacità del territorio. Vengono indicati in verde i paesi "creditori", ovvero i paesi dove la biocapacità di quel territorio supera l'impronta ecologica e in rosso i paesi "debitori" in quanto la loro impronta è notevolmente superiore rispetto alla biocapacità di quella zona (Global Footprint Network; 2021)



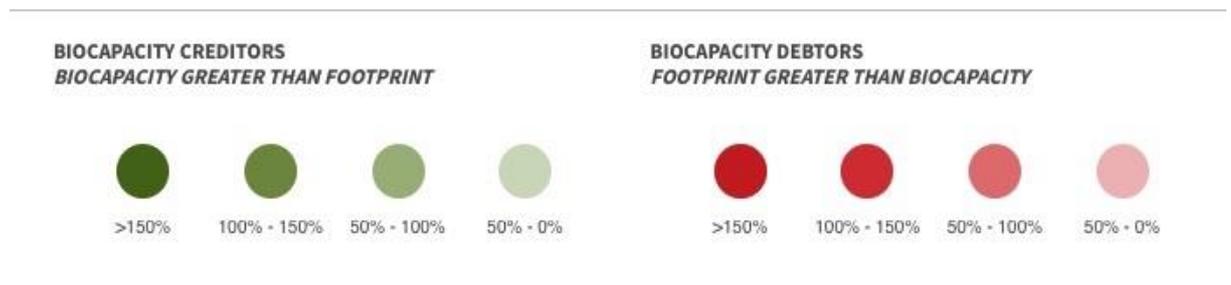


Figura 6: Paesi creditori e paesi debitori rispetto alla biocapacità. Fonte <https://data.footprintnetwork.org/#/>

Tra i paesi debitori si trovano, ad esempio, l'Arabia Saudita, l'Iraq, l'Italia, la Svizzera, l'India, gli Stati Uniti ed il Sud Africa, mentre tra i paesi creditori possiamo notare la Russia, l'Estonia, l'Australia, il Canada e il Brasile.

Il Global Footprint Network ha poi analizzato anche l'impronta ecologica globale e la biodiversità totale, affermando che, per quanto riguarda i paesi con l'impronta ecologica più elevata, troviamo ai primi posti: Cina, Stati Uniti, India, Russia e Giappone; mentre per quanto riguarda la biocapacità, i paesi che presentano un livello più elevato sono in ordine: Brasile, Cina, Stati Uniti, Russia e India (Global Footprint Network; 2021)

Inoltre il Global Footprint Network ha riportato graficamente l'evolversi tramite il tempo, a partire dal 1961 fino ad arrivare al 2017, il confronto tra l'impronta ecologica e la biocapacità sia al livello globale, come riportato nella figura 7, che per aree più ristrette; nella figura 8, ad esempio, è analizzato il caso dell'Europa (Global Footprint Network; 2021).

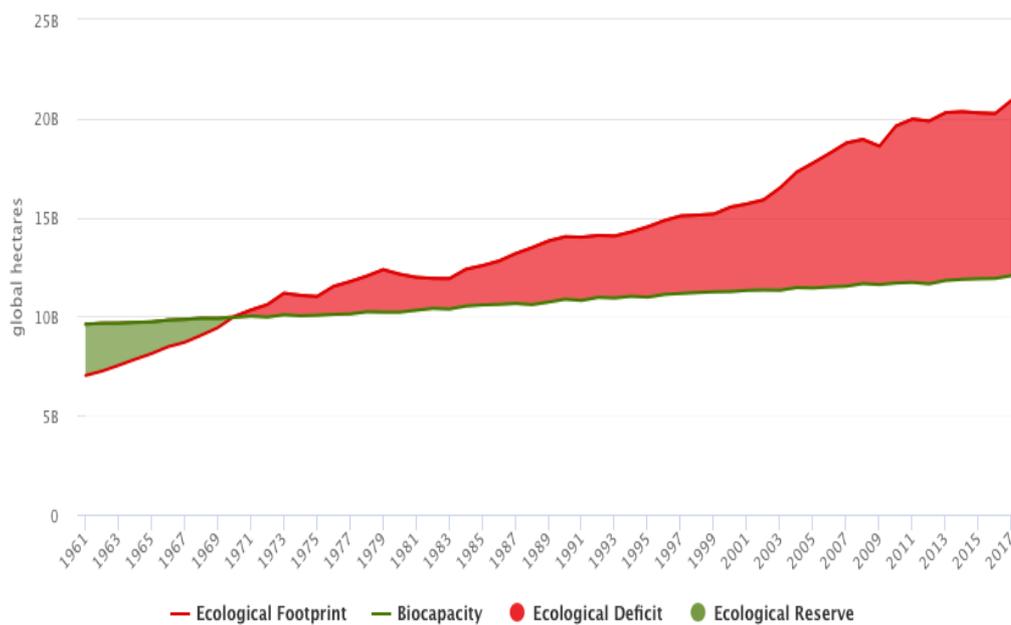


Figura 7: Impronta ecologica vs Biocapacità a livello mondiale. Fonte: National Footprint and Biocapacity Accounts 2021 Edition

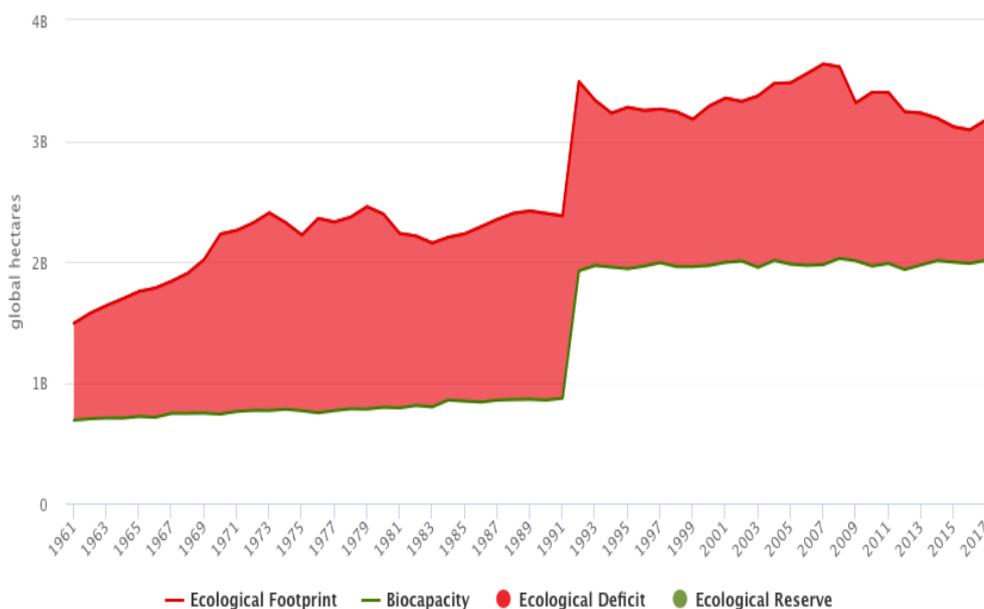


Figura 8: Impronta ecologica vs Biocapacità in Europa. Fonte: National Footprint and Biocapacity Accounts 2021 Edition

Analizzando i due grafici appena presentati potremmo notare che le zone geografiche prese in considerazione si trovano in una situazione di deficit ecologico quando il grafico risulta rosso, in questo caso infatti la linea rappresentate l'impronta ecologica sarà collocata all'interno del grafico in una posizione superiore rispetto alla linea verde ovvero la linea rappresentante la biocapacità della stessa zona presa in considerazione.

Tra le zone analizzate nel dettaglio, solamente l'Oceania e l'America Latina hanno mantenuto nel corso della storia un livello di impronta ecologica notevolmente inferiore rispetto a quello della loro biocapacità, mentre l'Europa e il Nord America hanno sempre avuto una situazione, a partire dal 1961, di deficit ecologico.

Dopo aver selezionato i differenti indicatori, lo studio ha calcolato per ciascuno di essi i limiti planetari da rispettare e il punteggio raggiunto da ciascuno dei 151 paesi analizzati.

| Biophysical Indicator | United Kingdom | France | USA | Spain | Argentina | South Africa | Italy | Per Capita Boundary |
|------------------------------|-----------------------|---------------|------------|--------------|------------------|---------------------|--------------|----------------------------|
| CO2 Emissions | 12,10 | 8,70 | 21,20 | 9,10 | 5,3 | 7,6 | 9,50 | 1,60 |
| Phosphorus | 5,20 | 7,20 | 7,00 | 6,10 | 1,1 | 1,4 | 4,80 | 0,90 |
| Nitrogen | 72,90 | 87,40 | 59,10 | 59,20 | 10 | 12 | 47,30 | 8,90 |
| Blue Water | 240,00 | 339,00 | 611,00 | 774,00 | 276 | 236 | 515,00 | 574,00 |
| eHANPP | 2,40 | 2,90 | 3,70 | 2,80 | 4,9 | 2,4 | 2,30 | 2,60 |
| Ecological Footprint | 4,20 | 4,20 | 6,80 | 3,40 | 2,8 | 2,5 | 4,20 | 1,70 |
| Material Footprint | 24,30 | 22,80 | 27,20 | 25,70 | 12,3 | 10,3 | 23,50 | 7,20 |

| Biophysical Indicator | China | Burundi | India |
|------------------------------|--------------|----------------|--------------|
| CO2 Emissions | 6,40 | 0,20 | 1,70 |
| Phosphorus | 2,70 | 0,10 | 0,60 |
| Nitrogen | 25,70 | 1,60 | 6,90 |
| Blue Water | 308,00 | 31,00 | 520,00 |
| eHANPP | 1,00 | 2,20 | 1,00 |
| Ecological Footprint | 2,50 | 0,80 | 0,90 |
| Material Footprint | 12,30 | 1,60 | 3,60 |

Figura 9: Analisi dei limiti planetari per dieci paesi differenti

Nella figura 9 sono riportati i limiti planetari per ciascun indicatore e i dati relativi a ciascuno stato. Sono stati presi in considerazione in questa tabella solo alcuni paesi, in particolar modo, quattro paesi europei (la Gran Bretagna, la Francia, l'Italia e la Spagna), gli USA, l'Argentina, il Burundi, il Sud Africa, la Cina e l'India.

La maggior parte dei limiti, come possiamo osservare, è attualmente superata da quasi tutti i paesi analizzati. L'Italia, la Gran Bretagna e il Sud Africa superano cinque limiti su sette, ottenendo dei buoni risultati solamente nel settore dell'acqua blu e dell'eHANPP, la Francia e l'Argentina riescono a raggiungere gli obiettivi solamente nel campo dell'Acqua Blu e infine, gli Stati Uniti e la Spagna non riescono a rispettare nessun limite.

Al contrario, il Burundi, paese africano con caratteristiche differenti rispetto a quelli sopra analizzati, riesce a rientrare in tutti i campi, non vi è in questo caso il superamento di

nessun limite. La Cina e l'India invece, due paesi in fase di sviluppo, che stanno diventando sempre più importanti a livello globale, presentano una situazione ancora diversa. La Cina attualmente si trova in una situazione molto simile a quella dell'Italia, della Gran Bretagna e del Sud Africa, superando tutti i limiti ad eccezione di quelli dell'Acqua Blu e dell'eHANPP; l'India invece riesce ancora a rimanere entro i confini planetari in 6 indicatori su 7, l'unico ad essere superato, anche se non di molto, è la variabile dell'emissione di CO₂.

A livello globale però i paesi con i punteggi più alti per ciascun indicatore sono: il Qatar per quanto riguarda le emissioni di CO₂ con un punteggio di 33,5, la Nuova Zelanda nel settore del fosforo con 15,5, nel campo dell'azoto il record negativo è assegnato al Canada, 135 rispetto ad un limite di 8,90, successivamente troviamo il Turkmenistan per l'indicatore dell'Acqua Blu, la Bolivia per l'eHANPP, il Kuwait se consideriamo l'impronta ecologica e Singapore in relazione all'impronta materiale. Nella figura 10 possiamo trovare un elenco dei dieci paesi con il punteggio più alto per ciascun indicatore.

| CO2 Emissions | | Phosphorus | | Nitrogen | | Blue Water | |
|----------------------|------|---------------|------|-----------------|------|--------------|------|
| Qatar | 33,5 | New Zealand | 15,5 | Canada | 135 | Turkmenistan | 1815 |
| Singapore | 31 | Canada | 14,4 | Norway | 108 | Iran | 1446 |
| Kuwait | 29,4 | Australia | 8,6 | Finland | 96,3 | Egypt | 1298 |
| United Arab Emirates | 23,4 | Norway | 7,5 | Sweden | 95,1 | Libya | 1250 |
| United States | 21,2 | France | 7,2 | Lithuania | 92,3 | Tajikistan | 1037 |
| Australia | 19 | Lithuania | 7,2 | Ireland | 91,4 | Pakistan | 989 |
| Canada | 17,4 | United States | 7 | Latvia | 89,8 | Portugal | 975 |
| Norway | 17,2 | Kuwait | 6,8 | France | 87,4 | Kazakhstan | 943 |
| Saudi Arabia | 16,7 | Finland | 6,5 | Slovak Republic | 80,6 | Saudi Arabia | 938 |
| Finland | 14,7 | Latvia | 6,5 | Germany | 75,6 | Greece | 884 |

| eHANPP | | Ecological Footprint | | Material Footprint | |
|-----------------------|-----|----------------------|-----|----------------------|------|
| Bolivia | 9 | Kuwait | 8,9 | Singapore | 70 |
| Panama | 8,3 | Australia | 8,3 | Kuwait | 58,3 |
| Republic of the Congo | 8 | United Arab Emirates | 8,1 | United Arab Emirates | 54,8 |
| Niger | 7,1 | Qatar | 7 | Qatar | 48,1 |
| Australia | 7 | United States | 6,8 | Cyprus | 43,2 |
| Gabon | 6,8 | Canada | 6,6 | Norway | 39 |
| Angola | 6,5 | Sweden | 6,5 | Greece | 35,6 |
| Lao PDR | 5,7 | Bahrain | 6,2 | Australia | 34,8 |
| Canada | 5,5 | Trinidad and Tobago | 6 | Slovak Republic | 33,6 |
| Norway | 5,5 | Singapore | 5,9 | Canada | 32,3 |

Figura 10: Classifica dei paesi con il punteggio più alto per ciascun indicatore biofisico

A partire dai dati forniti dall'Università di Leeds è necessario compiere un ulteriore passaggio. Tale tesi fornirà un contributo rilevante in questo senso in quanto è stata calcolata la riduzione percentuale necessaria per ciascun paese al fine di riuscire a rientrare all'interno dei limiti planetari. Il dato in percentuale ovviamente sarà negativo in caso di paesi che attualmente non superano i limiti planetari in un determinato campo. Lo studio completo, effettuato per tutti i 151 paesi, verrà riportato nelle seguenti pagine.

| Biophysical Indicator | Afghanistan | Albania | Algeria | Angola | Argentina | Armenia | Australia | Austria | Azerbaijan | Bahrain | Bangladesh | Belarus | Belgium | Benin | Bolivia |
|---|-------------|---------|---------|--------|-----------|---------|-----------|---------|------------|---------|------------|---------|---------|---------|---------|
| CO2 Emissions | 0,1 | 2,6 | 2,1 | 1 | 5,3 | 2,7 | 19 | 12,4 | 4,5 | 13,3 | 0,4 | 10,7 | 0,6 | 1,4 | |
| Phosphorus | 0,1 | 2,1 | 1,1 | 0,2 | 1,1 | 2,1 | 8,6 | 5,5 | 1 | 1,2 | 0,2 | 3,8 | 0,2 | 0,4 | |
| Nitrogen | 1,2 | 27,6 | 2,5 | 1,7 | 10 | 25,3 | 49,3 | 70,3 | 11 | 15,1 | 3,8 | 47,2 | 1,9 | 3,2 | |
| Blue Water | | 542 | 326 | 58 | 276 | 507 | 516 | 261 | 497 | | 204 | 185 | 369 | 43 | 141 |
| eHANPP | 0,5 | 2,9 | 1,3 | 6,5 | 4,9 | 1,9 | 7 | 2,7 | 1,8 | 0,8 | 0,8 | 4,7 | 3 | 2,8 | 9 |
| Ecological Footprint | 0,6 | 2 | 1,6 | 0,9 | 2,8 | 1,9 | 8,3 | 5,1 | 1,9 | 6,2 | 0,7 | 3,7 | 5,8 | 1,2 | 2,7 |
| Material Footprint | 1,8 | 12,9 | 2,7 | 4 | 12,3 | 5,3 | 34,8 | 29,3 | 3,4 | 25,3 | 1,8 | 25,6 | 3,5 | 4,6 | |
| RIDUZIONE IN % NECESSARIA PER RISPETTARE I PRE CAPITA BOUNDARY | | | | | | | | | | | | | | | |
| Biophysical Indicator | Afghanistan | Albania | Algeria | Angola | Argentina | Armenia | Australia | Austria | Azerbaijan | Bahrain | Bangladesh | Belarus | Belgium | Benin | Bolivia |
| CO2 Emissions | -1500,0 | 38,5 | 23,8 | -60,0 | 69,8 | 40,7 | 91,6 | 87,1 | 64,4 | 88,0 | -300,0 | #DIV/0! | 85,0 | -166,7 | -14,3 |
| Phosphorus | -800,0 | 57,1 | 18,2 | -350,0 | 18,2 | 57,1 | 89,5 | 83,6 | 10,0 | 25,0 | -350,0 | #DIV/0! | 76,3 | -350,0 | -125,0 |
| Nitrogen | -641,7 | 67,8 | -256,0 | -423,5 | 11,0 | 64,8 | 81,9 | 87,3 | 19,1 | 41,1 | -134,2 | #DIV/0! | 81,1 | -388,4 | -178,1 |
| Blue Water | #DIV/0! | -5,9 | -76,1 | -889,7 | -108,0 | -13,2 | -11,2 | -119,9 | -15,5 | #DIV/0! | -181,4 | -210,3 | -55,6 | -1234,9 | -307,1 |
| eHANPP | -420,0 | 10,3 | -100,0 | 60,0 | 46,9 | -36,8 | 62,9 | 3,7 | -44,4 | -225,0 | -225,0 | 44,7 | 13,3 | 7,1 | 71,1 |
| Ecological Footprint | -183,3 | 15,0 | -6,3 | -88,9 | 39,3 | 10,5 | 79,5 | 66,7 | 10,5 | 72,6 | -142,9 | 54,1 | 70,7 | -41,7 | 37,0 |
| Material Footprint | -300,0 | 44,2 | -166,7 | -80,0 | 41,5 | -35,8 | 79,3 | 75,4 | -111,8 | 71,5 | -300,0 | #DIV/0! | 71,9 | -105,7 | -56,5 |
| MEDIA CONTANDO I VALORI NEGATIVI | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAESI | Afghanistan | Albania | Algeria | Angola | Argentina | Armenia | Australia | Austria | Azerbaijan | Bahrain | Bangladesh | Belarus | Belgium | Benin | Bolivia |
| | -640,8 | 32,4 | -80,4 | -261,7 | 17,0 | 12,5 | 67,6 | 40,6 | -9,7 | 12,2 | -233,3 | -37,2 | 49,0 | -322,9 | -81,8 |
| MEDIA SENZA I VALORI NEGATIVI | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAESI | Afghanistan | Albania | Algeria | Angola | Argentina | Armenia | Australia | Austria | Azerbaijan | Bahrain | Bangladesh | Belarus | Belgium | Benin | Bolivia |
| | | 38,8 | 21,0 | 60,0 | 37,8 | 43,3 | 80,8 | 67,3 | 26,0 | 59,6 | 49,4 | 66,4 | 7,1 | 54,1 | |

| Bosnia and Herzegovina | Botswana | Brazil | Bulgaria | Burkina Faso | Burundi | Cambodia | Cameroon | Canada | Central African Republic | Chad | Chile | China | Colombia | Republic of the Congo |
|------------------------|----------|--------|----------|--------------|---------|----------|----------|--------|--------------------------|---------|-------|--------|----------|-----------------------|
| 8,7 | 5,8 | 3 | 5,5 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 0,3 | 17,4 | 0,1 | 0,1 | 5 | 6,4 | 2,5 | 0,5 |
| 1,5 | 1,6 | 1,8 | 1 | 0,3 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 14,4 | 0,1 | 0,1 | 2,1 | 2,7 | 0,8 | 0,2 |
| 23,2 | 17,3 | 9,9 | 12,4 | 3,6 | 1,6 | 3,9 | 1 | 135 | 1,9 | 1,1 | 15,5 | 25,7 | 7,2 | 3,4 |
| 87 | 464 | 173 | 248 | 64 | 31 | 151 | 66 | 381 | 52 | 45 | 422 | 308 | 156 | 112 |
| 2,9 | 2,3 | 5 | 2,1 | 4,4 | 2,2 | 3,2 | 3,5 | 5,5 | 4,4 | 3,3 | 3,5 | 1 | 3,7 | 8 |
| 2,7 | 3,1 | 2,9 | 2,6 | 1,1 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 6,6 | 1,2 | 1,3 | 3,9 | 2,5 | 1,7 | 1 |
| 8,9 | 15,1 | 14,2 | 11,1 | 2,3 | 1,6 | 2,9 | 1,7 | 32,3 | 3,2 | 1,8 | 22,5 | 12,3 | 7,7 | 3,7 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Bosnia and Herzegovina | Botswana | Brazil | Bulgaria | Burkina Faso | Burundi | Cambodia | Cameroon | Canada | Central African Republic | Chad | Chile | China | Colombia | Republic of the Congo |
| 81,6 | 72,4 | 46,7 | 70,9 | -700,0 | -700,0 | -166,7 | -433,3 | 90,8 | -1500,0 | -1500,0 | 68,0 | 75,0 | 36,0 | -220,0 |
| 40,0 | 43,8 | 50,0 | 10,0 | -200,0 | -800,0 | -125,0 | -800,0 | 93,8 | -800,0 | -800,0 | 57,1 | 66,7 | -12,5 | -350,0 |
| 61,6 | 48,6 | 10,1 | 28,2 | -147,2 | -456,3 | -128,2 | -790,0 | 93,4 | -368,4 | -709,1 | 42,6 | 65,4 | -23,6 | -161,8 |
| -559,8 | -23,7 | -231,8 | -131,5 | -796,9 | -1751,6 | -280,1 | -769,7 | -50,7 | -1003,8 | -1175,6 | -36,0 | -86,4 | -267,9 | -412,5 |
| 10,3 | -13,0 | 48,0 | -23,8 | 40,9 | -18,2 | 18,8 | 25,7 | 52,7 | 40,9 | 21,2 | 25,7 | -160,0 | 29,7 | 67,5 |
| 37,0 | 45,2 | 41,4 | 34,6 | -54,5 | -112,5 | -54,5 | -54,5 | 74,2 | -41,7 | -30,8 | 56,4 | 32,0 | 0,0 | -70,0 |
| 19,1 | 52,3 | 49,3 | 35,1 | -213,0 | -350,0 | -148,3 | -323,5 | 77,7 | -125,0 | -300,0 | 68,0 | 41,5 | 6,5 | -94,6 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Bosnia and Herzegovina | Botswana | Brazil | Bulgaria | Burkina Faso | Burundi | Cambodia | Cameroon | Canada | Central African Republic | Chad | Chile | China | Colombia | Republic of the Congo |
| -44,3 | 32,2 | 2,0 | 3,4 | -295,8 | -598,4 | -126,3 | -449,3 | 61,7 | -542,6 | -642,0 | 40,3 | 4,9 | -33,1 | -177,3 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Bosnia and Herzegovina | Botswana | Brazil | Bulgaria | Burkina Faso | Burundi | Cambodia | Cameroon | Canada | Central African Republic | Chad | Chile | China | Colombia | Republic of the Congo |
| 41,6 | 52,4 | 40,9 | 35,8 | 40,9 | | 18,8 | 25,7 | 80,4 | 40,9 | 21,2 | 53,0 | 56,1 | 18,1 | 67,5 |

| Iraq | Ireland | Israel | Italy | Jamaica | Japan | Jordan | Kazakhstan | Kenya | South Korea | Kuwait | Kyrgyz Republic | Lao PDR | Latvia | Lebanon |
|---------|---------|--------|-------|---------|--------|--------|------------|--------|-------------|--------|-----------------|---------|--------|---------|
| 3.2 | 11.9 | 10.7 | 9.5 | 5.8 | 12.4 | 4.9 | 12.1 | 0.5 | 13.3 | 29.4 | 1.9 | 0.4 | 6.7 | 6.7 |
| 1.4 | 6.4 | 4.7 | 4.8 | 1 | 4.6 | 0.8 | 1.8 | 0.2 | 4.1 | 6.8 | 1.4 | 0.3 | 6.5 | 2 |
| 14.3 | 91.4 | 45.8 | 47.3 | 9.8 | 34.5 | 8.2 | 32.2 | 1.7 | 35.7 | 69.4 | 34.8 | 3.3 | 89.8 | 19.3 |
| 0.7 | 253 | 552 | 515 | 237 | 249 | 551 | 943 | 72 | 286 | 580 | 689 | 166 | 203 | 803 |
| | 4.6 | 1.6 | 2.3 | 2.7 | 1.6 | 1.1 | 5 | 2.3 | 1.9 | 1.6 | 2.1 | 5.7 | 4.5 | 1.7 |
| 1.6 | 4.6 | 4.7 | 4.2 | 1.7 | 3.8 | 1.5 | 5.6 | 1 | 4.5 | 8.9 | 1.4 | 1.2 | 5.6 | 3 |
| 5.8 | 30.4 | 22.3 | 23.5 | 11 | 28.5 | 8.4 | 16.9 | 3.2 | 25.2 | 58.3 | 9.7 | 3.9 | 16.3 | 18.7 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Iraq | Ireland | Israel | Italy | Jamaica | Japan | Jordan | Kazakhstan | Kenya | South Korea | Kuwait | Kyrgyz Republic | Lao PDR | Latvia | Lebanon |
| 50.0 | 86.6 | 85.0 | 83.2 | 72.4 | 87.1 | 67.3 | 86.8 | -220.0 | 88.0 | 94.6 | 15.8 | -300.0 | 76.1 | 76.1 |
| 35.7 | 85.9 | 80.9 | 81.3 | 10.0 | 80.4 | -12.5 | 50.0 | -350.0 | 78.0 | 86.8 | 35.7 | -200.0 | 86.2 | 55.0 |
| 37.8 | 90.3 | 80.6 | 81.2 | 9.2 | 74.2 | -8.5 | 72.4 | -423.5 | 75.1 | 87.2 | 74.4 | -169.7 | 90.1 | 53.9 |
| #DIV/0! | -126.9 | -4.0 | -11.5 | -142.2 | -130.5 | -4.2 | 39.1 | -697.2 | -100.7 | 1.0 | 16.7 | -245.8 | -182.8 | 28.5 |
| -271.4 | 43.5 | -62.5 | -13.0 | 3.7 | -62.5 | -136.4 | 48.0 | -13.0 | -36.8 | -62.5 | -23.8 | 54.4 | 42.2 | -52.9 |
| -6.3 | 63.0 | 63.8 | 59.5 | 0.0 | 55.3 | -13.3 | 69.6 | -70.0 | 62.2 | 80.9 | -21.4 | -41.7 | 69.6 | 43.3 |
| -24.1 | 76.3 | 67.7 | 69.4 | 34.5 | 74.7 | 14.3 | 57.4 | -125.0 | 71.4 | 87.7 | 25.8 | -84.6 | 55.8 | 61.5 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Iraq | Ireland | Israel | Italy | Jamaica | Japan | Jordan | Kazakhstan | Kenya | South Korea | Kuwait | Kyrgyz Republic | Lao PDR | Latvia | Lebanon |
| -29.7 | 45.5 | 44.5 | 50.0 | -1.8 | 25.5 | -13.3 | 60.5 | -271.3 | 33.9 | 53.7 | 17.6 | -141.1 | 33.9 | 37.9 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Iraq | Ireland | Israel | Italy | Jamaica | Japan | Jordan | Kazakhstan | Kenya | South Korea | Kuwait | Kyrgyz Republic | Lao PDR | Latvia | Lebanon |
| 41.2 | 74.3 | 75.6 | 74.9 | 21.6 | 74.3 | 40.8 | 60.5 | 60.5 | 74.9 | 73.0 | 33.7 | 54.4 | 70.0 | 53.1 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|-----------|-----------|------------|---------|----------|---------|------------|-----------|--------|---------|----------|---------|
| Lesotho | Liberia | Libya | Lithuania | Macedonia | Madagascar | Malawi | Malaysia | Mali | Mauritania | Mauritius | Mexico | Moldova | Mongolia | Morocco |
| 1,1 | 0,1 | 2,6 | 9,4 | 6,1 | 0,2 | 0,2 | 6,4 | 0,1 | 0,7 | 6,3 | 4,5 | 0,5 | 3,9 | 1,9 |
| 1,7 | 0,1 | 0,3 | 7,2 | 4,5 | 0,1 | 0,1 | 2 | 0,2 | 0,4 | 2,4 | 2,2 | 0,1 | 0,7 | 0,5 |
| 25,2 | 2,1 | 3,1 | 92,3 | 52 | 0,7 | 1 | 16,6 | 1,5 | 5,6 | 28,5 | 21,6 | 1,5 | 9,8 | 4 |
| 96 | 68 | 1250 | 174 | 244 | 36 | 344 | 321 | 321 | 334 | 650 | 438 | 379 | 230 | 520 |
| 2,8 | 3 | 0,5 | 4,7 | 2,8 | 1,8 | 5,4 | 3,6 | 3,2 | 3,7 | 1,8 | 2,7 | 2,5 | 4,3 | 1,6 |
| 1,1 | 1,1 | 2,2 | 4,4 | 2,7 | 0,9 | 0,7 | 2,9 | 1,5 | 2,1 | 3 | 2,4 | 1,7 | 4,5 | 1,5 |
| 4,5 | 0,7 | 4,8 | 28,4 | 13,5 | 0,9 | 1,3 | 21,5 | 5 | 2,6 | 22,5 | 10,1 | | 9,3 | 4 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Lesotho | Liberia | Libya | Lithuania | Macedonia | Madagascar | Malawi | Malaysia | Mali | Mauritania | Mauritius | Mexico | Moldova | Mongolia | Morocco |
| -45,5 | -1500,0 | 38,5 | 83,0 | 73,8 | -700,0 | -700,0 | 75,0 | -1500,0 | -128,6 | 74,6 | 64,4 | -220,0 | 59,0 | 15,8 |
| 47,1 | -800,0 | -200,0 | 87,5 | 80,0 | -800,0 | -800,0 | 55,0 | -350,0 | -125,0 | 62,5 | 59,1 | -800,0 | -28,6 | -80,0 |
| 64,7 | -323,8 | -187,1 | 90,4 | 82,9 | -790,0 | -790,0 | 46,4 | -493,3 | -58,9 | 68,8 | 58,8 | -493,3 | 9,2 | -122,5 |
| -497,9 | -744,1 | 54,1 | -229,9 | -135,2 | -1494,4 | -1494,4 | -66,9 | -78,8 | -71,9 | 11,7 | -31,1 | -51,5 | -149,6 | -10,4 |
| 7,1 | 13,3 | -420,0 | 44,7 | 7,1 | 51,9 | -44,4 | 27,8 | 18,8 | 29,7 | -44,4 | 3,7 | -4,0 | 39,5 | -62,5 |
| -54,5 | -54,5 | 22,7 | 61,4 | 37,0 | -88,9 | -142,9 | 41,4 | -13,3 | 19,0 | 43,3 | 29,2 | 0,0 | 62,2 | -13,3 |
| -80,0 | -928,6 | -50,0 | 74,6 | 46,7 | -700,0 | -453,8 | 66,5 | -44,0 | -176,9 | 68,0 | 28,7 | #DIV/0! | 22,6 | -80,0 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Lesotho | Liberia | Libya | Lithuania | Macedonia | Madagascar | Malawi | Malaysia | Mali | Mauritania | Mauritius | Mexico | Moldova | Mongolia | Morocco |
| -77,0 | -619,7 | -106,0 | 30,2 | 27,5 | -497,9 | -632,2 | 35,0 | -351,5 | -73,2 | 40,6 | 30,4 | -261,5 | 2,1 | -50,4 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Lesotho | Liberia | Libya | Lithuania | Macedonia | Madagascar | Malawi | Malaysia | Mali | Mauritania | Mauritius | Mexico | Moldova | Mongolia | Morocco |
| 39,6 | 13,3 | 38,4 | 73,6 | 54,6 | 51,9 | | 52,0 | 18,8 | 24,4 | 54,8 | 40,7 | | 38,5 | 15,8 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|-----------|---------|-----------|--------|-------------|----------------------|------------|----------|----------|-------------|---------|---------------------|
| Somalia | South Africa | Spain | Sri Lanka | Sudan | Swaziland | Sweden | Switzerland | Syrian Arab Republic | Tajikistan | Tanzania | Thailand | Timor-Leste | Togo | Trinidad and Tobago |
| 0,1 | 7,6 | 9,1 | 1,1 | | 3,3 | 10,2 | 13,2 | 2,8 | 0,9 | 0,3 | 4,6 | | 0,4 | 12,7 |
| 0 | 1,4 | 6,1 | 0,1 | | 1,1 | 5,7 | 6 | 1,1 | 0,3 | 0 | 1,2 | | 0,1 | 1,6 |
| 0,4 | 12 | 59,2 | 1,9 | | 11,6 | 95,1 | 72,3 | 6,7 | 4,7 | 0,4 | 11,3 | | 1,9 | 16,2 |
| | 236 | 774 | 405 | 544 | 477 | 208 | 288 | 819 | 1037 | 71 | 431 | 114 | 41 | 295 |
| 3,5 | 2,4 | 2,8 | 1,5 | 4,6 | 2,6 | 4,7 | 3,1 | 1,1 | 1 | 3 | 2,6 | 4,1 | 2,4 | 2,8 |
| 1,2 | 2,5 | 3,4 | 1,2 | | 2 | 6,5 | 4,9 | 1,5 | 0,8 | 1,2 | 1,9 | 0,4 | 1 | 6 |
| 3,6 | 10,3 | 25,7 | 3,2 | | 8,9 | 24,8 | 31,3 | 4,2 | 2,5 | 1,5 | 7,8 | | 2,2 | 12,3 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Somalia | South Africa | Spain | Sri Lanka | Sudan | Swaziland | Sweden | Switzerland | Syrian Arab Republic | Tajikistan | Tanzania | Thailand | Timor-Leste | Togo | Trinidad and Tobago |
| -1500,0 | 78,9 | 82,4 | -45,5 | #DIV/0! | 51,5 | 84,3 | 87,9 | 42,9 | -77,8 | -433,3 | 65,2 | #DIV/0! | -300,0 | 87,4 |
| #DIV/0! | 35,7 | 85,2 | -800,0 | #DIV/0! | 18,2 | 84,2 | 85,0 | 18,2 | -200,0 | #DIV/0! | 25,0 | #DIV/0! | -800,0 | 43,8 |
| -2125,0 | 25,8 | 85,0 | -368,4 | #DIV/0! | 23,3 | 90,6 | 87,7 | -32,8 | -89,4 | -2125,0 | 21,2 | #DIV/0! | -368,4 | 45,1 |
| #DIV/0! | -143,2 | 25,8 | -41,7 | -5,5 | -20,3 | -176,0 | -99,3 | 29,9 | 44,6 | -708,5 | -33,2 | -403,5 | -1300,0 | -94,6 |
| 25,7 | -8,3 | 7,1 | -73,3 | 43,5 | 0,0 | 44,7 | 16,1 | -136,4 | -160,0 | 13,3 | 0,0 | 36,6 | -8,3 | 7,1 |
| -41,7 | 32,0 | 50,0 | -41,7 | #DIV/0! | 15,0 | 73,8 | 65,3 | -13,3 | -112,5 | -41,7 | 10,5 | -325,0 | -70,0 | 71,7 |
| -100,0 | 30,1 | 72,0 | -125,0 | #DIV/0! | 19,1 | 71,0 | 77,0 | -71,4 | -188,0 | -380,0 | 7,7 | #DIV/0! | -227,3 | 41,5 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Somalia | South Africa | Spain | Sri Lanka | Sudan | Swaziland | Sweden | Switzerland | Syrian Arab Republic | Tajikistan | Tanzania | Thailand | Timor-Leste | Togo | Trinidad and Tobago |
| -748,2 | 7,3 | 58,2 | -213,7 | 19,0 | 15,2 | 39,0 | 45,7 | -23,3 | -111,9 | -612,5 | 13,8 | -230,6 | -439,1 | 28,8 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Somalia | South Africa | Spain | Sri Lanka | Sudan | Swaziland | Sweden | Switzerland | Syrian Arab Republic | Tajikistan | Tanzania | Thailand | Timor-Leste | Togo | Trinidad and Tobago |
| 25,7 | 40,5 | 58,2 | | 43,5 | 21,2 | 74,8 | 69,8 | 30,3 | 44,6 | 13,3 | 21,6 | 36,6 | | 49,4 |

a partire da tali risultati, è stata calcolata, per ciascun indicatore biofisico, la percentuale di riduzione delle attività, necessaria a ciascun paese al fine di rientrare all'interno dei limiti planetari.

Infine è stata calcolata la media di tali percentuali per riuscire a comprendere la riduzione necessaria, in generale, da parte di ciascun paese. Nella tabella sono riportate due medie differenti, la prima è stata calcolata utilizzando tutti i valori riportati nella tabella, la seconda invece si basa solamente sulle percentuali riguardanti gli indicatori le cui soglie sono state superate dal paese preso in considerazione.

| Biophysical Indicator | United Kingdom | France | USA | Spain | Argentina | South Africa | Italy |
|------------------------------|-----------------------|---------------|------------|--------------|------------------|---------------------|--------------|
| CO2 Emissions | 86,78 | 81,61 | 92,45 | 82,42 | 69,81 | 78,95 | 83,16 |
| Phosphorus | 82,69 | 87,50 | 87,14 | 85,25 | 18,18 | 35,71 | 81,25 |
| Nitrogen | 87,79 | 89,82 | 84,94 | 84,97 | 11,00 | 25,83 | 81,18 |
| Blue Water | -139,17 | -69,32 | 6,06 | 25,84 | -107,97 | -143,22 | -11,46 |
| eHANPP | -8,33 | 10,34 | 29,73 | 7,14 | 46,94 | -8,33 | -13,04 |
| Ecological Footprint | 59,52 | 59,52 | 75,00 | 50,00 | 39,29 | 32,00 | 59,52 |
| Material Footprint | 70,37 | 68,42 | 73,53 | 71,98 | 41,46 | 30,10 | 69,36 |

| Biophysical Indicator | China | Burundi | India |
|------------------------------|--------------|----------------|--------------|
| CO2 Emissions | 75,00 | -700,00 | 5,88 |
| Phosphorus | 66,67 | -800,00 | -50,00 |
| Nitrogen | 65,37 | -456,25 | -28,99 |
| Blue Water | -86,36 | -1751,61 | -10,38 |
| eHANPP | -160,00 | -18,18 | -160,00 |
| Ecological Footprint | 32,00 | -112,50 | -88,89 |
| Material Footprint | 41,46 | -350,00 | -100,00 |

Figura 11: Riduzione in % necessaria per rispettare i pre capita boundaries

I risultati prodotti per quanto riguarda i paesi già analizzati in precedenza, nella figura 10, sono stati riportati per semplificarne la ricerca e il confronto, nella figura 11. Osservando la tabella possiamo notare che la riduzione, in percentuale, maggiore risulta essere quella che gli USA dovrebbero compiere per quanto riguarda le loro emissioni di CO2, in quanto dovrebbero ridurre la loro attuale produzione del 92,45% per riuscire a rientrare all'interno del limite planetario. All'opposto invece si trova il Burundi il quale presenta

delle emissioni talmente ridotte da avere la possibilità di incrementarle di molto, rimanendo comunque all'interno del limite.

Per quanto riguarda sia la variabile del fosforo che quella dell'azoto, la Francia risulta essere il paese che dovrebbe ridurre maggiormente la sua produzione. La percentuale di diminuzione in questo caso si aggira attorno all'87,50% nel caso del primo indicatore e all'89,82% se ci riferiamo al secondo.

Il caso della variabile dell'acqua blu risulta più anomalo rispetto agli altri. Qui, infatti, la maggioranza dei paesi analizzati nella tabella non necessita di ridurre la propria produzione in quanto si trovano già al di sotto del limite. Al contrario, due paesi superano tale confine, la Spagna, la quale dovrebbe ridurre il suo consumo del 25,84%, e gli USA, la cui percentuale di diminuzione corrisponde al 6.06%.

Anche l'indicatore eHANPP presenta una tendenza differente rispetto agli altri, infatti è l'unico caso in cui l'Argentina presenta la percentuale più alta di riduzione necessaria (46,94%), al contrario delle variabili analizzate precedentemente dove occupava sempre l'ultima posizione.

Infine, nel caso sia dell'impronta ecologica che di quella materiale, gli USA presentano i livelli di riduzione percentuale, rispetto al consumo attuale, più alti di tutti, arrivando ad un livello pari al 75% nel primo caso e al 73,53% nel secondo.

Tramite questi dati possiamo inoltre calcolare la media delle riduzioni che dovrebbe compiere ciascun paese. Se non consideriamo i campi nei quali i paesi non superano i limiti allora l'Italia dovrebbe ridurre il suo impatto sulla biosfera del 74%, la Gran Bretagna del 77,43%, gli Stati Uniti del 64,12%, la Francia del 66,20%, la Spagna del 58,2, il Sud Africa del 40,52%, la Cina del 56,1% e l'Argentina del 37,78%. L'India, dovrebbe ridurre il suo impatto del 5,9%, questa riduzione però riguarda unicamente la variabile delle emissioni di CO₂ in quanto questo è l'unico indicatore da essa superato. Infine vi è il Burundi, il quale non necessita di compiere alcuna riduzione dal momento che rientra in tutti i limiti planetari presi in considerazione (i dati completi per ciascun paese sono riportati nell'appendice).

Infine, l'Università di Leeds permette di effettuare un confronto tra i dati ricavati per ciascun limite in passato e quelli attuali. Nella figura sottostante infatti possiamo trovare

l'evoluzione dei differenti indicatori, col passare del tempo, nel caso della Gran Bretagna. Mentre nella figura 13 e 14 troviamo rispettivamente gli andamenti di Italia e Sud Africa.¹

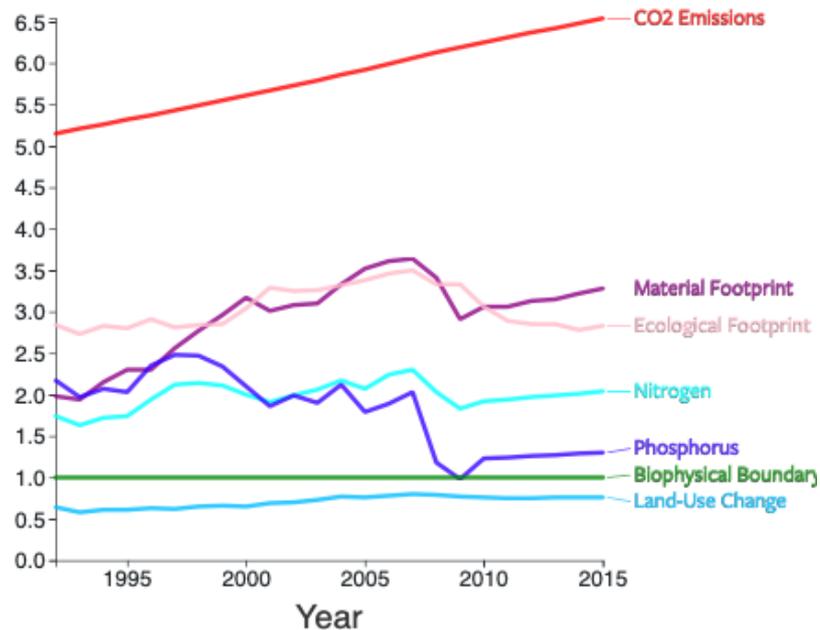


Figura 12: Evoluzione degli indicatori biofisici nel caso degli UK. Fonte: Country Trends, A Good Life For All Within Planetary Boundaries

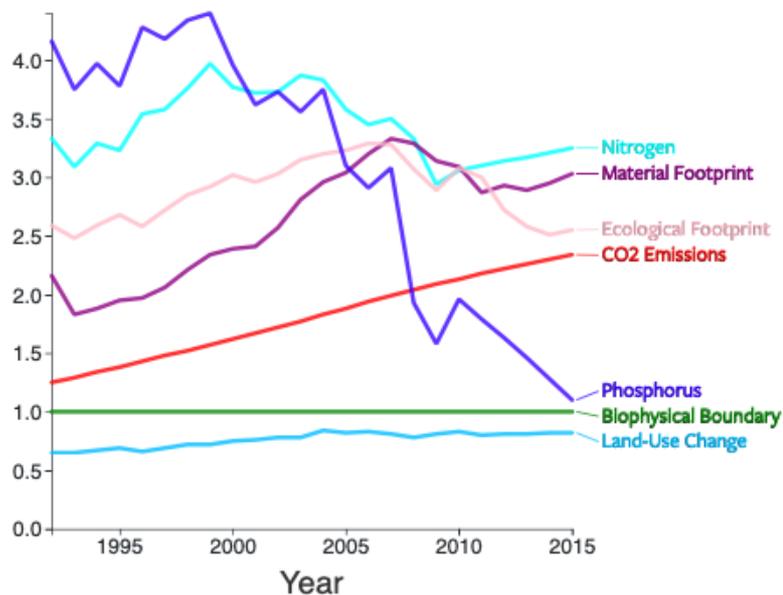


Figura 13: Evoluzione degli indicatori biofisici nel caso dell'Italia. Fonte: Country Trends, A Good Life For All Within Planetary Boundaries

¹ <https://goodlife.leeds.ac.uk/national-trends/country-trends/#ITA>

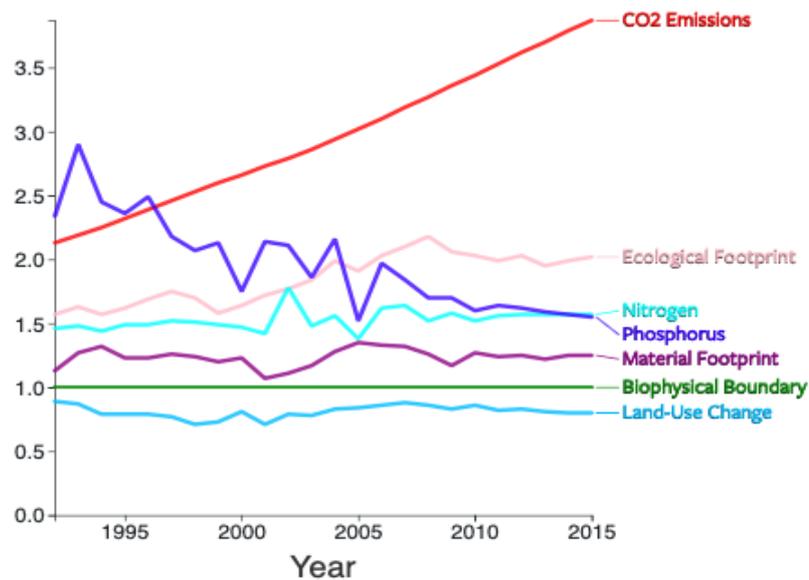


Figura 14: Evoluzione degli indicatori biofisici nel caso del Sud Africa. Fonte: *Country Trends, A Good Life For All Within Planetary Boundaries*

Nonostante tutti e tre i paesi presentino delle tendenze differenti per i vari limiti planetari, possiamo notare come ci sia una tendenza costante, ovvero il notevole incremento dal 1990 al 2015 delle emissioni di CO₂, in nessuno dei tre paesi, infatti, questo limite tende a ridursi, nemmeno per un periodo di tempo ristretto, come invece si può notare nel caso di altre variabili analizzate. Le emissioni di CO₂ in Sud Africa ed in Inghilterra inoltre rappresentano la variabile con maggior impatto rispetto alle altre. In Italia invece, nonostante vi sia stato un forte incremento, tale variabile ha un impatto inferiore rispetto a quella dell'azoto, dell'impronta materiale e di quella ecologica.

Un altro aspetto in comune si nota osservando la variabile del fosforo. Quest'ultima, infatti, è diminuita negli ultimi decenni in tutti e tre i paesi analizzati.

Solamente un indicatore non supera mai il limite planetario, ovvero, lo sfruttamento del suolo, rappresentato nei grafici precedenti con il colore azzurro.

L'evoluzione degli indicatori biofisici di questi tre paesi diventa ancora più interessante se confrontata con quella di altri due paesi, ovvero la Cina e il Burundi, sempre nel periodo di tempo compreso tra il 1990 e il 2015.

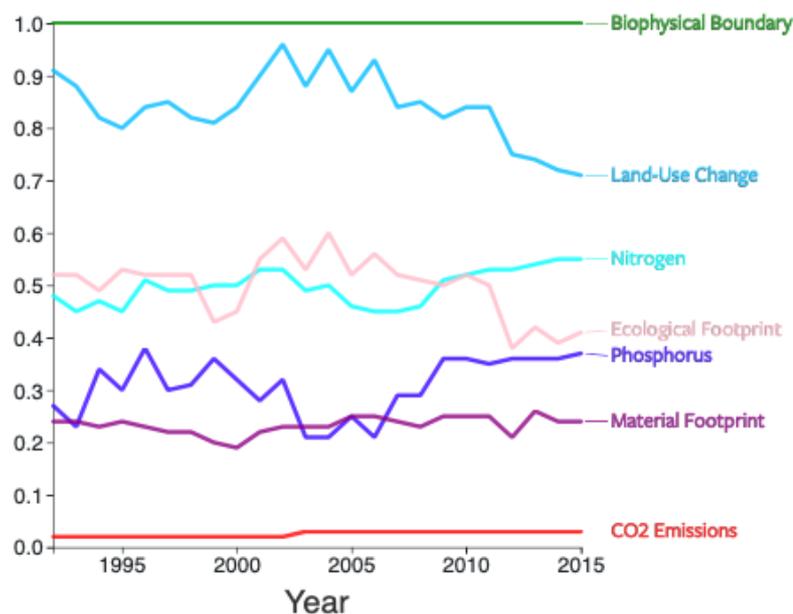


Figura 15: Evoluzione degli indicatori biofisici nel caso del Burundi. Fonte: Country Trends, A Good Life For All Within Planetary Boundaries

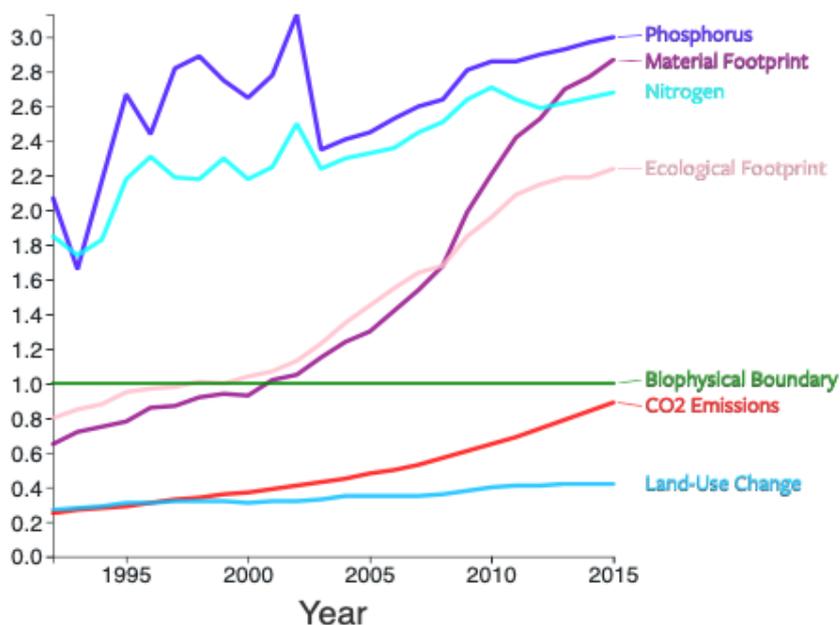


Figura 16: Evoluzione degli indicatori biofisici nel caso della Cina. Fonte: Country Trends, A Good Life For All Within Planetary Boundaries

L'unico paese in cui le emissioni di CO2 non hanno un andamento crescente è il Burundi. In quest'ultimo paese inoltre tutte le variabili considerate restano al di sotto del limite planetario e nessuna di esse ha subito degli incrementi significativi negli ultimi 20 anni. Al contrario, in Cina molti indicatori, tra cui l'impronta materiale e quella ecologica hanno subito un fortissimo incremento, come si può notare osservando la figura 16. In

generale possiamo osservare come in questo caso tutti gli indicatori siano aumentati rispetto ai dati rilevati nel 1990, in particolar modo nel periodo tra il 2005 e il 2015, al contrario della situazione rappresentata nella figura 15 dove la maggioranza degli indicatori ha riportato dei dati molto simili a quelli rilevati nel 1990, in alcuni casi addirittura inferiori, come evidente osservando, ad esempio, la variabile dell'impronta ecologica.

Lo studio "A Good Life For All Within Planetary Boundaries", infine, sottolinea come non sia sufficiente restare all'interno dei confini planetari per creare un "safe and just space" (concetto ideato da Kate Raworth), per questo motivo i ricercatori hanno incluso anche il concetto di confini sociali che analizzano il benessere umano e le risorse necessarie al fine di mantenerlo. Lo sviluppo, in questa prospettiva, dovrebbe quindi realizzarsi all'interno di un grafico a ciambella, in quello spazio che permette di soddisfare tutti i bisogni delle persone senza però superare i limiti planetari. La figura 17 rappresenta graficamente tale concetto; lo spazio sicuro e giusto è riportato in verde ed indica la zona all'interno della quale dovrebbe realizzarsi lo sviluppo.

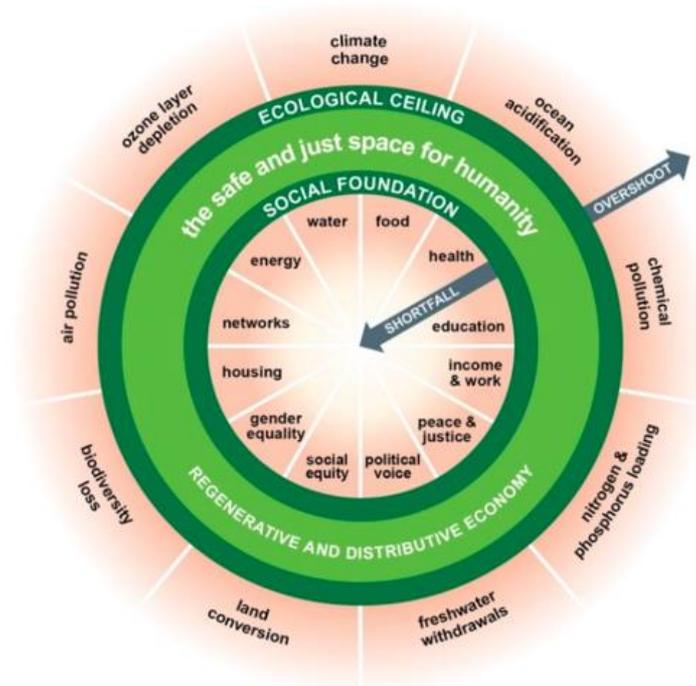


Figura 17, Fonte: Raworth, K. (2017). *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st Century Economist*

Dopo aver analizzato i differenti tipo di limiti planetari, le loro soglie e i livelli raggiunti al giorno d'oggi da ciascun paese, si può quindi affermare che l'umanità sta attualmente superando molti dei limiti planetari individuati dallo studio "A Good Life For All Within

Planetary Boundaries”. Risulta quindi necessario intraprendere delle soluzioni che permettano di ridurre tale impatto, rientrando all’interno delle differenti soglie.

Attualmente, le strategie mainstream adottate a livello europeo e globale, con l’obiettivo di permettere una crescita economica che non danneggi l’ambiente e gli ecosistemi, si basano principalmente sulla teoria della crescita verde. Nel prossimo capitolo verrà quindi analizzata tale ipotesi, considerando le sue basi principali e cercando di comprendere criticamente se tale strategia possa risultare vincente oppure no.

CAPITOLO II: CRESCITA VERDE E DECOUPLING

1. LA CRESCITA VERDE

La teoria della crescita verde è basata principalmente sull’idea che sia possibile realizzare contemporaneamente da un lato una continua crescita economica e dall’altro un ritmo di riduzione dell’impatto ambientale tale da permettere di diminuire ed evitare le conseguenze negative legate al fenomeno del cambiamento climatico e alle diverse sfumature della crisi ecologica. (Pérez; 2021)

La crescita verde è stata individuata come strumento principale per far fronte alla crisi ambientale durante la conferenza sullo sviluppo sostenibile di Rio+20, tenutasi nel 2012 nella città brasiliana. Tra i maggiori sostenitori di questa teoria vi sono la Banca Mondiale e l’OCSE ovvero l’Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (Pérez; 2021). L’OCSE ha sviluppato una vera e propria Green Growth Strategy, con l’obiettivo di riuscire ad individuare un percorso e una agenda tramite i quali realizzare in concreto gli obiettivi proposti durante la conferenza del Rio del 1992 (OCSE; 2011). L’Organizzazione ha cercato di creare, inoltre, un quadro di politiche che risultino sufficientemente flessibili, dal momento che esse dovranno essere applicate in paesi differenti che presentano circostanze e livelli di sviluppo spesso molto diversi tra di loro (OCSE; 2011).

Le differenti istituzioni tendono a dare una loro definizione specifica della crescita verde, ma tutte si trovano in accordo per quanto riguarda gli strumenti da utilizzare affinché

questa strategia si possa realizzare (Pérez; 2021). Tra questi ultimi vi sono l'innovazione e un sistema di politiche efficaci al fine di accelerare questo processo (Pérez; 2021). L'innovazione è uno strumento fondamentale dal momento che l'attuale tecnologia se non si evolvesse negli anni a venire non permetterebbe di raggiungere gli obiettivi prefissati. Oltre all'innovazione è però necessario un quadro istituzionale che, indipendentemente dal tipo di contesto nazionale, riesca ad imporre una serie di tasse ambientali, attribuendo, ad esempio, un prezzo ad un utilizzo sproporzionato delle risorse naturali o all'inquinamento (OCSE; 2011). L'UNEP ritiene, inoltre, essenziale inserire tra gli strumenti anche gli investimenti pubblici e privati indirizzati a ridurre la perdita di biodiversità, l'inquinamento, le emissioni di carbonio, oltre che ad incrementare l'efficienza delle risorse e quella energetica (UNEP; 2011).

La crescita verde, col suo principale obiettivo di riuscire a creare e sfruttare nuovi strumenti per generare una crescita economica che siano compatibili con ecosistemi resilienti, è quindi una teoria sviluppata all'interno di un quadro più ampio ovvero quello dello sviluppo sostenibile (OCSE; 2011). Questa teoria, quindi, non deve essere concepita come un modello alternativo o in contrasto con lo sviluppo sostenibile, al contrario bisognerebbe pensarla come strumento necessario per la sua realizzazione (Amerighi, Felici; 2011).

L'intera teoria della crescita verde poggia su un presupposto fondamentale, senza il quale essa crollerebbe, ovvero, il concetto di disaccoppiamento assoluto. Si fonda quindi sull'idea che esista la possibilità, grazie all'innovazione tecnologica e ad un miglior e più efficiente uso degli incentivi economici e delle risorse naturali, di disaccoppiare la crescita economica dall'impatto ambientale, riuscendo così ad incrementare la produzione, sia di beni che di servizi, e allo stesso tempo diminuire l'utilizzo di energia e materie prima, producendo di conseguenza un minor numero di rifiuti ed emissioni (Pérez; 2021).

2. IL DISACCOPIAMENTO O DECOUPLING

Il concetto di disaccoppiamento di cui si parla molto al giorno d'oggi è un concetto sviluppatosi recentemente. È stato utilizzato per la prima volta negli anni 90 da diversi economisti, tra cui Grossman e Krueger nel 1995 e nel 1991 e Panayotou nel 1993, i quali sostenevano, tramite le loro ricerche, che si potesse ridurre la pressione ambientale

semplicemente aumentando la crescita economica, dal momento che ritenevano vi fosse un rapporto inversamente proporzionale tra i due (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Questo primo approccio descriveva il disaccoppiamento come un fenomeno semi-naturale (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019). e si basava sull'idea che, in qualsiasi paese, per riuscire a ridurre le proprie emissioni e il proprio impatto ambientale fosse necessario il raggiungimento di una crescita economica matura e stabile nel tempo (Ferrari; 2016).

Secondo questa teoria, inoltre, il rapporto che si crea tra la sostenibilità ambientale da un lato e lo sviluppo economico dall'altro può essere rappresentato tramite Curva Ambientale di Kuznets, riportata nella figura 18 (Ferrari; 2016)

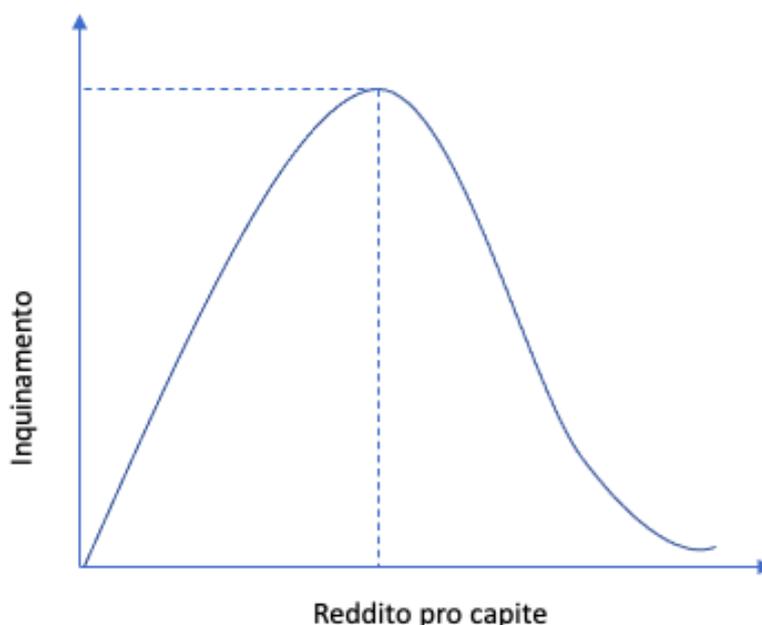


Figura 188: Curva Ambientale di Kuznets

Osservando il grafico si può notare come l'inquinamento in un primo momento tenderebbe ad aumentare di fronte ad un incremento del reddito pro capite, situazione che si verificherebbe soprattutto nei paesi in via di sviluppo, fino ad arrivare ad un punto di svolta, il punto più alto della curva, dove invertirebbe la sua tendenza; in una seconda fase quindi, tipica delle economie avanzate, l'inquinamento tenderebbe a diminuire nonostante il reddito pro capite e l'economia continuino a crescere, portando così la curva

ad assumere un andamento a forma di campana (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

La crescita economica in questo quadro rappresenta sia la causa principale dell'inquinamento e dell'attuale pressione ambientale, sia lo strumento necessario ed essenziale al fine di ridurre i danni ambientali stessi, influenzando in tal modo anche le decisioni politiche adottate, dal momento che viene individuata nella crescita la soluzione adatta al superamento della crisi ecologica. Questo approccio però è applicabile solamente ad una scala locale, dal momento che i paesi occidentali, grazie alla delocalizzazione di molte attività produttive, possono permettersi, di fronte ad una crescita della loro ricchezza, livelli di qualità ambientale più alti, in quanto le cause principali dell'inquinamento, come fabbriche e impianti, sono state spostate in altri paesi (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Questa ipotesi è stata successivamente ripresa dall'UNEP con il nome di "disaccoppiamento per maturazione", identificandola quindi come una forma di disaccoppiamento che si verifica in maniera naturale. Molti studiosi negli anni successivi si sono poi dedicati al cercare di applicare la curva ambientale di Kuznets a diverse variabili ambientali (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Attualmente, però, l'idea che il disaccoppiamento possa essere considerato un fenomeno di tipo semi-naturale è stata accantonata, al contrario si è diffusa maggiormente l'ipotesi che esso possa essere raggiunto solamente grazie all'attuazione di determinate politiche economiche (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Successivamente, il primo organismo internazionale ad aver adottato il concetto di disaccoppiamento delle risorse è stato l'OCSE, il quale lo ha inserito nel documento politico del 2001 "*Strategia ambientale per il primo decennio del 21° secolo*", come uno degli obiettivi da dover raggiungere, definendolo però semplicemente come la separazione tra il "male ambientale" e i "beni economici" (UNEP; 2011)

2.1 DISACCOUPIAMENTO ASSOLUTO E RELATIVO

Se analizziamo il rapporto tra due variabili differenti possiamo dire che esse sono considerate accoppiate quando la prima si trova in condizione di dipendenza dalla

seconda, di conseguenza entrambe evolvono in maniera proporzionale e parallela nel tempo; al contrario esse possono essere definite disaccoppiate quando le due variabili, nel tempo, presentano una variazione del coefficiente di proporzionalità, ovvero i loro trend vengono de-sincronizzati (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

La distinzione più importante tra le differenti forme di disaccoppiamento, nel lungo periodo, è quella tra disaccoppiamento relativo (o debole) e assoluto (o forte). Nel primo caso le due variabili continueranno a proseguire verso la stessa direzione, ovvero se una delle due aumenta allora aumenterà anche l'altra, ma, al contrario di cosa si verifica in un caso di accoppiamento, la loro velocità sarà differente (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019); ad esempio, un aumento di 5 unità per la prima variabile potrebbe corrispondere ad un aumento di solamente 3 unità per la seconda. La loro associazione è ancora positiva, ma l'elasticità che la caratterizza è inferiore a 1. Questo tipo di disaccoppiamento è il più comune (UNEP; 2011). Nel secondo caso invece le variabili intraprendono due direzioni l'una opposta all'altra, perciò, all'aumentare della prima vi sarà una diminuzione della seconda. Di conseguenza, quando si riesce a raggiungere uno stato di disaccoppiamento assoluto allora ci si trova in una situazione in cui la crescita economica non comporta direttamente un aumento dell'impatto ambientale e viceversa (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

La teoria della crescita verde si basa proprio su quest'ultima forma di disaccoppiamento, ovvero quella assoluta.

La differenza tra disaccoppiamento assoluto e relativo può, inoltre, essere osservata graficamente grazie alla figura 19.

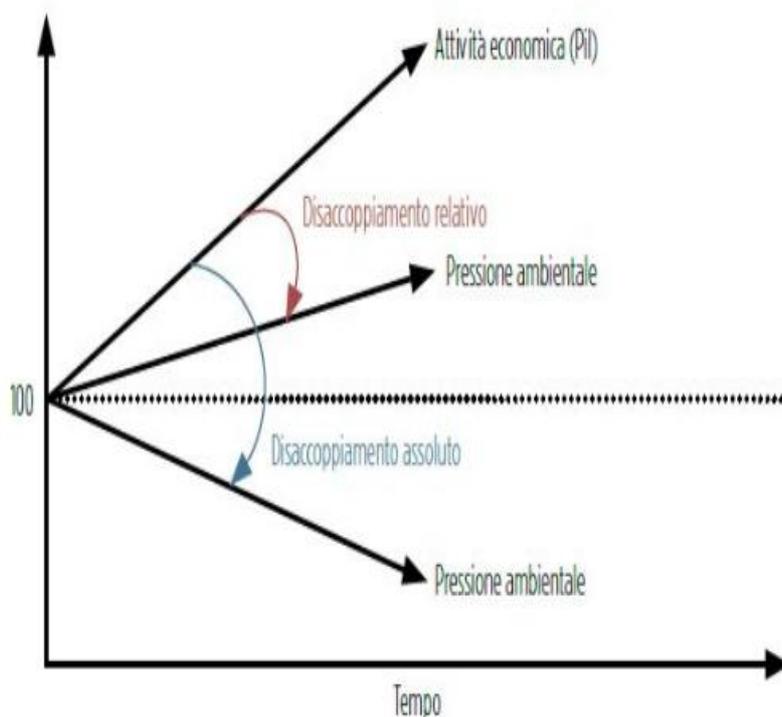


Figura 19: Rappresentazione stilizzata della differenza tra disaccoppiamento assoluto e relativo. Fonte: UNEP, Decoupling assessment report, Zero draft, 2009

2.2 DISACCOUPIAMENTO DELLE RISORSE E DEGLI IMPATTI

Quando si parla di disaccoppiamento della crescita economica dall'impatto ambientale la prima variabile da considerare, ovvero quella indipendente, è il PIL. Il prodotto interno lordo, ovvero il valore dei beni e dei servizi finali prodotti all'interno di uno stato sovrano in un determinato arco di tempo, è una misura dell'attività economica e il suo aumento viene più comunemente definito "crescita economica". La seconda variabile da analizzare, quella dipendente, è formata dalle risorse e dagli impatti (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Possiamo quindi creare un'ulteriore divisione tra disaccoppiamento delle risorse e disaccoppiamento degli impatti, entrambi i fattori sono comunque da considerare dal momento che la scarsità delle risorse e gli impatti ambientali indesiderati che possono derivare da qualsiasi fase del ciclo di utilizzo delle risorse (ad esempio dalla fase di

estrazione o di consumo), rischiano di condurre, entrambi, ad un'interruzione di tutti i servizi ecosistemici, fondamentali sia per il benessere umano che per il suo miglioramento.

Per quanto riguarda il disaccoppiamento delle risorse, bisogna innanzitutto specificare che vengono inclusi in quest'ultimo concetto tutti i "beni naturali deliberatamente estratti e modificati dalle attività dell'uomo per la propria utilità nella creazione di valore economico" (UNEP, 2011).

Possiamo quindi definire il disaccoppiamento delle risorse come il disaccoppiamento dell'attività economica dalla quantità di risorse che vengono estratte dall'ambiente ed utilizzate tramite, in particolar modo, una serie di strategie che permettano una "dematerializzazione" ovvero un minor uso e una minore estrazione di risorse sia di tipo materiale che idriche o energetiche, garantendo però, a livello economico, lo stesso o un migliore risultato, calcolato in termini monetari (UNEP;2011). I processi che possono portare a questa riduzione dell'estrazione di risorse sono, ad esempio, il miglioramento sia del processo di riciclo, da un lato, che dell'efficienza, dall'altro (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Il disaccoppiamento delle risorse permette quindi un incremento della loro efficienza, che può essere calcolato in diversi modi. La prima strada si basa sul dividere il valore aggiunto per l'uso delle risorse. Si ottiene in questo modo un quoziente che varierà nel tempo, se esso aumenta allora significa che anche la produttività delle risorse tenderà ad aumentare. Una seconda strategia che può essere attuata per studiare il disaccoppiamento delle risorse, invece, è quella di confrontare i gradienti sia dell'output economico che dell'input delle risorse, al variare del tempo, quando il gradiente dell'input delle risorse è inferiore rispetto a quello dell'output economico allora potremmo affermare che il disaccoppiamento è avvenuto (UNEP; 2011)

Le riduzioni assolute, quando si parla di risorse, sono però molto rare, possiamo trovarci in una situazione di questo tipo unicamente nel caso in cui il tasso di crescita dell'economia venga superato, quindi risulti inferiore, rispetto al tasso di crescita della produttività. Recentemente sono stati sviluppati una serie di indicatori e di metodologie denominati "contabilità del flusso di materiali" che analizzano tutti i materiali che vengono utilizzati per svolgere una determinata attività economica, al fine di cercare di disaccoppiare l'uso delle risorse dagli impatti negativi che quest'utilizzo ha sull'ambiente. In alcuni casi vengono anche considerati, oltre ai materiali usati

effettivamente del processo economico analizzato, anche tutti quelli che vengono utilizzati nel processo di estrazione (UNEP;2011)

Con il disaccoppiamento degli impatti si definisce, invece, quella situazione effettiva in cui la produzione economica rimane stabile o continua ad aumentare mentre il danno ambientale, legato a quella determinata attività, diminuisce. (UNEP;2011)

Gli impatti analizzati possono essere molto eterogenei tra di loro; vengono incluse, ad esempio, tutte le sostanze inquinanti che possono avere delle conseguenze rilevanti sulla vita sia degli uomini che degli animali, le conseguenze negative derivanti dai processi di estrazione, produzione e utilizzo delle risorse, la perdita della biodiversità, le emissioni di CO₂, alla base del cambiamento climatico e l'inquinamento luminoso che ha come conseguenza la riduzione della biodiversità. Riuscire a calcolare il disaccoppiamento degli impatti risulta molto complicato, dal momento che bisogna tener conto di moltissimi impatti, molti dei quali non sono nemmeno monitorati accuratamente nel tempo. L'UNEP ha proposto alcune strategie basate su una combinazione di tecniche di input-output con l'analisi del ciclo della vita. (UNEP;2011)

Il disaccoppiamento delle risorse e quello degli impatti differiscono sotto molti aspetti. Il primo, definito anche "aumento della produttività", cerca di trovare una soluzione al problema della scarsità, il suo obiettivo infatti è quello di riuscire, contemporaneamente, ad aumentare la produttività delle risorse, riducendone i costi e il tasso di esaurimento; il secondo tipo di disaccoppiamento, definito anche di "aumento dell'eco-efficienza" cerca di promuovere un utilizzo migliore e più pulito delle risorse. Il disaccoppiamento delle risorse può avere delle conseguenze su quello degli impatti, dal momento che permette di ridurre anche gli impatti derivati da un uso inefficiente e non produttivo delle risorse; al contrario, la riduzione degli impatti non implica obbligatoriamente un effetto positivo sulla scarsità delle risorse o sul loro costo, può, però, verificarsi lo scenario opposto, ovvero, questi due dati possono aumentare entrambi, a seguito di una diminuzione di alcuni impatti (UNEP;2011). Secondo l'UNEP, il disaccoppiamento risulta necessario in particolar modo in alcune situazioni: quando la risorsa presa in questione è scarsa e il suo possibile esaurimento rischierebbe di bloccare o compromettere il progresso; nel caso in cui venga utilizzata una risorsa con un impatto ambientale molto alto, la quale non riesce a ridurre il suo impatto semplicemente migliorandone l'uso, rendendo quindi necessaria una importante riduzione del suo utilizzo. (UNEP;2011)

Infine, progettare un intervento a livello di sistema, che riesca a portare ad un disaccoppiamento delle risorse e degli impatti non è semplice, dal momento che l'intervento potrebbe comportare il disaccoppiamento da alcuni specifici impatti, rischiando però di aumentarne o lasciarne invece invariati altri (UNEP;2011).

Nella figura 20 si può osservare una rappresentazione grafica delle due forme principali di decoupling, ovvero il disaccoppiamento delle risorse, rappresentato in blu e quello degli impatti, schematizzato in verde.

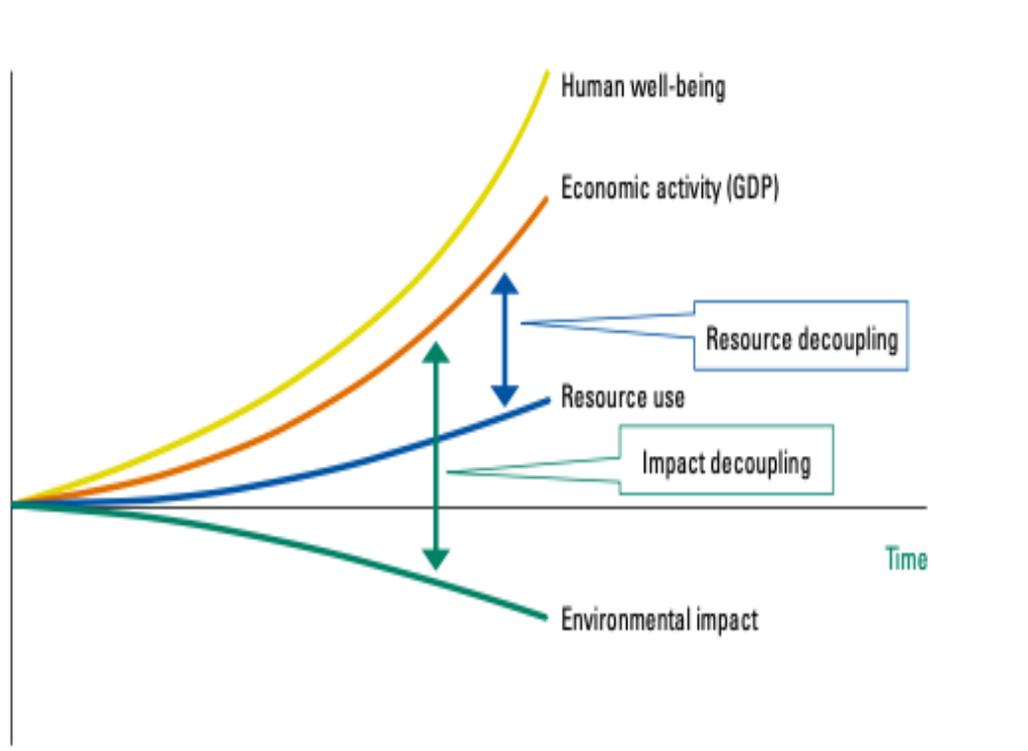


Figura 20: : rappresentazione del disaccoppiamento delle risorse e degli impatti. Fonte "Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth, UNEP, 2011

2.3 SCALA, ENTITÀ E DURATA

Un'attenzione particolare, quando si analizza il disaccoppiamento, deve essere attribuita ai parametri geografici che vengono presi in considerazione. Nel caso in cui vengano analizzati dei parametri ristretti si parlerà di disaccoppiamento locale, ad esempio, in una

situazione nella quale viene analizzato un paese specifico; il disaccoppiamento, però, può essere anche globale, in questo caso le due variabili che vengono prese in considerazione hanno una scala mondiale, come quando vengano studiati il PIL e le emissioni di gas serra, entrambi a livello globale. La scelta degli indicatori deve quindi essere coerente con il tipo di problema che verrà studiato; se si vuole analizzare un problema come il cambiamento climatico, sarà necessario, al fine di effettuare degli studi corretti e adeguati, adottare degli indicatori globali, al contrario se si vuole analizzare l'inquinamento di un determinato lago oppure fiume sarà più corretta la scelta di indicatori di tipo globale (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

La scelta degli indicatori diventa particolarmente importante in un quadro globalizzato come quello attuale. Al giorno d'oggi, riuscire a individuare, per ciascun tipo di impatto, uno specifico responsabile, risulta estremamente difficile, soprattutto a causa di fenomeni come la separazione a livello spaziale tra luoghi attribuiti all'estrazione, alla produzione e al consumo, oppure la delocalizzazione di moltissime attività (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Oltre all'indicatore geografico, è anche necessario studiare quello temporale. Affinché si riesca a realizzare davvero un miglioramento delle condizioni ambientali all'interno delle economie attuali orientate verso una continua crescita, il disaccoppiamento oltre a dover essere assoluto e non relativo, deve anche mantenersi nel tempo, diventando quindi permanente. Il disaccoppiamento in molti casi può essere semplicemente passeggero, ovvero, dopo essersi disaccoppiati, gli impatti ambientali e la crescita economica possono anche riaccoppiarsi successivamente, rischiando di comportare una pressione sull'ambiente ancora più forte, dopo un periodo di riduzione. Il fenomeno appena descritto viene anche denominato "relinking" (ovvero ricollegamento) oppure riaccoppiamento e graficamente può essere rappresentato tramite una curva ad N, come si può notare dalla figura 21 (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

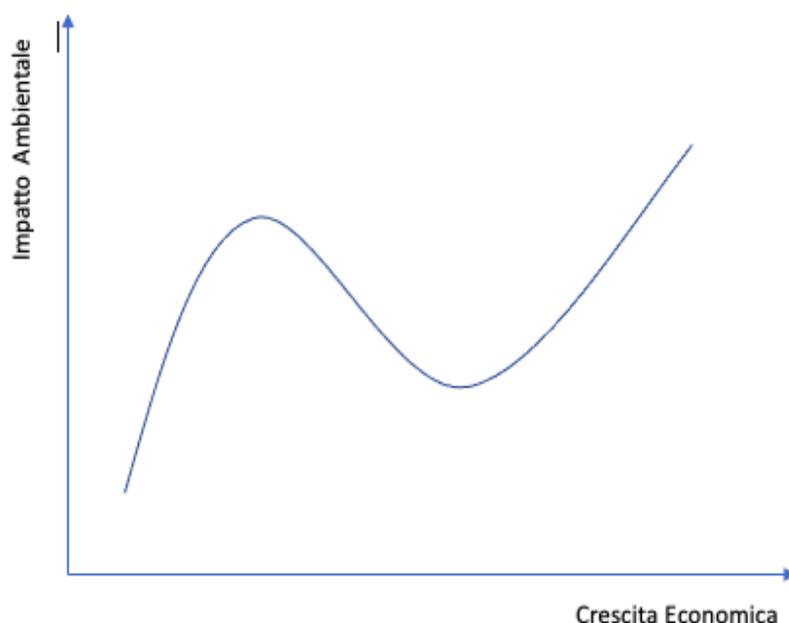


Figura 21: : Rappresentazione Riaccoppiamento

Si può quindi comprendere quanto sia importante confrontare sempre gli studi sul disaccoppiamento con il periodo di tempo preso in considerazione.

Il disaccoppiamento previsto dalla crescita verde per validare le sue teorie deve essere non solo assoluto e permanente ma anche sufficientemente veloce. Per valutare la possibilità di successo di una strategia basata sul disaccoppiamento bisognerebbe prendere come punti di riferimento degli specifici obiettivi ambientali; senza questi obiettivi si continuerebbe a parlarne in maniera astratta e generale, rischiando di non comprendere se queste strategie siano davvero efficaci oppure no. Dopo aver definito i punti da raggiungere allora si può affermare se il disaccoppiamento può essere considerato sufficiente oppure insufficiente. Come sottolinea il report “Decoupling Debunked” del 2019, sia un incremento del PIL del 3% con una riduzione delle emissioni di gas serra del 2%, che un aumento del PIL del 3% con una diminuzione delle emissioni dello 0,2% possono essere definite situazioni di disaccoppiamento assoluto, ma la prima è decisamente più desiderabile della seconda. La velocità è fondamentale soprattutto dal momento che la scarsità delle risorse può portare molti problemi, ancora prima del loro esaurimento, come lo scatenarsi di conflitti a livello globale. Il report “Decoupling Debunked” definisce, infine, il disaccoppiamento come sufficiente quando, prima di superare i nove confini planetari, definiti da Rockstrom (2009) e Steffen et al. (2015), considerate delle soglie irreversibili di danno, si riesce a raggiungere il punto di

disaccoppiamento assoluto (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

3. OSTACOLI AL DISACCOPIAMENTO

Uno dei principali articoli che attualmente sostengono la crescita verde è stato pubblicato nel 2019 con il titolo “Drivers of declining CO₂ emissions in 18 developed economies” sulla rivista Nature (Parrique; 2021). Scritto da Corinne Le Quéré e altri nove studiosi, l’articolo analizza 18 economie sviluppate, tra cui vi sono la Germania, gli USA e l’Italia, in un periodo di tempo di 10 anni, tra il 2005 e il 2015. Gli autori, tramite tale studio, concludono che in queste economie vi sia stata una diminuzione delle emissioni di circa il 2,4 % annuo, per il periodo di tempo analizzato (Parrique; 2021).

Se si analizza nel dettaglio l’articolo però si possono notare alcune incongruenze (Parrique; 2021). Innanzitutto, la riduzione del 2,4% è solamente una cifra irrisoria, dal momento che la diminuzione delle emissioni necessaria al fine di riuscire a raggiungere l’obiettivo imposto dagli accordi di Parigi, sarebbe del 7,6% annuo (Parrique; 2021). Inoltre, se si prende in considerazione la crescita del PIL nel periodo di riduzione delle emissioni, si nota che la crescita media di queste economie si stabilizza attorno all’1,1%. Le economie con il maggior tasso di riduzione annuale di carbonio, ovvero Spagna, Italia e Danimarca, ad esempio, non sono nemmeno cresciute, anzi nel caso di Spagna e Italia sono addirittura regredite. Per questo motivo non si può parlare di una effettiva crescita verde, il documento infatti vorrebbe dimostrare come sia possibile raggiungere la crescita verde decarbonizzando la società, in realtà, da esso emerge solamente che una società senza carbonio è possibile unicamente in un contesto dove la crescita economica sia limitata o addirittura inesistente (Parrique; 2021).

Lo studio preso in considerazione si basa sul carbonio, quest’ultimo però è solamente uno dei molti problemi ambientali con i quali bisogna confrontarsi, realizzare un’economia sostenibile infatti non significa semplicemente avviare una decarbonizzazione ma considerare anche tutte le altre relazioni che vi sono con i differenti ecosistemi (Parrique; 2021).

Anche la Commissione Europea è intervenuta sulla questione, sostenendo la crescita verde e affermando che nel periodo di tempo analizzato, ovvero quello tra il 1990 e il 2017 c’è stata una riduzione delle emissioni di CO₂ pari al 22% di fronte ad un aumento

dell'economia del 58% (Pérez; 2021). I dati però non considerano la situazione a livello globale, in quel periodo infatti si è riusciti a raggiungere tali risultati soprattutto grazie all'esternalizzazione dei processi industriali in paesi con un costo inferiore della manodopera e con una maggiore deregulation (Pérez; 2021). Inoltre, osservando la situazioni nei paesi UE si noterà che la maggior parte della riduzione delle emissioni è avvenuta nel periodo compreso tra il 2008 e il 2009, a causa della crisi in atto in quel momento storico. Successivamente, l'uscita dalla crisi ha scatenato un vero e proprio effetto rimbalzo, aumentando l'inquinamento (Pérez; 2021).

Tommy Wiedmann tramite un suo recente studio basato sull'analisi, nel periodo compreso tra il 1990 e il 2008, degli input materiali presenti nel consumo di 186 paesi, ha evidenziato il rapporto tra disaccoppiamento assoluto e commercio internazionale. (Victor P.A., Jackson T.; 2015)

Quest'ultimo studio ha dimostrato il legame esistente tra impronta materiale e prodotto interno lordo, affermando che ogni incremento del 10% del PIL comporta un aumento del 6% dell'impronta materiale nazionale media. Tommy Wiedmann, insieme ai suoi colleghi ha osservato che l'impronta materiale dei paesi OCSE, nel periodo compreso tra il 1990 e il 2008, ha seguito l'andamento del PIL, nonostante il consumo diretto di materiale (ovvero il consumo apparente di risorse materiali di un paese) presenti un disaccoppiamento relativo, come riportato nella figura 22 (Victor P.A., Jackson T.; 2015)

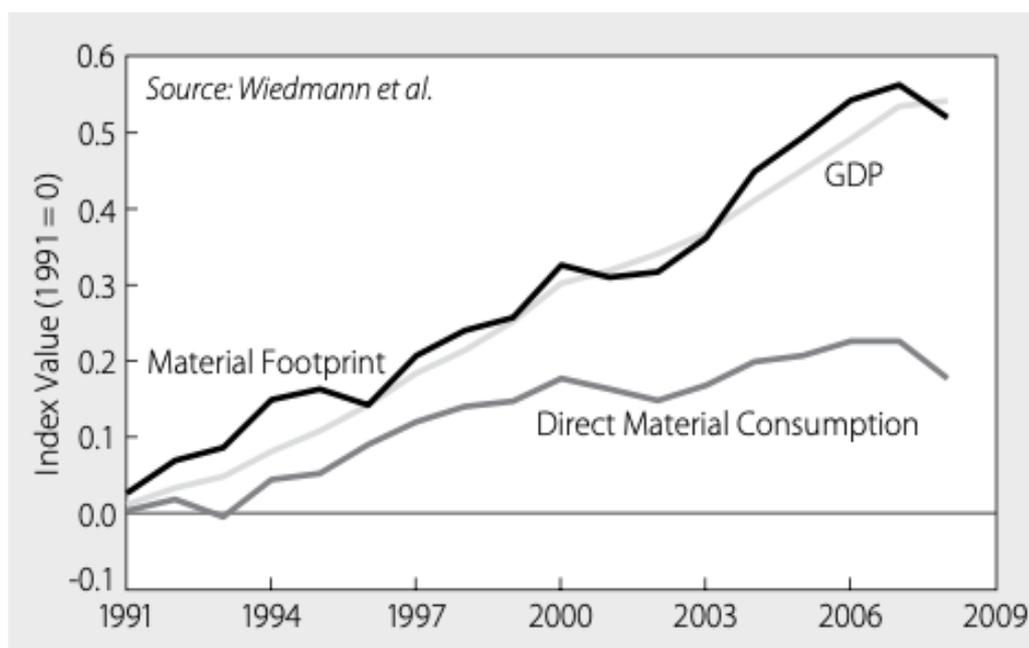


Figura 22: Rapporto Impronta materiale-PIL nei paesi OCSE. Fonte: *The trouble with the growth*; Victor P.A., Jackson T.; 2015.

Nel 2019 è stato poi pubblicato il report “Decoupling Debunked”, nel quale vengono analizzati una serie di ostacoli e di problematiche che impediscono la realizzazione di un effettivo disaccoppiamento assoluto, tra cui vi sono: l’aumento della spesa energetica, lo spostamento dei problemi, l’impatto dei servizi, i limiti del riciclaggio, l’effetto rimbalzo e la delocalizzazione dei costi (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

3.1 L’AUMENTO DELLA SPESA ENERGETICA

L’attuale disponibilità delle risorse è legata non solo alla loro quantità assoluta, ma anche alla loro qualità e accessibilità. È necessario quindi prendere in considerazione anche l’impegno utilizzato al fine di poterle estrarre. Col passare del tempo l’estrazione delle risorse diventa sempre più complicata, dal momento che le prime risorse che si cerca di estrarre sono quelle il cui accesso è più semplice e meno dispendioso, sia da un punto di vista economico che di tempistiche; quando queste prime risorse saranno esaurite sarà quindi necessario sfruttare nuove tecnologie per poter estrarre la stessa quantità di risorse in situazioni più complicate. Questo processo sarà quindi, da un punto di vista economico, più costoso e, da una prospettiva ecologica, più dannoso dal momento che, necessitando di una maggiore quantità di energie e risorse, comporterà un aumento dell’inquinamento derivante e dell’impatto ambientale per ciascuna unità di risorsa che verrà estratta. Tutto ciò significa che la quantità di risorse utilizzata al fine di estrarre le risorse finali, che verranno sfruttate per produrre beni e servizi, tenderà ad aumentare, non permettendo quindi la realizzazione di un effettivo disaccoppiamento (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Nel campo dell’energia questo fenomeno è quantificato tramite lo studio dell’EROI.

3.1.1 L’EROI

L’EROI (Energy Returned on Energy Invested) indica il rendimento di energia sull’energia investita. Questo indicatore serve a calcolare la relazione che vi è tra la quantità di energia estratta da una determinata risorsa naturale e la quantità di energia che è stata sfruttata, durante l’intero processo, per ricavarla, permettendoci infine di separare i costi energetici dal ritorno di energia effettivo (Parrique, Barth, Briens, Kereschener

Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019). Ad esempio, se affermiamo che l'EROI del petrolio è attualmente di 15:1 ciò significherà che per estrarre 15 unità di petrolio sarà necessario utilizzare 1 unità dello stesso materiale; se la relazione fosse 50:1 potremmo affermare che il costo energetico sarebbe del 2% e che il surplus sarebbe pari al 98%. Un aumento del costo energetico corrisponde ad un abbassamento del valore dell'EROI e comporta di conseguenza un incremento, in primo luogo, delle risorse naturali che vengono utilizzate e, in secondo luogo, un maggiore impatto ambientale. In particolare modo tramite l'EROI si possono studiare le emissioni di gas serra che vengono prodotte dalla loro estrazione (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

L'EROI del petrolio e del gas è uno dei più studiati anche se non sempre le conclusioni dei diversi esperti concordano. Secondo Cleveland e Hall il loro EROI era pari a 30:1 negli anni 50, negli anni 70 scese a 20:1, per arrivare ad un valore compreso tra 18:1 e 11:1 nella metà degli anni 2000. Gagnon invece riportò dei dati differenti, affermando che l'EROI del petrolio e del gas corrispondeva a 26:1 nel 1992, a 35:1 nel 1999 ed a 18:1 nel 2006 (Gupta, Hall; 2011). Nella figura 23 possiamo veder rappresentato graficamente l'EROI globale del petrolio e del gas.

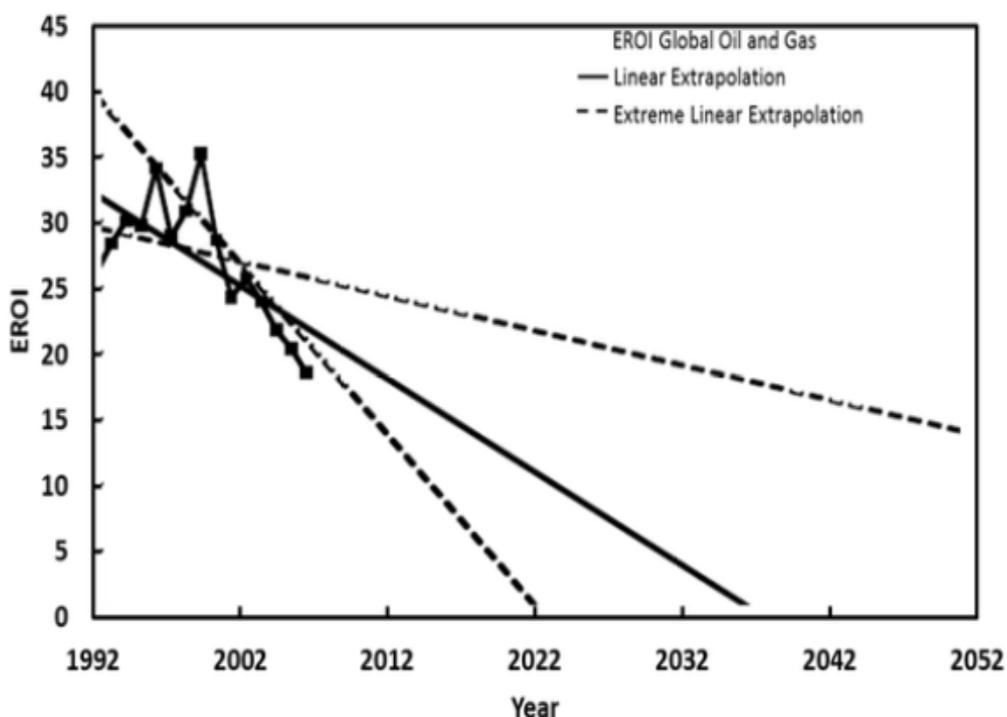


Figura 23: Fonte:Gagnon, N.; Hall, C.A.S.; Brinker, L. A preliminary investigation of energy return on energy investment for global oil and gas production. *Energies* 2009

Nella figura 24 invece sono riportati i risultati dello studio di Gagnon et al. (2009), sull'EROI del petrolio e del gas globali commercializzati pubblicamente. Il loro studio afferma che le nuove tecnologie e i nuovi metodi usati nella produzione riescono attualmente a garantire un mantenimento della produzione ma risultano insufficienti per contrastare il declino inevitabile delle due risorse. (Gagnon, N., Hall C.A.S., Brinker L.; 2009)

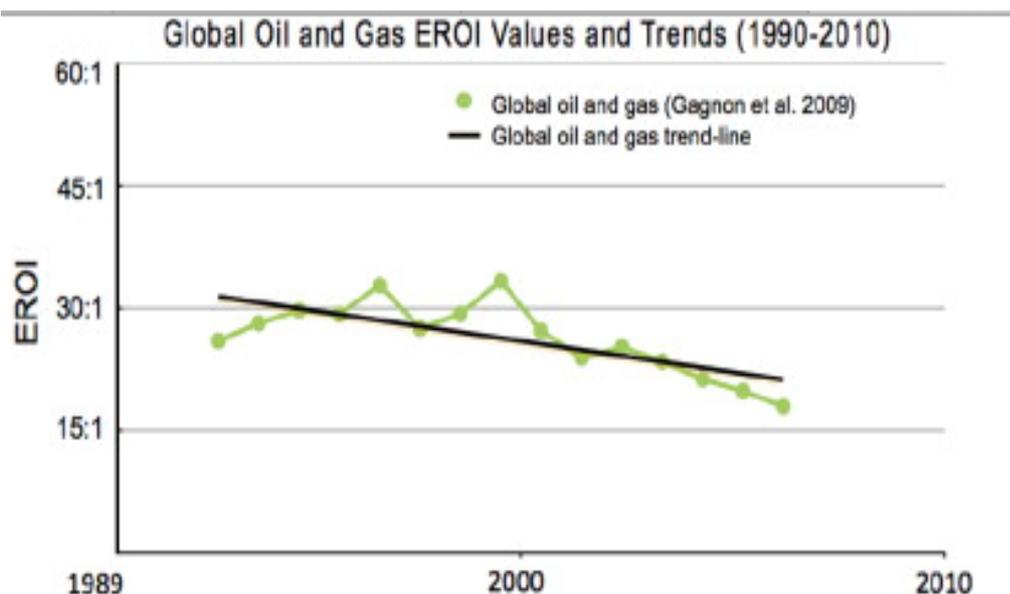


Figura 24: : Valori e Trend dell'EROI di petrolio e gas. Fonte: Gagnon, N.; Hall, C.A.S.; Brinker, L. A preliminary investigation of energy return on energy investment for global oil and gas production. *Energies* 2009, Hall, Lambert, Balogh.

L'EROI risulta essere ancora più basso per quanto riguarda l'estrazione di tipi di petrolio non convenzionale, per le sabbie e scisti bituminosi si stabilizza attorno a 4:1 per i primi e di 7:1 per i secondi (Lambert et al., 2014)

Infine, vi è l'EROI delle energie rinnovabili, quest'ultimo, come studiato da Murphy e Hall (2011) risulta addirittura al di sotto di 20:1, ottenendo così un risultato lontanissimo dall'EROI dei combustibili fossili ai loro inizi (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Anche nel caso delle materie prime può essere applicata la regola dell'aumento dei costi marginali in quanto è stato dimostrato che la qualità dei materiali grezzi attualmente stia

scadendo, una sua riduzione comporta un sovraccarico più elevato e un incremento dei danni ambientali (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

In conclusione, un incremento della spesa energetica, dovuta alle sempre maggiori quantità di energia e materie prime utilizzate al fine di estrarne altre per garantire una crescita economica, rappresenta un ostacolo per il disaccoppiamento; per poterlo realizzare sarebbe invece necessario trovare un modo per riuscire a gestire i costi marginali, in continuo aumento, derivanti dall'estrazione sia delle risorse che delle materie prime (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

3.2 LO SPOSTAMENTO DEI PROBLEMI

Un altro ostacolo al disaccoppiamento assoluto, perenne e sufficiente deriva dal fatto che spesso il disaccoppiamento di un determinato impatto rischia di avere come conseguenza l'accoppiamento o il riaccoppiamento di altri fattori ambientali, non riuscendo così a creare un miglioramento generale, ma rischiando in alcuni casi di peggiorare la situazione di fronte alla quale ci troviamo.

Ad esempio, la crescita verde tende a intravedere in alcuni fonti di energie la soluzione per risolvere gli attuali problemi ambientali, tra cui le energie rinnovabili spesso descritte come pulite e infinite. Queste ultime in realtà comportano degli impatti negativi, anche se involontari, sull'ambiente. L'energia rinnovabile, ad esempio, nonostante riesca a migliorare l'efficienza ed a ridurre la produzione di emissioni di carbonio, comporta un peggioramento delle condizioni del suolo e, quando si parla di energia idroelettrica, può comportare un aumento dei conflitti idrici (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

L'energia nucleare è uno degli esempi più rilevanti. Essa si trova in una posizione di neutralità rispetto alle emissioni di carbonio. In realtà però essa necessita l'estrazione di uranio come combustibile, aumentando, di conseguenza, l'accoppiamento dell'attività economica con questo tipo di materiale. Non bisogna inoltre sottovalutare o dimenticare i rischi socio-ecologici derivanti ad esempio dallo stoccaggio di rifiuti tossici ma anche i possibili impatti di incidenti nucleare e il probabile incremento su scala globale della

produzione di armi nucleari (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Infine, un altro esempio è quello del gas naturale, grazie al quale possiamo comprendere come si possa semplicemente spostare la produzione di gas serra da una risorsa ad un'altra. Nel 2016 il World Resource Institute aveva rilevato negli Stati Uniti un calo rilevante delle emissioni di gas serra, pari al 6%, nel periodo che andava dal 2000 al 2014. Questo dato, confrontato con l'aumento del PIL, del 28% nello stesso periodo di tempo, aveva portato gli studiosi a pensare di essere di fronte ad un fenomeno di disaccoppiamento assoluto. Tutto ciò in realtà era legato al fatto che gli Stati Uniti avevano deciso di abbandonare l'utilizzo del carbone a favore del gas naturale, considerato più ecologico. In realtà, nella fase di estrazione del gas naturale viene utilizzato il metano che risulta ancora più efficace, rispetto alla CO₂ prodotta dal carbonio, nell'intrappolare il calore che si diffonde nell'aria. La riduzione della CO₂ quindi non ha apportato dei benefici concreti dal momento che è stata semplicemente sostituita dal metano (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

3.3 L'IMPATTO DEI SERVIZI

I primi studiosi a descrivere la curva ambientale di Kuznets sostenevano l'idea che tramite la crescita economica si sarebbe riusciti ad arrivare ad una terziarizzazione dell'economia. Il processo sarebbe avvenuto partendo da un'economia basata sull'agricoltura, con un livello di impatto ambientale basso, proseguendo con un aumento del livello di inquinamento, legato alle produzioni industriali dominanti, per poi riuscire di nuovo a ridurre le emissioni dannose, grazie alla predominanza dei servizi. (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

A primo impatto, potrebbe sembrare che il settore dei servizi, prendendo in considerazione solamente il consumo diretto, permetta una riduzione dell'uso delle risorse, del consumo di energia e degli impatti ambientali dannosi, rispetto al settore primario e secondario, riuscendo a raggiungere, grazie alla terziarizzazione, un vero disaccoppiamento tra crescita e pressioni ambientali. In realtà la situazione risulta molto più complessa. Il primo limite da considerare è legato al fatto che, per raggiungere l'obiettivo di un vero disaccoppiamento, è necessaria una terziarizzazione non solamente relativa bensì assoluta; le attività industriali, infatti, di fronte ad un aumento

dei servizi devono ridurre il volume delle loro attività in termini assoluti, non solamente in percentuale (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Attualmente non vi sono situazioni in cui viene rappresentato questo scenario, al contrario, l'aumento della produzione dei servizi viene generalmente accompagnato da un aumento del volume delle attività industriali. La pressione ambientale quindi, invece di ridursi, tende ad aumentare; l'incremento dei servizi, a parità di impatto dei primi due settori, infatti, comporta semplicemente un aumento delle attività inquinanti. Questo è dovuto al fatto che anche i prodotti e i servizi di tipo immateriale necessitano delle strutture materiali, sfruttano quindi tutta una serie di attività, come l'estrazione di materie prime, strettamente connesse alla produzione di sostanze inquinanti. Per riuscire ad analizzare il vero impatto di questo settore terziario è quindi necessario includere tutti gli usi dell'energia, sia quelli diretti che quelli indiretti (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Nel 2014 l'UNEP ha individuato una relazione tra la spesa effettuata in servizi e la produzione di CO₂, evidenziando come all'aumentare del primo dato, vi sia un incremento anche del secondo. Per riuscire a comprendere tale relazione, Gadrey ha presentato alcune situazioni come esempi per meglio comprendere questa situazione. Innanzitutto, i servizi necessitano di un utilizzo importante di infrastrutture, veicoli e energia, al fine di riuscire a portare il cliente presso il fornitore o viceversa; inoltre, questi servizi nella maggior parte dei casi richiedono l'uso di infrastrutture fisiche, le quali, dopo essere state costruite, devono essere rese operative, tutti questi processi devono sfruttare quindi un gran numero di energia e materiali; infine, sfruttano strumenti come ICT o computer, oltre a tutta una serie di dispositivi necessari per avviare i processi di raffreddamento nei centri di elaborazione dei dati, tutti oggetti che non possono essere considerati neutrali nei confronti dell'ambiente (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

In conclusione, nonostante sia vero che non tutti i servizi siano uguali tra loro e che ve ne siano alcuni più desiderabili di altri, tutti richiedono un utilizzo di energia, non solo per la loro creazione ma anche per il loro funzionamento. Attualmente la terziarizzazione ha come conseguenza un disaccoppiamento solo relativo, il quale però è già avvenuto nella maggioranza dei paesi dell'OCSE, in particolar modo nei paesi che hanno raggiunto un tasso molto elevato di terziarizzazione, quindi, dove il settore dei servizi attualmente produce un valore aggiunto pari o superiore al 70%; questi paesi inoltre non possono

comprimere facilmente la parte del settore industriale che ancora permane, dal momento che vi sono dei settori che non si possono smaterializzare. I paesi che rientrano in questa categoria però presentano anche un'elevata impronta ecologica, rendendo necessario trovare altre vie effettive per diminuire il loro impatto (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

3.4 I LIMITI DEL RICICLAGGIO

I sostenitori della crescita verde e dell'idea che il disaccoppiamento assoluto sia realizzabile, attribuiscono una grande importanza al tema del riciclaggio, in quanto sostengono che se per la produzione di nuovi beni e prodotti si utilizzassero materiali derivanti non direttamente dalla natura ma da altri prodotti già realizzati in precedenza allora sarebbe possibile realizzare il disaccoppiamento delle risorse. Il riciclaggio però presenta notevoli limiti. Il vincolo più importante è legato al fatto che in natura vi sono alcune leggi che non possono essere ignorate e che limitano la possibilità di riutilizzare all'infinito un determinato materiale. In particolare bisogna sempre tener presente il concetto di entropia, che ci permette di affermare che i materiali non possono essere riutilizzati per un numero infinito di volte dal momento che sono soggetti ad un inevitabile degrado con lo scorrere del tempo. Come aveva già affermato Georgescu-Roegen, qualsiasi tipo di attività produttiva è soggetta ad una degradazione irreversibile di un numero sempre maggiore di energie e materiali². La principale conseguenza, quindi, è che i tassi di riciclaggio definiti a livello teorico sono sempre superiori rispetto a quelli che possono poi essere concretamente attuati.

Un altro evidente problema è legato alle percentuali di riciclaggio. Queste ultime tendono a raggiungere solamente livelli notevolmente inferiori rispetto a quelli che sarebbero necessari per arrivare ad un disaccoppiamento delle risorse. Basti pensare al caso dei combustibili fossili; questi ultimi attualmente rappresentano il 20% delle risorse utilizzate a livello globale, il problema principale è legato al fatto che il 98% di essi viene disperso e bruciato come fonte di energia assieme alla biomassa consumata, perciò, non può essere utilizzato nuovamente tramite un processo di riciclaggio. Per quanto riguarda i metalli speciali invece, l'UNEP, nel 2011, ha affermato che solo l'1% di essi tende ad essere

² <https://www.decrescita.it/decrescita/wp-content/uploads/Doposviluppo-Decrescita-M1.-Bonaiuti.pdf>

riciclato (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Una terza questione da analizzare è legata alla quantità effettiva di rifiuti disponibili, che possono essere immessi in un processo di riciclaggio. L'economia attuale si presenta come un'economia in crescita, che necessita, di conseguenza, di una quantità di risorse sempre più ampia e superiore rispetto alla quantità di risorse utilizzate nei decenni precedenti. Supponendo, quindi, che si possa raggiungere una percentuale di riciclaggio pari al 100%, lo scenario economico attuale, appena descritto, necessiterebbe comunque di un incremento delle risorse e dell'energia, la percentuale quindi risulterebbe ancora non sufficiente al fine di sostenere la crescita (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Si può quindi affermare che in una economia caratterizzata da una crescita moderata oppure rapida, l'efficacia effettiva del riciclaggio risulta trascurabile (Arnsperger C., Bourg D.; 2016).

Possiamo comprendere tutto ciò analizzando, ad esempio, il riciclo dell'acciaio. Secondo lo studio "The Circular Economy- A Powerful Force for Climate Mitigation", del 2018, il riciclaggio di tale materiale permetterebbe, nel 2050, ai paesi dell'UE di soddisfare fino all'85% del loro fabbisogno. Il problema si pone quando si calcola però l'effettiva richiesta di acciaio che si presenterà in futuro. Secondo questo studio, infatti, la richiesta di acciaio a livello mondiale, nel 2100, aumenterà di due volte e mezzo in confronto a quella del 2015. Se si decidesse di puntare unicamente sul riciclo di questo materiale, i risultati ottenuti, non permetterebbero di far fronte alla domanda concreta (Circular Economy Network; 2021).

Il caso dell'acciaio inoltre è molto particolare. Questo materiale, come afferma Grosse, è attualmente il materiale principale più importante riciclato. Il suo attuale tasso di riciclaggio è stabilito attorno al 62%; questa percentuale però permetterebbe di proteggere l'umanità solamente per 12 anni, ovvero permetterebbe di avere nel 2012, ad esempio, la quantità di risorse che avremmo avuto nel 2000 se non ci fossero stati dei processi di riciclaggio. Anche se la percentuale riuscisse a raggiungere il 90% si riuscirebbe a guadagnare solamente 8 anni in più, arrivando ad un ritardo di solamente 20 anni totali (Arnsperger C., Bourg D.; 2016).

Inoltre, la supposizione fatta precedentemente non sarebbe realizzabile, dal momento che, prendendo ad esempio in considerazione i metalli e la possibilità di riciclarli, non bisogna

tralasciare che essi sono soggetti ad un uso dispersivo (come nel caso dell'usura delle pastiglie dei freni) che rende impossibile riutilizzare il 100% dei metalli immessi ogni anno nell'economia (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Il tasso di crescita, quindi influisce su quello di riciclaggio, più basso è il primo, più alto sarà il secondo; nel caso, però, in cui il tasso di crescita relativo ad una determinata materia superi l'1% a livello globale, allora i possibili vantaggi derivanti dal processo di riciclaggio scompariranno.

Analizzando il tempo di "residenza" o "permanenza" nell'economia di un determinato materiale, possiamo notare come esso entri nell'economia in un determinato momento t , ed esca in un secondo momento t' ; nell'arco di tempo che intercorre tra t e t' però vi è un aumento continuo del consumo di quello stesso materiale, incrementando così il tasso di crescita. In base all'aumento di quest'ultimo, la quantità di materiale introdotta nell'economia in un momento preciso t , sarà inferiore alla quantità dello stesso materiale che entrerà un determinato numero di anni dopo (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Un esempio chiarificatore è stato riportato da Arnsperger e Bourg, i quali hanno ipotizzato, sulla base di dati inventati, che il rame abbia un tempo di "residenza" nell'economia pari a 40 anni con una percentuale di riciclaggio del 60%; sulla base di questi dati, si può quindi dedurre che si sarebbero potuti riutilizzare 4 milioni di tonnellate di rame, nel 2015, delle 6 estratte nel 1975 (Arnsperger C., Bourg D.; 2016).

Nello stesso arco di tempo però il consumo di rame aumenta, raggiungendo i 16 milioni di tonnellate; nonostante il materiale che sarebbe stato possibile riciclare, a livello globale sarebbe comunque necessario estrarre un'ulteriore quantità di rame "vergine", pari a 12 milioni di tonnellate, un dato quindi importante a livello di impatto ambientale; inoltre anche se si ipotizzasse una percentuale di riciclaggio possibile pari al 100% potremmo notare facilmente che, a causa della forte crescita del consumo di rame, il materiale riciclato risulterebbe comunque insufficiente e sarebbe quindi necessario entrarne di nuovo (Arnsperger C., Bourg D.; 2016).

Il tempo di "permanenza" all'interno dell'economia inoltre varia notevolmente da materiale a materiale, in base alle sue caratteristiche e all'uso per il quale viene impiegato; ad esempio, il ferro ha un tempo di permanenza pari all'incirca a 17 anni, per il piombo

o il litio invece il tempo si riduce e si aggira attorno ai 7 anni (Arnsperger C., Bourg D.; 2016).

Il processo stesso di riciclaggio, inoltre, comporta una serie di “perdite” e le cosiddette “materie prime secondarie” ovvero quelle ottenute tramite il riciclo, in alcuni casi, come in quello della plastica PET, hanno utilizzi differenti rispetto a quelli della materia prima.

Infine, bisogna considerare anche il fatto che una grande parte delle risorse viene utilizzata per costruire delle infrastrutture, perciò non è disponibile per un lungo periodo di tempo (Arnsperger C., Bourg D.; 2016).

In conclusione, si può dedurre che in una economia caratterizzata da una elevata crescita, gli effetti positivi del riciclaggio sono molto bassi, addirittura, in alcuni casi, insignificanti.

3.5 L'EFFETTO RIMBALZO

I sostenitori del disaccoppiamento poggiano le loro teorie su un'altra argomentazione ovvero sulla possibilità di poter migliorare l'efficienza delle risorse utilizzate, riuscendo così a realizzare in concreto un effettivo decoupling. Spesso però viene trascurata un'implicazione legata al processo di miglioramento dell'efficienza delle risorse, ovvero, l'effetto rimbalzo. Con l'espressione “effetto rimbalzo” viene indicato il divario che si verifica tra la riduzione prevista di un determinato fenomeno, a seguito dell'attuazione di una strategia finalizzata alla diminuzione degli impatti ambientali, e la riduzione che si realizza in concreto (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.). Le strategie analizzate si pongono tutte come obiettivo da raggiungere la riduzione degli impatti ambientali, per mezzo di un aumento dell'eco-efficienza; quest'ultimo termine descrive la relazione che si instaura tra un risultato e le risorse utilizzate per realizzarlo, in altre parole, tra un output e l'input sia di energia che di materia. L'aumento dell'eco-efficienza può essere raggiunto in tre modi differenti: il primo si verifica quando si riesce ad aumentare la quantità di output mantenendo invariata quella degli input; il secondo prevede uno scenario nel quale l'output rimane invariato, e sarà l'input a diminuire; nel terzo invece si presenta una maggiore quantità sia dell'output che dell'input, quest'ultimo però prevede un aumento di minore entità rispetto all'aumento legato all'output (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).

L'effetto rimbalzo può essere calcolato sottraendo al minor impatto atteso il minor impatto effettivo il cui risultato deve essere poi diviso per il minor impatto atteso, ottenendo così un numero che rappresenta i benefici attesi che non hanno trovato una realizzazione concreta, in percentuale. In tal modo si può comprendere se una determinata strategia ha raggiunto più o meno gli obiettivi che si era prefissata di ottenere (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).

Vi sono poi due casi estremi; il primo è il caso dei “backfire” ovvero quello di situazioni in cui l'effetto rimbalzo supera il 100%, provocando moltissimi danni a livello ambientale, in questo scenario, i consumi, a seguito di un miglioramento dell'efficienza, superano il livello che avevano precedentemente. Il secondo caso invece è opposto al primo ovvero quello scenario in cui l'effetto rimbalzo raggiunge un livello addirittura inferiore allo zero, portando i consumi ad un livello inferiore a quello che essi avevano in precedenza. (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.)

La differenza che si viene a creare tra il risultato atteso e quello effettivo può essere dovuta a differenti cause. Quella più analizzata è definita “effetto rimbalzo indotto dal prezzo”, ovvero l'aumento dei consumi che deriva dalla riduzione dei costi permessa, a sua volta, da un incremento dell'efficienza; in questa situazione i consumatori ed i produttori possono sfruttare una quantità di beni e di servizi senza dover incrementare il budget monetario che vi dedicavano in precedenza (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).

Gli effetti rimbalzo vengono poi divisi in due categorie sulla base del livello considerato. Vi sono quelli micro, divisi a loro volta in effetti rimbalzo diretti e indiretti, e quelli macro. Gli effetti rimbalzo diretti riguardano un determinato bene o servizio al quale è stata applicata una specifica innovazione che ha permesso di raggiungere una maggiore eco-efficienza. L'aumento dell'efficienza porta a ridurre i costi del bene o del servizio, l'effetto rimbalzo si ha quando a tutto ciò consegue un aumento della domanda. Al contrario la domanda potrebbe anche ridursi, portando invece al caso delle “inferior good” (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).

L'effetto rimbalzo indiretto invece si verifica quando ad aumentare non è la domanda o il consumo dello stesso bene o servizio la cui efficienza è stata incrementata, bensì un altro. Il risparmio tratto dall'incremento dell'efficienza di un bene, come può essere la benzina, e la conseguente riduzione del suo prezzo, può portare un soggetto economico ad indirizzare la parte di denaro prima destinata a quel bene, verso la realizzazione di

spese che prima non avrebbe potuto realizzare (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).

Estendendo il livello di analisi si può parlare di effetto rimbalzo “economy wide”, nel quale vengono inclusi da un lato tutti gli effetti rimbalzo diretti e indiretti causati da un elevato numero di agenti economici e dall’altro specifici meccanismi che vengono attuati ad un livello più ampio quindi macro. La riduzione del prezzo legata ad un miglioramento dell’efficienza potrebbe infatti comportare un incremento della domanda di quei processi che racchiudono le risorse considerate, incrementando quindi la crescita economica e i conseguenti impatti ambientali (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).

Questo principio era già stato espresso tramite una teoria di un secolo e mezzo fa, ovvero il cosiddetto “Paradosso di Jevons”, secondo il quale determinate circostanze possono comportare un aumento e non una riduzione del consumo totale di energia, a seguito di un miglioramento dell’efficienza. Il nome deriva dal suo creatore ovvero Jevons, economista, che nel 1865, nel “The coal question” affermò che un miglioramento del motore a vapore comportava un incremento del consumo di carbone, non una sua riduzione come molti sostenevano. Lo stesso concetto è stato poi ripreso durante le crisi petrolifere tramite il “Postulato di Khazzoom-Brookes”. Col tempo si sono sviluppate due posizioni differenti rispetto a tale paradosso e alle sue più recenti formulazioni. La prima posizione sostiene e cerca di enfatizzare il fatto che se non ci fossero stati dei miglioramenti a livello di efficienza negli anni passati allora il consumo attuale delle risorse sarebbe decisamente superiore, nella seconda invece, si vuole sottolineare che attualmente vi è un consumo di risorse maggiore rispetto ai decenni precedenti proprio a causa del miglioramento dell’efficienza (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.). Per comprendere meglio le due visioni si può ricorrere ad un grafico realizzato da IEA nel 2005:

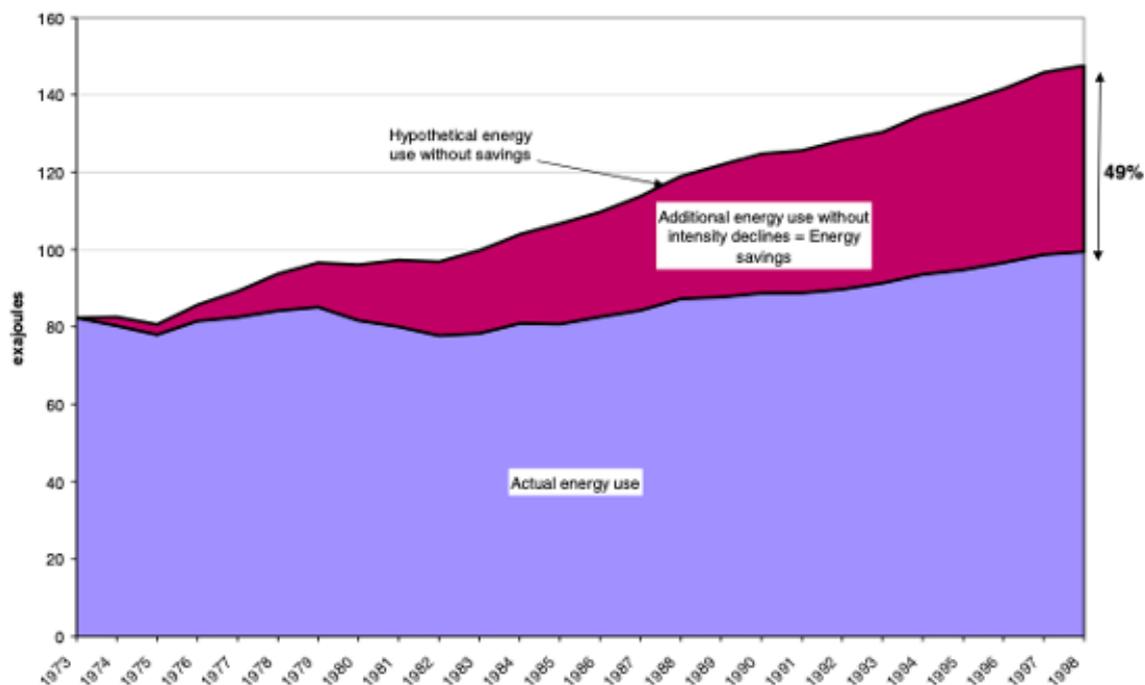


Figura 25: Fonte: *The experience with energy efficiency policies and programmes in IEA countries*, IEA, 2005

Il grafico è diviso in due parti differenti, in quella situata in basso viene riportato il consumo di energia effettivo di 11 paesi dell'OCSE in un intervallo di tempo che parte dal 1973 e termina nel 1998; al contrario la parte superiore indica il consumo che possiamo ipotizzare si sarebbe registrato se non vi fosse stato un miglioramento dell'efficienza e si fosse mantenuta per tutti gli anni l'intensità energetica del 1973. Le due teorie di fronte a questo grafico analizzano aspetti diversi. La prima sottolinea il fatto che vi è stato un importante risparmio energetico tra il 1973 e il 1998 dal momento che il consumo effettivo è stato inferiore del 49% rispetto a quello ipotizzato. La seconda teoria invece pone l'attenzione sul fatto che tra il 1973 e il 1998 vi è stato un incremento del consumo effettivo del 13%. Entrambe presentano comunque delle debolezze: quest'ultima ritiene la variazione del costo dei servizi energetici sia la causa unica della variazione della domanda; la prima invece ritiene che la variazione della domanda di servizi non debba essere associata alla diminuzione del loro costo in quanto sostiene che queste due variabili siano indipendenti (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).

Il rimbalzo può ancora essere diviso in parziale e totale, in relazione al fenomeno del disaccoppiamento. Il rimbalzo parziale caratterizza uno scenario nel quale il

disaccoppiamento viene rallentato dall'effetto rimbalzo, mentre il rimbalzo totale lo inverte del tutto (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Per riuscire a calcolare l'effetto rimbalzo è necessario definire i confini, sia dal punto di vista temporale, scegliendo se fare un'analisi basata sul corto, medio o lungo termine, che dal punto di vista dei limiti del sistema preso in considerazione, quindi decidere se si vuole analizzare un nucleo familiare, un'impresa oppure l'economia nazionale o globale. Il campo in cui sono state riscontrate minori difficoltà è quello del rimbalzo diretto, le cui analisi hanno permesso di affermare che attualmente il fenomeno si realizza e che nei paesi industrializzati risulta essere compreso tra il 10% e il 30% nella maggioranza dei servizi, come riportato dalla figura 26 (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).

| Tipologia di servizio | Range dei valori | Migliori stime | Grado di confidenza |
|--------------------------|------------------|----------------|---------------------|
| Trasporto motorizzato | 5-87% | 10-30% | Alto |
| Riscaldamento domestico | 1,4-60% | 10-30% | Medio |
| Raffrescamento domestico | 1-26% | 1-26% | Basso |
| Altri servizi energetici | 0-49% | <20% | Basso |
| Riscaldamento dell'acqua | <10-40% | ?? | Molto basso |

Figura 26: Stime dell'effetto rimbalzo diretto di lungo termine per il consumo di servizi energetici nei paesi OCSE. Fonte: *Ecoefficienza e Rebound Effect, modelli di misurazione e determinanti socioculturali*. O.Arrobbio, M.Bonaiuti, G.Garrone, S.Giaccaria

Nel passaggio da una analisi di tipo micro, comprendente l'effetto rimbalzo diretto, ad un livello più macro che analizza anche l'effetto indiretto ed economy-wide nel lungo termine, i metodi di misurazione possono variare e moltiplicarsi, dal momento che vi è un consenso sempre minore a livello globale. Non sono comunque mancati i tentativi di misurazione, come riportato dalla figura 27: (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.)

| Studio | Paese / Regione | Effetto rimbalzo economy wide |
|------------------------------|-----------------|--|
| Semboja (1994) | Kenya | 170-350% |
| Dufornaud et al. (1994) | Sudan | 47-77% |
| Van Es et al. (1998) | Paesi Bassi | 15% |
| Vilkstrom (2004) | Svezia | 50-60% |
| Washida (2004) | Giappone | 35-70% |
| Grepperud e Rasmussen (2004) | Norvegia | >100% per l'elettricità; di entità modesta per l'uso di petrolio |
| Glomsrod e Wei (2005) | Cina | >100% |
| Hanley et al. (2005) | Scozia | 120% |
| Allan et al. (2007) | Regno Unito | 30-50% |
| Hanley et al. (2009) | Scozia | 132% per l'elettricità; 134% per altri tipi di energia |

Figura 27: *Differenti studi di misurazione dell'effetto rimbalzo economy wide. Fonte: Ecoefficienza e Rebound Effect, modelli di misurazione e determinanti socioculturali. O.Arrobbio, M.Bonaiuti, G.Garrone, S.Giaccaria*

Osservando la tabella si può notare che vi sono alcune situazioni nelle quali si presenta il fenomeno descritto in precedenza del backfire. Jenkins et al. (2011) propone alcuni fattori che rendono più probabile il verificarsi di tale fenomeno:

- Multi-factor productivity improvements: uno scenario nel quale si verificano miglioramenti nell'efficienza di più fattori parallelamente, porterebbe ad un maggior effetto rimbalzo rispetto a quello che si avrebbe se vi fosse un miglioramento unicamente di un fattore (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).
- Qualità degli input. Secondo alcuni studiosi, una delle cause della crescita economica recente sarebbe stata la disponibilità maggiore di input energetici ad alta qualità ovvero input in grado di fornire livelli di utilità maggiori. Un esempio di questi input è l'elettricità (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).
- Effetti di frontiera e tecnologie pervasive. Molti casi di backfire sono stati causati dall'aumento dell'efficienza di alcune tecnologie sfruttabili in molti campi e in prodotti differenti, permettendo così un incremento dell'utilizzo di queste tecnologie e lo sviluppo di settori industriali nuovi (Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S.).

3.6 LA DELOCALIZZAZIONE DEI COSTI

Nelle nazioni industrializzate per prime si verifica un disaccoppiamento assoluto, dovuto allo spostamento in altri paesi della loro produzione ad alta intensità biofisica. Quello

che si attua in questi paesi però è un disaccoppiamento apparente, definito “disaccoppiamento tramite la delocalizzazione dei costi” (UNEP, 2014) o “disaccoppiamento virtuale” (Moreau e Vuille, 2018). I paesi in questione, infatti, non hanno veramente raggiunto una fase di disaccoppiamento assoluto, ma vi è l’illusione che questo avvenga dal momento che essi tendono a delocalizzare la loro produzione, in particolar modo quelle attività che hanno un alto impatto ambientale, in altri paesi (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Questo fenomeno di disaccoppiamento virtuale può essere diretto o indiretto, il primo si verifica quando vi è una scelta intenzionale di spostare parte della produzione in luoghi dove le normative ambientali risultano più blande, in questo caso si parla di “ipotesi del paradiso dell’inquinamento”, al contrario, il secondo si attua quando l’effetto è legato ad una somma di fattori differenti, tra cui possiamo trovare il costo del lavoro, la capacità industriale o l’accesso alle risorse. Di conseguenza, la globalizzazione porta a concentrare le attività più inquinanti nei paesi con una minore regolamentazione, che spesso sono quelli con un reddito inferiore, favorendo la realizzazione di un disaccoppiamento nei paesi più industrializzati, a scapito dei paesi, a basso consumo, dove i costi ambientali sono esternalizzati (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

Dunque, vi è semplicemente un disaccoppiamento illusorio, definito appunto “Illusione locale o geografica”, dovuta ad una delocalizzazione del carico ambientale, definita anche delocalizzazione degli oneri (Parrique, Barth, Briens, Kereschener Kraus-Polk, Kuokkanen, Spangenberg; 2019).

In conclusione, possiamo affermare che le percezioni del rischio climatico e dei costi-benefici delle strategie politiche perseguite sono modellate dalle performance delle economie a livello locale, nazionale e mondiale. Per tradizione l’indicatore utilizzato per calcolare tali performance è il PIL, gli sforzi dei differenti governi infatti sono sempre stati indirizzati verso l’incremento di tale dato, dando per scontato che esso valutasse anche le esternalità ambientali. La curva di Kuznets è stata spesso usata come punto di riferimento, con la sua teoria secondo la quale inizialmente assieme ad un incremento dello sviluppo economico vi è anche un aumento degli impatti ambientali; secondo Kuznets però questi ultimi crescono fino a quando non raggiungono un apice, a quel punto ad ogni incremento dello sviluppo economico corrisponderà una riduzione degli impatti

biofisici. Tale teoria è stata testata in contesti differenti e non ha prodotto i risultati sperati (IPCC; 2022).

Recentemente, sono aumentate le voci di economisti ecologisti e scienziati politici che sostengono la necessità di orientarsi verso strategie differenti dalla crescita verde in quanto queste ultime risulterebbero insostenibili e rischiose a causa dell'attuale difficoltà nel separare la crescita economica dagli impatti biofisici (IPCC; 2022). Gli studi sul decoupling mostrano infatti come esso non permetta di raggiungere gli obiettivi sperati (Parrique; 2021), nella migliore delle ipotesi, infatti, si potrebbe verificare solamente un disaccoppiamento relativo, ma mai assoluto e duraturo (Pérez; 2021). Nell'ultimo decennio sono state proposte strategie di decrescita e gestione senza crescita finalizzate al raggiungimento della sostenibilità ambientale e del progresso socio-economico (IPCC; 2022).

Come analizzeremo nel prossimo capitolo, per sviluppare strategie più efficaci ed efficienti risulta necessario prendere in considerazione oltre allo studio dei limiti planetari, anche il cambiamento climatico ed i suoi impatti biofisici, sociali ed economici.

CAPITOLO III: LE CONSEGUENZE SOCIO-ECONOMICHE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

1. L'IPCC E GLI STUDI SUL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Secondo un'opinione ormai largamente condivisa nella comunità scientifica, il cambiamento climatico è il fenomeno che maggiormente rischia di modificare e spezzare in maniera irreversibile gli equilibri fragili dell'ecosistema del nostro pianeta, comportando delle conseguenze, sia dal punto di vista biofisico che da quello socio-economico, non trascurabili dall'umanità intera.

A livello internazionale, l'organismo che si occupa di valutare e studiare la scienza riferita ai cambiamenti climatici è l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC; 2022).

L'IPCC è stato creato dall'WMO, Organizzazione Meteorologica Mondiale e dall'UNEP, ovvero il Programma Ambientale della Nazioni Unite, nel 1988, stesso anno in cui è stato ufficialmente approvato da parte dell'Assemblea Generale dell'ONU (IPCC; 2022).

Attualmente l'IPCC conta 195 stati membri e la sua sede ufficiale si trova a Ginevra. Il suo ruolo principale è quello di analizzare tutte le informazioni di tipo scientifico, tecnico e socio-economico necessarie al fine di comprendere le basi scientifiche e le conseguenze del cambiamento climatico, inoltre, valuta le possibili strategie di mitigazione o adattamento perseguibili dai governi in modo da ridurre l'impatto di tali mutamenti.

L'IPCC durante i suoi lavori non effettua ricerche proprie bensì analizza un grande quantitativo di articoli scientifici pubblicati nel corso degli anni, individuando gli argomenti sui quali vi è un generale accordo da parte della comunità scientifica, quelli che necessitano di studi ulteriori e più approfonditi e quelli che portano ad una spaccatura tra gli esperti. Il lavoro dell'IPCC permette quindi di fotografare, tramite le sue pubblicazioni, le conoscenze scientifiche e indicare le strade che possono essere intraprese dai responsabili politici, in base alle indicazioni dei governi ed ai loro obiettivi, senza imporre nessuna scelta o azione ai differenti stati (IPCC; 2022).

A partire dal 1988 l'IPCC ha quindi prodotto una serie di rapporti scientifici, divisi in Assessment Reports, ovvero Rapporti di Valutazione scientifica sul livello dell'effettiva conoscenza sui cambiamenti climatici, pubblicati all'incirca ogni 6/7 anni, Special Reports, ovvero Rapporti Speciali e Technical Papers, Articoli Tecnici, focalizzati su argomenti di particolare interesse o specifiche questioni poste da governi, organizzazioni internazionali e convenzioni ambientali come la Convenzione di Vienna per la protezione dello strato di ozono o la Convenzione per combattere la desertificazione (IPCC; 2022).

2. DAL PRIMO RAPPORTO DI VALUTAZIONE ALL'AR6

I rapporti di valutazioni prodotti dall'IPCC a partire dal 1988 sono in totale sei, ai quali bisogna ovviamente aggiungere tutti i rapporti metodologici, i rapporti speciali e quelli tecnici, pubblicati al fine di rispondere a determinate richieste ed interrogativi di differenti organizzazioni internazionali o governi (IPCC; 2022).

In questo capitolo l'attenzione si concentrerà principalmente sugli ultimi rapporti di valutazione, per introdurre infine il rapporto AR6, pubblicato nel 2022.

Il Primo Rapporto di Valutazione dell'IPCC (FAR) è stato pubblicato nel 1990; tramite questo documento si è evidenziata l'importanza del cambiamento climatico come una delle più rilevanti sfide attuali, in quanto produce conseguenze con un impatto globale e necessita, per la sua risoluzione, un percorso di cooperazione tra governi differenti, quindi a livello internazionale (IPCC; 2022).

Il Secondo Rapporto di Valutazione (SAR), intitolato *Climate Change 1995*, è stato pubblicato cinque anni più tardi rispetto al primo. Tale documento è composto da tre rapporti differenti, ciascuno redatto da un diverso gruppo di lavoro. Il primo rapporto "*La scienza del cambiamento climatico*" individua nell'anidride carbonica l'elemento antropogenico che maggiormente contribuisce al fenomeno del cambiamento climatico, afferma inoltre che molti impatti dovuti a quest'ultimo fenomeno possono essere considerati come irreversibili. Il secondo e il terzo rapporto sono intitolati rispettivamente "*Impatti, Adattamento e mitigazione del cambiamento climatico: analisi tecnico-scientifiche*" e "*La dimensione economica e sociale del cambiamento climatico*" (IPCC; 2022).

Successivamente, è stato pubblicato nel 2001 il Terzo Rapporto di Valutazione (TAR), seguito nel 2007 dal Quarto Rapporto (AR4). Anche quest'ultimo è stato superato dai nuovi risultati riportati nel Quinto Rapporto di Valutazione (AR5) pubblicato nel 2014. L'analisi proposta all'interno dell'AR5 è il frutto del lavoro di un team composto da oltre 830 scienziati provenienti da più di 80 stati differenti e si basa sull'analisi di oltre 30.000 articoli scientifici (IPCC). L'AR5 ha stimato che per un aumento della temperatura pari o superiore a 2°C vi sarà una perdita economica globale annuale compresa tra lo 0,2% e il 2% del PIL (IPCC; 2014)

Nel primo documento, pubblicato nel settembre del 2013, l'IPCC affermava che la possibilità che il riscaldamento globale fosse una conseguenza delle azioni dell'uomo si aggirava attorno al 95%. Negli altri rapporti pubblicati l'anno seguente si trattava sia l'impatto causato dall'aumento delle temperature che le soluzioni possibili. Inoltre, il rapporto affermava che se non vi fosse stata una azione coordinata a livello internazionale, con l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO₂, le temperature alla fine del ventunesimo secolo sarebbero aumentate anche di cinque gradi rispetto al livello preindustriale (Focus; 2014)

Infine, tra il 2021 e il 2022 è stato pubblicato l'ultimo Rapporto di Valutazione, ovvero il sesto, che offre un'analisi comprendente tutte le conoscenze attualmente possedute

dalla comunità scientifica per quanto riguarda il cambiamento climatico e i suoi impatti biofisici e socio-economici.

3. IL SESTO RAPPORTO DI VALUTAZIONE

Il sesto Rapporto di Valutazione (AR6) si basa sul contributo di tre differenti Gruppi di Lavoro.

Il primo di questi gruppi si è occupato dell'analisi di tutta la letteratura scientifica pubblicata fino al 31 gennaio 2021 per quanto riguarda lo studio fisico del cambiamento climatico. L'obiettivo di tale gruppo è quello di dimostrare in che modo il clima si è evoluto fino al giorno d'oggi ma soprattutto il perché di tale cambiamento, soffermando l'attenzione sull'influenza che hanno avuto le attività umane sul clima stesso. Il rapporto è stato intitolato "Le basi fisico-scientifiche" (IPCC Focal Point for Italy).

Il gruppo di lavoro II ha pubblicato il rapporto "Impatti, adattamento e vulnerabilità", all'interno del quale sono stati analizzate tutte le pubblicazioni scientifiche antecedenti al 1 settembre 2021. Gli autori si sono concentrati sulla valutazione degli impatti, sia con una prospettiva globale che regionale, del cambiamento climatico, soffermandosi sulle conseguenze rilevanti per l'umanità, le società e i differenti insediamenti. Il rapporto inoltre analizza i limiti e gli sforzi di adattamento e mitigazione della società umana (IPCC Focal Point for Italy).

Infine, il terzo gruppo di lavoro si è concentrato sullo studio di due differenti aspetti, da un lato ha analizzato i progressi che sono stati fatti nel cercare di ridurre e limitare le emissioni, dall'altro ha valutato il ventaglio di possibili azioni di mitigazione attuabili in settori come la silvicoltura, l'uso del suolo, l'industria, i trasporti e l'agricoltura. Infine, il rapporto "Mitigazione" ha analizzato il legame tra le azioni volte a limitare il riscaldamento globale a breve e medio termine e quelle a lungo termine (IPCC Focal Point for Italy).

I tre gruppi hanno quindi svolto un lavoro che:

- Analizza le conseguenze del cambiamento climatico e valuta i suoi impatti sia su scala globale che su scala regionale
- Analizza i possibili rischi e le vulnerabilità future a seconda di differenti scenari di sviluppo socioeconomico (detti SSP ovvero Shared Socioeconomic Pathways)

- Studia le possibili strategie di adattamento, analizzandone l'efficacia, la fattibilità e le sue limitazioni
- Dimostra come il livello di mitigazione e la misura in cui vengono raggiunti gli obiettivi di sviluppo sostenibile influiscano sull'effettivo successo delle azioni di adattamento (Lionello; 2022)

L'AR6 si contraddistingue rispetto ai rapporti precedenti per alcune caratteristiche. In primo luogo, gli autori rivolgono maggiormente l'attenzione, in tutti e tre i report, alle possibili soluzioni, grazie anche ad una migliore collaborazione fra i differenti gruppi di lavoro. In secondo luogo, viene dato maggiore rilievo alle informazioni regionali; la ragione principale è la volontà di cercare delle soluzioni locali al fenomeno globale del cambiamento climatico, in quanto tali strumenti sono fondamentali al fine di permettere uno sviluppo resiliente al riscaldamento globale stesso (IPCC Focal Point for Italy).

Prima della sua pubblicazione, il presidente dell'IPCC Hoesung Lee ha presentato il sesto rapporto di valutazione con queste parole: *“Questo rapporto è un terribile avvertimento sulle conseguenze dell'inazione. Mostra che il cambiamento climatico è una minaccia grave e crescente per il nostro benessere e per un pianeta sano. Le nostre azioni di oggi determinano il modo in cui le persone si adattano e la natura risponde ai crescenti rischi connessi ai cambiamenti climatici (...)Il rapporto sottolinea l'urgenza di un'azione immediata e più ambiziosa per affrontare i rischi climatici. Le mezze misure non sono più una possibilità”*.

Attualmente, secondo le stime riportate nel report, vi è una probabilità superiore al 50% che nei primi anni successivi al 2030 la temperatura globale supererà l'aumento di 1.5°C rispetto ai livelli preindustriali, questo significherebbe che la data di tale superamento sarebbe più vicina di quanto previsto nel rapporto speciale del 2018 dello stesso IPCC focalizzato proprio sul riscaldamento di 1.5°C. È praticamente certo che anche la soglia di 2°C verrà superata prima della fine del XXI secolo. L'unica possibilità per far rimanere l'aumento della temperatura al di sotto di 1.5°C entro la fine del secolo sarebbe quella di ridurre, a partire dal 2020, le emissioni di gas serra, fino ad arrivare attorno al 2050 ad un livello pari a zero di emissioni nette di CO₂ (IPCC Focal Point for Italy; 2022). Negli ultimi decenni però, come affermato nel primo capitolo, la concentrazione di CO₂ è cresciuta del 44% rispetto ai livelli preindustriali, raggiungendo il picco più alto nel 2018 (Le Quéré et al.; 2018).

Leggendo l'AR6 si evince, inoltre, che riuscire a pianificare e realizzare un modello di sviluppo che sia resiliente ai cambiamenti climatici risulta problematico già al giorno d'oggi, con un eventuale aumento della temperatura di 2°C rispetto ai livelli preindustriali, tale possibilità risulterebbe praticamente impossibile da attuare. Si comprende perciò l'urgenza di agire fin da subito, come ha affermato il copresidente del gruppo di lavoro II dell'IPCC, Hans-Otto Pörtner: *“L'evidenza scientifica è inequivocabile: i cambiamenti climatici sono una minaccia al benessere delle persone e alla salute del pianeta. Ogni ulteriore ritardo nell'azione concertata a livello globale farà perdere quella breve finestra temporale – che si sta rapidamente chiudendo – per garantire un futuro vivibile”* (IPCC Focal Point for Italy; 2022).

Nel rapporto, infine, si afferma che attualmente i progressi per quanto riguarda l'adattamento non risultano uniformi, anzi, il divario tra le azioni adottate e le azioni effettivamente necessarie al fine di fronteggiare le conseguenze del cambiamento climatico, tende ad aumentare, in particolar modo tra le popolazioni a basso reddito (IPCC Focal Point for Italy; 2022).

3.1 GLI IMPATTI BIOFISICI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il sesto rapporto di valutazione dell'IPCC si concentra sulle differenti interazioni tra il clima, gli ecosistemi e l'umanità. I rapporti tra questi fattori sono all'origine degli impatti legati al cambiamento climatico e del degrado e della perdita di ecosistemi e biodiversità, l'IPCC ha sintetizzato tale relazione nella figura qui riportata.

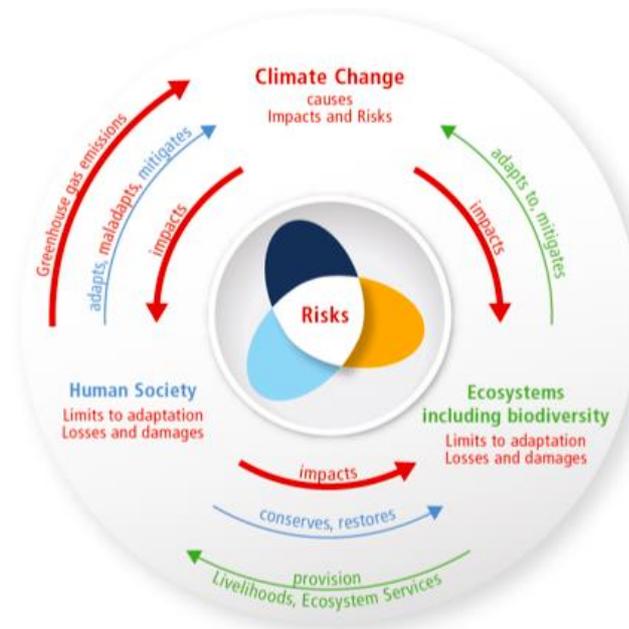


Figura 19: Rapporto tra cambiamento climatico, società umana e ecosistemi. Fonte: IPCC, “Impacts, Adaptation and Vulnerability”; 2022

Come si può dedurre dalla figura, la società umana provoca il cambiamento climatico, il quale tramite una serie di fattori causa perdite e danni; in risposta a questi ultimi e alle loro conseguenze negative, la società umana e gli ecosistemi possono cercare di adattarsi e di mitigare il cambiamento climatico stesso, tutto ciò, però, entro determinati limiti. Per quanto riguarda il rapporto tra gli ecosistemi e la società umana, i primi forniscono sia gli strumenti necessari alla sopravvivenza che i servizi ecosistemici; al contrario, la società umana può sia avere un forte impatto sugli ecosistemi, che agire al fine di riuscire a ripristinarli e a conservarli (IPCC; 2022). All’interno della figura anche i colori hanno il loro rilievo, il blu rappresenta le più importanti interazioni della società umana, il verde è utilizzato per indicare le interazioni degli ecosistemi, infine, il rosso rappresenta gli impatti che possono derivare sia dal cambiamento climatico che dalle attività della società umana (IPCC; 2022).

L’AR6 analizza inoltre, nello specifico gli impatti e rischi, i quali possono essere rappresentati come danni oppure come perdite sia economiche che non economiche, derivanti dal cambiamento climatico sia di tipo biofisico che di tipo socio-economico. Per poter studiare l’evoluzione del clima e degli impatti biofisici, viene identificato un periodo, quello compreso tra il 1850 e il 1900, come punto di riferimento per la temperatura globale preindustriale, in modo da poter confrontare tale dato con la situazione attuale e con quella prevista in futuro, nel breve termine, ovvero il periodo compreso tra il 2021 e il 2040, in quello medio (tra il 2041 e il 2060) ed infine in quello lungo ovvero il periodo racchiuso tra il 2081 e il 2100 (IPCC; 2022).

La nostra conoscenza attuale sugli impatti e sui rischi prodotti dal cambiamento climatico è aumentata rispetto al rapporto AR5. Oggi la comunità internazionale concorda sul fatto che la causa principale di questo cambiamento, il quale comporta perdite e danni sia nei confronti della natura che dell'uomo, sia l'umanità (IPCC; 2022).

L'AR6 inoltre informa non solo sulle innumerevoli evidenze degli impatti sui differenti ecosistemi, ma dimostra anche come questi impatti tendano ad aumentare al crescere del riscaldamento globale (Lionello; 2022).

Tra gli impatti più rilevanti vi sono i danni causati agli ecosistemi, la perdita di biodiversità, la siccità e la scarsità idrica, l'innalzamento del livello del mare e gli eventi meteorologici estremi (IPCC; 2022).

Gli ecosistemi, a livello globale, sono stati colpiti da danni e perdite, molte delle quali ormai irreversibili; il cambiamento climatico ha causato un elevato deterioramento delle strutture e delle funzioni dei differenti ecosistemi, modificandone sia la capacità di resilienza che quella di adattamento. Per quanto riguarda la biodiversità, all'incirca 1 specie su 2 a livello mondiale si è spostata, indirizzandosi, tendenzialmente, verso i poli, oppure raggiungendo luoghi sempre più elevati, inoltre l'aumento delle temperature ha comportato la perdita di numerose specie a livello locale; alcune di queste specie, inoltre, si stanno estinguendo provocando quindi delle perdite irreversibili.

Rispetto ai report precedenti, l'AR6 ritiene che l'entità degli impatti causati dal cambiamento climatico sia superiore rispetto ai dati stimati in passato.

Nella seguente tabella sono riportati gli impatti sugli ecosistemi (IPCC; 2022).

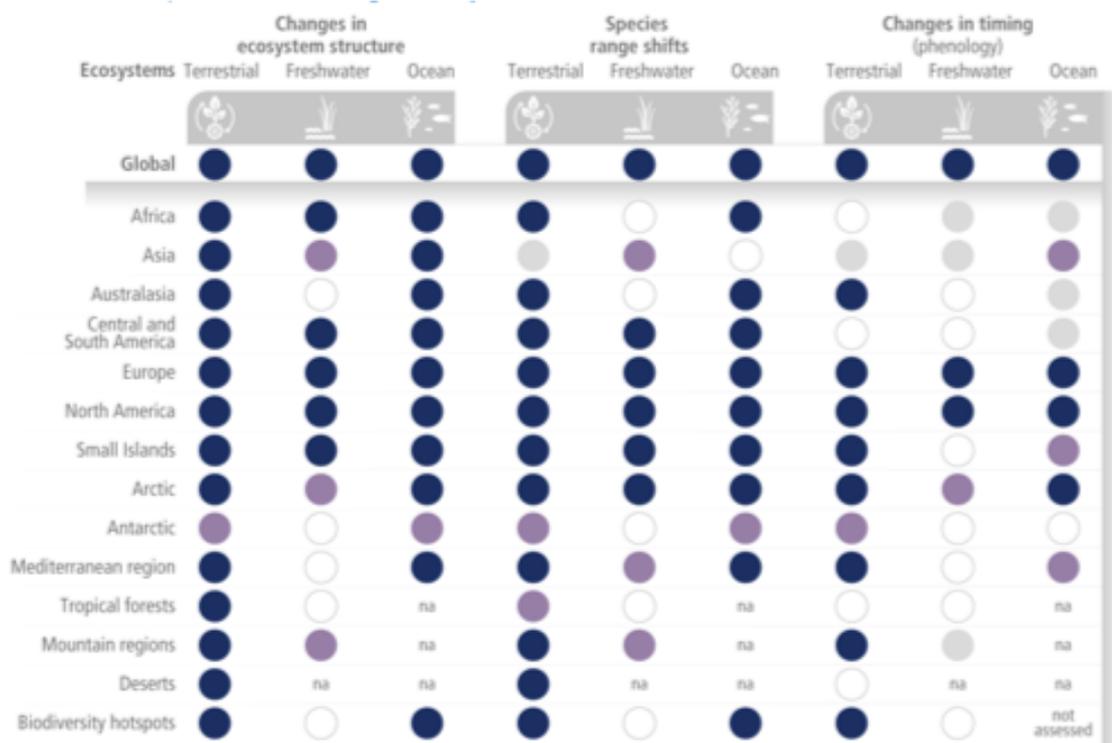


Figura 20: Impatti del cambiamento climatico sugli ecosistemi. Fonte: IPCC, "Impacts, Adaptation and Vulnerability"; 2022

Come possiamo notare, nella tabella sono presenti due tipi di valutazioni, una a livello globale ed una a livello regionale. L'analisi su scala globale può far riferimento ad un numero più ampio di studi, permettendo, di conseguenza, una maggiore sicurezza nelle sue affermazioni rispetto alle analisi su scala locale, le quali si basano su studi più limitati; è necessario inoltre specificare che queste ultime concentrano i loro studi su una determinata regione, non su un paese nello specifico. Analizzando la figura 29 possiamo quindi notare che il cambiamento climatico, a livello globale, ha già alterato tutti i tipi di ecosistemi terrestri, d'acqua dolce e oceanici, portando delle evidenti conseguenze anche a livello regionale (dove vi sono dati sufficienti per trarre delle conclusioni). I differenti colori indicano il livello di fiducia nell'imputare al cambiamento climatico i diversi impatti; il colore più scuro indica un livello di confidenza molto alto, il bianco, al contrario, rappresenta una situazione nella quale i dati non sono sufficienti per poter formulare delle ipotesi, infine, nel caso non sia applicabile un determinato colore allora si utilizza il termine "na" (IPCC; 2022).

L'IPCC ha rappresentato graficamente anche gli impatti del cambiamento climatico sulla società umana e sulle sue strutture, come possiamo notare osservando la figura 30.

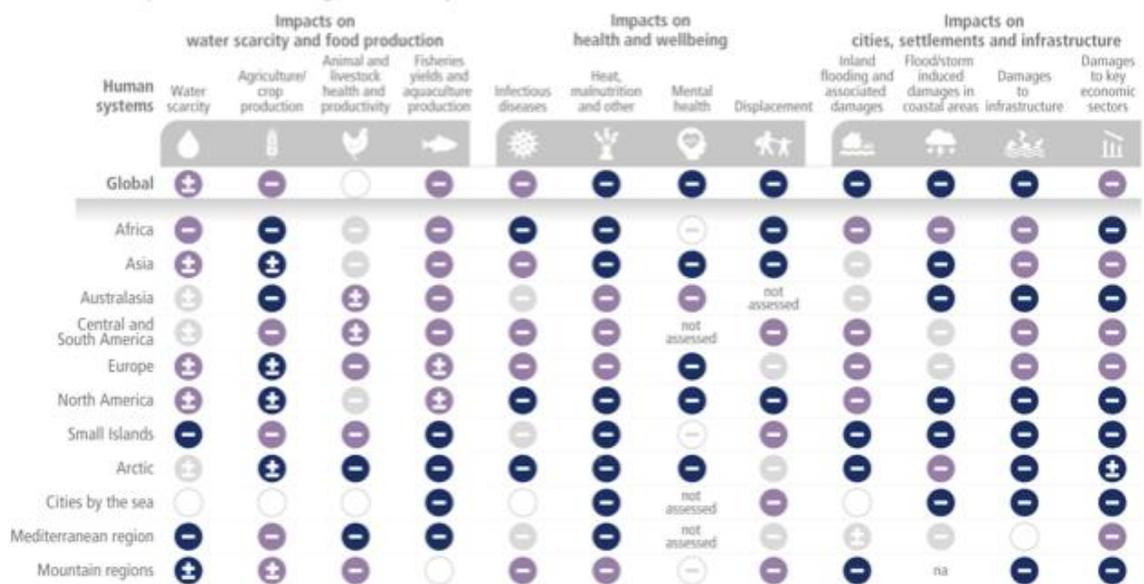


Figura 21: Impatti del cambiamento climatico sui sistemi umani. Fonte: IPCC, “Impacts, Adaptation and Vulnerability”; 2022

Gli impatti sono stati raggruppati in tre macrocategorie: gli impatti sulla scarsità idrica e la produzione di cibo, quelli sulla salute e il benessere ed infine quelli sulle città, gli insediamenti e le infrastrutture. Come per l’analisi degli impatti sugli ecosistemi, anche qua possiamo identificare due differenti livelli di studio, quello globale e quello locale, oltre ai differenti colori che indicano come nella figura 29 i livelli di fiducia e certezza. Una differenza si evidenzia nell’utilizzo dei simboli “+” e “-“, entrambi servono a rappresentare la direzione dei diversi impatti, il primo rappresenta la presenza di un impatto positivo, il secondo di uno negativo, mentre, quando sono presenti entrambi i simboli allora si rileva la presenza, in quella zona, sia di impatti positivi che di impatti negativi, evento che potrebbe, ad esempio, verificarsi nel caso delle produzione agricola, in quanto il cambiamento climatico può sfavorire la produzione di un determinato prodotto e allo stesso tempo favorirne quella di un altro (IPCC; 2022).

Ciascun indicatore presente all’interno della tabella è basato su una serie di analisi di aspetti differenti di quel fenomeno. Ad esempio, per analizzare la “scarsità idrica” sono stati presi in considerazione la scarsità di acqua, la disponibilità di acque sotterranee, la qualità e la domanda di acqua oltre alla siccità nelle città; per quanto riguarda l’indicatore della “ridotta salute e produttività degli animali e del bestiame”, esso considera una serie di fattori tra cui lo stress da caldo, le malattie, la produttività e la mortalità; i “rendimenti della pesca ridotti e la produzione di acquacoltura” considerano la pesca e la produzione sia di acqua marina che di acqua dolce; il “calore, la malnutrizione e altro” considerano invece la mortalità umana dovuta al calore, assieme alla produttività del lavoro, ai danni

conseguenti a fenomeni come gli incendi ed infine le carenze nutrizionali; l'indicatore "spostamento" invece studia e considera tutte quelle migrazioni dovute ad eventi e condizioni meteorologiche estreme; infine possiamo prendere ad esempio i "danni indotti da inondazioni/tempeste nelle aree costiere", indicatore all'interno del quale si raggruppano i danni causati da cicloni, dall'innalzamento del livello del mare e dalle mareggiate (IPCC; 2022).

Un'altra delle componenti più importanti tra gli impatti del cambiamento climatico è il rischio legato alle risorse idriche, il quale comporta tra differenti fattori, anche la siccità. Quest'ultima può essere considerata un fenomeno altamente multidimensionale; la dimensione dei suoi impatti dipende principalmente dalla vulnerabilità dei beni considerati, dei settori oppure dei sistemi che sono stati esposti a questo problema. In generale possiamo affermare che fra tutti i differenti settori, quelli più vulnerabili alla siccità sono quello dell'agricoltura, dell'approvvigionamento idrico per le abitazioni, seguiti dal settore della produzione di energia, dall'industriale e dagli ecosistemi.

La società umana deve prestare moltissima attenzione al tema della siccità, essa infatti, nel caso in cui non venga gestita in maniera adeguata, comporta un forte incremento della fragilità degli ecosistemi oltre ad un'elevata instabilità sociale in quanto è uno dei motori principali sia della desertificazione che del degrado del territorio. Il prolungarsi di un periodo di siccità inoltre comporta il rischio che si crei una situazione di aridità irreversibile soprattutto nel caso in cui la temperatura globale continui a crescere nei prossimi decenni.

Attualmente risulta molto complicato fare delle previsioni sicure, per quanto riguarda il diffondersi della siccità, in quanto gli indicatori utilizzati sono numerosi e tutti differenti gli uni dagli altri. A livello internazionale però la comunità scientifica ha raggiunto un consenso sul fatto che i fenomeni siccitosi aumenteranno, a causa dell'incremento dell'evaporazione, conseguente al cambiamento climatico, e della domanda di umidità atmosferica, in paesi situati in Africa, Australia, Europa meridionale, Stati Uniti meridionali e occidentali, America centrale, Cina nordoccidentale, Caraibi e America meridionale; al contrario i fenomeni legati alla siccità tenderanno a ridursi nell'Europa settentrionale, nel Sud-America sud-orientale, nell'Africa centrale, in Canada, nella Federazione Russa e in Asia sud-orientale (Neumann; 2022).

Risulta fondamentale studiare tali fenomeni in modo da riuscire a raccogliere il maggior numero di informazioni possibili al fine di comprendere e gestire meglio il fenomeno.

Una delle caratteristiche della siccità è che le conseguenze e gli impatti si osservano solo a distanza di mesi e non nell'immediato. Risulta quindi ancora più importante avere sufficienti conoscenze in modo da attuare strategie utili a mitigare il rischio e gli effetti della siccità stessa (Neumann; 2022).

Infine, un altro aspetto estremamente rilevante su cui il report mette l'accento è l'incidenza degli eventi meteorologici estremi; questi ultimi sono la causa sia di innumerevoli danni economici diretti che di una contrazione, nel breve e nel lungo periodo, della crescita economica, ovvero, un singolo evento estremo può avere importanti conseguenze economiche sia durante l'anno nel quale si verifica assieme a quello successivo che nei successivi 15. Gli studi sul breve periodo presentano risultati più certi mentre sulle conseguenze nel lungo periodo le prove sono ancora limitate. Tutto ciò influisce anche sugli spostamenti interni delle popolazioni (IPCC; 2022)

Bisogna però tenere in considerazione, ai fini della nostra analisi, che gli impatti considerati dall'IPCC però non sono sempre traducibili da un punto di vista economico, anzi, spesso la maggioranza di essi è difficilmente quantificabile, risulta quindi difficile effettuare delle stime in costi dei danni e delle perdite conseguenti a questi eventi che possano successivamente permettere un confronto tra i differenti dati.

3.1.1 DIFFERENTI TIPI DI RISCHI

L'intero rapporto si concentra non solo sugli impatti ma anche sui rischi³. I rischi climatici tendono, col passare del tempo, a verificarsi sempre di più in contemporanea, comportando una maggiore interazione tra i rischi climatici e quelli non climatici, relazione che a sua volta produce un incremento sia del rischio complessivo che di quelli a cascata tra differenti settori e regioni; tutto ciò comporta naturalmente una maggiore difficoltà nel gestire ed affrontare queste differenti situazioni (IPCC; 2022).

Il concorso di differenti rischi in una stessa regione, i quali si verificano in maniera sia simultanea che ripetuta, comporta un incremento negativo anche per quanto riguarda gli impatti sulla salute, gli ecosistemi, le infrastrutture, il cibo e i mezzi di sussistenza. Inoltre, per cercare di fronteggiare questi rischi, si adottano alcune risposte che comportano a loro volta la formazione di nuovi ed ulteriori rischi e impatti. Ad esempio, la presenza simultanea di eventi sia di calore che di forte siccità comporta da un lato la

³ Il rischio è stato definito dall'IPCC come "il potenziale di conseguenze negative per i sistemi umani o ecologici, riconoscendo la diversità di valori e obiettivi associati a tali sistemi" (IPCC;2022)

riduzione di produzione delle colture e dall'altro lato l'aumento della mortalità degli alberi. La stessa riduzione della produzione alimentare causata dal caldo e dalla siccità, sommata alla diminuzione della produttività del lavoro (altra conseguenza del calore), comporta notevoli rischi sia per quanto riguarda la salute che la produzione alimentare. Tutti questi fenomeni, sommati, causano un incremento dei prezzi dei beni alimentari e se tale aumento si verifica assieme alla riduzione dei redditi delle famiglie, si rischia di incrementare fenomeni come la malnutrizione. Infine, un ultimo esempio è l'innalzamento futuro del mare, il quale, sommato all'incremento di mareggiate e forti precipitazioni, comporta un aumento dei rischi di inondazione (IPCC; 2022).

Vi sono poi dei rischi a cascata, ovvero quei rischi che si propagano anche in altri settori o regioni. Tali rischi possono portare al raggiungimento di punti di non ritorno⁴, ad esempio, nel caso degli ecosistemi sensibili che sono colpiti dal disgelo del permafrost e dallo scioglimento dei ghiacciai. Un altro esempio, per quanto riguarda la produzione di rischi a cascata tra settori differenti, si trova in Amazzonia dove gli stress di tipo climatico, come il calore, e quelli non climatici, ad esempio il cambiamento nell'uso del suolo, producono delle conseguenze negative in alcune regioni di montagna, portando a gravi perdite nel campo dei servizi ecosistemici e dalla biodiversità. Anche l'innalzamento del mare, di cui si è già parlato precedentemente, comporterà degli effetti a cascata portando ad esempio alla salinizzazione delle acque sotterranee e all'aumento dei danni alle infrastrutture costiere, alla salute, al benessere e ai mezzi di sussistenza, sia nel lungo che nel breve periodo (IPCC; 2022).

Questi rischi a cascata non riguardano solamente settori differenti ma anche diverse regioni, gli impatti sia di tipo economico che di tipo sociale riescono infatti a superare i confini nazionali tramite, ad esempio, le catene di approvvigionamento, i mercati ed i flussi delle risorse naturali comportando dei rischi transfrontalieri in diversi settori, tra cui quello idrico, quello energetico e quello alimentare. Il cambiamento climatico inoltre comporta una redistribuzione degli stock ittici marini, incrementando così il rischio dello scoppio di conflitti di gestione transfrontaliera (IPCC; 2022).

⁴ Il termine punti di non ritorno o tipping points è stato reso popolare del giornalista e autore Malcolm Gladwell nel suo libro omonimo, pubblicato nel 2000, nel quale i punti di non ritorno vengono descritti come "the moment of critical mass, the threshold, the boiling point" (Mcsweeney; 2020).

3.1.2 L'EUROPA ED IL MEDITERRANEO

Analizzando nel dettaglio la situazione in Europa, l'IPCC ha evidenziato quattro categorie di rischi-chiave, elencati non in ordine di importanza, dove il livello di ciascun rischio è legato alla temperatura globale, infatti all'aumentare della seconda, aumenta anche il primo. Questi quattro rischi sono:

- Rischi delle ondate di calore sulla popolazione e gli ecosistemi. Secondo gli studi, il numero dei decessi e delle persone che si troveranno in una condizione di stress da calore tenderà addirittura a triplicare con un incremento della temperatura di 3°C rispetto ad un incremento di 1,5°C. Questa situazione inoltre modificherà in maniera irreversibile la composizione degli ecosistemi. Tale rischio è maggiore nelle zone mediterranee per questo motivo gli interventi e le misure di adattamento dovrebbero essere applicati in primis in queste zone.
- Rischi per la produzione agricola. Il caldo e la siccità causeranno importanti perdite nell'ambito della produzione agricola in tutta Europa.
- Rischi di scarsità delle risorse idriche. Attualmente la zona dell'Europa meridionale si trova già in una situazione nella quale la domanda di risorse idriche è maggiore rispetto all'effettiva disponibilità e per un incremento della temperatura di 3°C tale rischio si estende anche ai paesi situati nella zona centro-orientale. Inoltre, in caso di un elevato livello di riscaldamento, il numero di interventi richiesti risulterebbe molto alto e tali azioni potrebbero non essere comunque sufficienti.
- Rischi prodotti da maggiore frequenza e intensità di inondazioni. (Lionello;2022)

Passiamo ora ad analizzare una zona più specifica ovvero quella del Mediterraneo.

Come per le altre zone, anche nel Mediterraneo, gli impatti legati al cambiamento climatico aumenteranno con l'aumentare della temperatura globale. La regione negli ultimi decenni si è riscaldata e le previsioni indicano che tale tendenza continuerà anche nei prossimi anni e varrà sia per gli ambienti terrestri che per quelli marini. L'aumento delle zone aride è dovuto a due fenomeni principali: l'evapotraspirazione, che tende ad aumentare, e le precipitazioni che al contrario diminuiscono, nonostante in alcune regioni si verifichi un aumento delle precipitazioni estreme.

Il cambiamento climatico nel Mediterraneo comporta dei rischi particolarmente gravi, a causa anche della presenza di una serie di fattori ulteriori, ovvero:

- L'incremento della popolazione urbana esposta a forti ondate di calore ma con una limitata possibilità di accesso all'aria condizionata.
- L'aumento del numero di persone che attualmente abitano in zone colpite dall'innalzamento del livello del mare.
- La diffusione di una crescente carenza idrica.
- Una maggiore domanda, da parte dell'agricoltura, di acqua utilizzabile per l'irrigazione (Lionello; 2022).

Per quanto riguarda il livello del mare, è stato misurato un aumento nel 20° secolo, in media, di 1,4 mm l'anno; in particolar modo vi è stata una forte accelerazione negli ultimi decenni dello scorso secolo. Tale tendenza non sembra volersi arrestare, le stime infatti prevedono che, in caso si verifichi uno scenario basato su un alto livello di emissioni, il livello del mare aumenterà di 1 metro entro la fine del 21° secolo. Tale innalzamento inoltre comporterà inoltre diverse conseguenze negative, tra cui l'incremento dei rischi di inondazione, erosione e salinizzazione (Lionello; 2022).

Infine, per quanto riguarda le risorse idriche, gli studi a riguardo sostengono che il numero di giorni con una disponibilità di risorse inferiore rispetto alla richiesta, aumenterà in qualsiasi scenario analizzato e preso in considerazione. Nel caso di un aumento della temperatura di 1.5°C il 18% della popolazione verrà coinvolta dal fenomeno della scarsità idrica; se però si prevede un aumento di 2°C allora il numero di persone influenzate salirà addirittura al 54%. Lo stesso vale nel caso dell'aridità del suolo, il cui livello risulterà del 40% superiore con un aumento di 3°C rispetto ad un incremento della temperatura di 1.5°C (Lionello; 2022).

3.2 SHARED SOCIOECONOMIC PATHWAYS (SSP)

I gruppi di lavoro dei differenti rapporti dell'IPCC necessitano di una serie di riferimenti comuni per quanto riguarda le emissioni di gas serra, in modo da poter produrre e confrontare differenti simulazioni sull'evoluzione del clima all'interno di progetti coordinati definiti CMIP ovvero Coupled Model Intercomparison Project. Il Quinto Rapporto di valutazione dell'IPCC ha utilizzato come riferimento all'interno del CMIP5 gli RCP, ovvero i Representative Concentration Pathways (Lionello; 2022).

L'AR5 ha utilizzato quattro scenari differenti, basati sulla combinazione di modelli di valutazione integrata, modelli di chimica dell'atmosfera, modelli climatici semplici e del

ciclo globale di carbonio (IPCC; 2013). Questi scenari inoltre sono identificati in relazione al livello di forzante radioattivo che si presume raggiungeranno nel 2100 (Caserini; 2018).⁵

Il primo scenario, RCP 2.6 indica uno scenario di mitigazione, dove vi è una forte riduzione delle emissioni (Caserini; 2018), in questo caso infatti si presuppone che vengano adottato numerosi ed efficaci provvedimenti a protezione del clima, riducendo fin da subito le emissioni, in modo da arrestarle completamente nell'arco di 20 anni; il forzante radioattivo, in questo scenario, raggiungerà un livello pari a $2,6 \text{ Wm}^{-2}$ permettendo quindi di soddisfare gli obiettivi dell'Accordo di Parigi sul clima (National Centre for Climate Services).

Vi sono poi due scenari di stabilizzazione: l'RCP 4.5, il quale prevede una riduzione consistente delle emissioni di gas serra (Caserini; 2018), anche se la protezione del clima sarà limitata, le emissioni continueranno ad aumentare nei successivi 50 anni, non permettendo di raggiungere l'obiettivo del "+2°C" (National Centre for Climate Services); il secondo scenario, l'RFC 6.0 prevede invece riduzioni molto più blande (Caserini; 2018). In questo caso, come si può facilmente intuire, il forzante radioattivo sarà pari a 4.5 Wm^{-2} nel primo scenario ed a 6.0 Wm^{-2} nel secondo (National Centre for Climate Services).

Infine, vi è lo scenario RCP 8.5, il quale non prevede nessuna azione volta a proteggere il clima, le ripercussioni dovute ai cambiamenti climatici continuano quindi ad aumentare, nonostante gli sviluppi della tecnologia, portando ad un innalzamento del livello di riscaldamento globale (National Centre for Climate Services).

In base allo scenario adottato si prevede quindi una concentrazione di CO₂ differente, la quale comporta a sua volta impatti sulla vita umana e sull'ecosistema diversi. Nella tabella sottostante possiamo osservare graficamente quanto i due scenari opposti, ovvero lo scenario RCP 8.5 e l'RCP 2.6 differiscano per quanto riguarda le emissioni di CO₂

⁵ «Il forzante radiativo è la misura dell'influenza che un fattore ha nell'alterare il bilancio di energia in entrate e in uscita nel sistema terra e atmosfera ed è un indice dell'importanza del fattore stesso come un potenziale meccanismo di cambiamento climatico. I valori dei forzanti radiativo sono riferiti alle condizioni pre-industriali stimate al 1750 e sono espressi in W/m^2 » (IPCC; 2014)

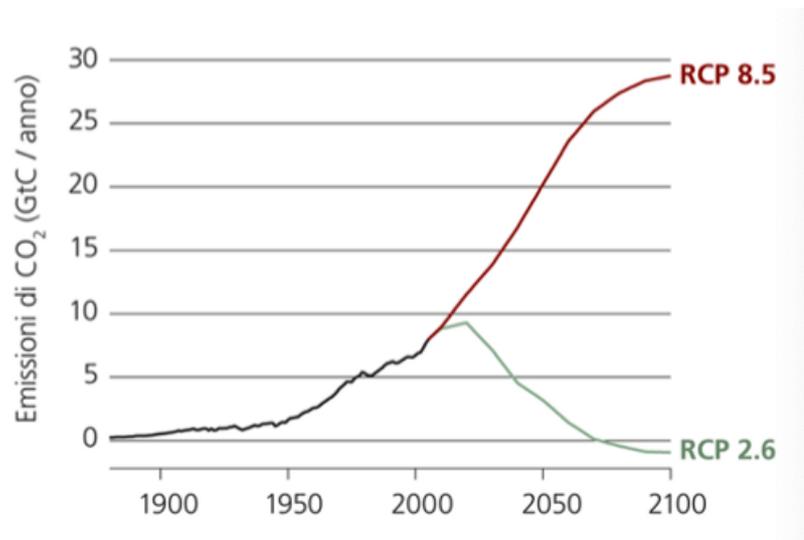


Figura 22: Emissioni di CO₂ per gli scenari RCP8.5 ed RCP2.6. Fonte: <https://www.nccs.admin.ch/nccs/it/home/cambiamenti-climatici-e-impatti/scenari-climatici-per-la-svizzera/comprendere-gli-scenari-climatici.html>

Gli RCP forniscono quindi un'esaustiva rappresentazione del forzante radioattivo e delle emissioni di CO₂ ma trascurano completamente la letteratura scientifica riguardante le emissioni di aerosol (IPCC; 2013)

In generale, possiamo quindi affermare che gli scenari sono un elemento essenziale per tutti coloro che si occupano di studiare il cambiamento climatico ed i suoi effetti perché permettono ai ricercatori di riuscire a comprendere gli impatti e le conseguenze sul lungo termine delle decisioni prese in tempi recenti.

Il Sesto Rapporto di Valutazione ha basato le proprie valutazioni su un nuovo tipo di scenari gli Shared Socioeconomic Pathways. Gli SSP rappresentano un'importante innovazione in quanto non si basano solamente sulle proiezioni delle emissioni di gas serra e della loro concentrazione, ma inseriscono nelle loro valutazioni anche gli indicatori socioeconomici; l'inserimento di questi ultimi è necessario in quanto essi sono alla base sia del cambiamento climatico che degli sforzi adottati al fine di attuare azioni di mitigazione e adattamento, inoltre, come afferma Laurent Drouet, una ricercatrice del RFF-CMCC European Institute on Economics and the Environment, *"In passato, i fattori socioeconomici erano impliciti: i modelli matematici utilizzavano come input primario le proiezioni delle emissioni di gas serra e le loro concentrazioni (...) Con gli SSP, possiamo comprendere meglio come il cambiamento climatico e le politiche climatiche influenzano la società e l'economia"* (IPCC Focal Point for Italy).

Gli SSP cercano quindi di fornire una conoscenza olistica, includendo le proiezioni di crescita economica e demografica assieme allo sviluppo tecnologico e geopolitico, in

modo da riuscire ad analizzare le differenti politiche sia di adattamento che di mitigazione ed il loro impatto sul cambiamento climatico, oppure le conseguenze di un'eventuale mancanza di azioni (IPCC Focal Point for Italy).

Sono stati identificati cinque differenti percorsi possibili. Rispetto agli scenari elaborati negli anni precedenti inoltre, gli SSP, rappresentano in maniera più completa gli scenari "business as usual" ovvero quelli nei quali non vengono adottate politiche climatiche di alcun tipo, portando ad una variazione del riscaldamento globale, a partire dal 2100, che varia da un minimo di 3.1°C fino ad un massimo di 5.1°C rispetto ai livelli preindustriali (Hausfather; 2018). I differenti scenari sono i seguenti:

- SSP1: Sustainability (Taking the Green Road)- Il mondo si dirige verso un percorso sostenibile, la gestione, a livello globale, dei beni comuni migliora, anche se in maniera graduale mentre vi è un rapido incremento degli investimenti sia nell'istruzione che nella sanità portando l'umanità a dare maggiore importanza al benessere umano e non solamente alla crescita economica. In questo scenario, la volontà e l'impegno nel raggiungere gli obiettivi di sviluppo permettono di ridurre le disuguaglianze sia interne che tra i differenti stati. Infine, si cerca in questo mondo di diminuire la crescita materiale e l'intensità di utilizzo di risorse ed energie.
- SSP2: Middle of the Road- In questo scenario sia lo sviluppo che la crescita del reddito seguono un percorso non uniforme, ciò comporta che vi siano alcuni paesi che riescono a progredire ottenendo dei buoni risultati, al contrario di altri che non raggiungono gli obiettivi fissati. I progressi per raggiungere le aspettative dello sviluppo sostenibile sono molto lenti e nonostante vi siano dei miglioramenti nell'uso delle risorse e dell'energia, vi è ancora un continuo degrado dei sistemi ambientali. Attorno alla metà del 21° secolo si stabilizza l'incremento della popolazione. Infine, persistono sia le disuguaglianze di reddito (nonostante i piccoli miglioramenti) che le sfide volte a diminuire la vulnerabilità dei cambiamenti sociali e ambientali.
- SSP3: Regional Rivalry (A Rocky Road)- Tale scenario è caratterizzato da un nazionalismo in ripresa, portando i differenti paesi a dedicarsi principalmente alle questioni ed ai problemi interni, inoltre le politiche si concentrano maggiormente su questioni di sicurezza, sia a livello nazionale che a livello regionale. Tale mentalità comporta sia una riduzione degli investimenti in settori come

l'istruzione e lo sviluppo tecnologico, che una riduzione delle politiche a favore dello sviluppo ad ampio raggio, sostituite invece da azioni volte a raggiungere obiettivi di sicurezza alimentare ed energetica interni. Per quanto riguarda lo sviluppo economico, esso risulta molto lento, mentre il consumo è caratterizzato da un'alta intensità di materiale, portando ad un aumento delle disuguaglianze nel tempo. L'aumento della popolazione risulta elevato in tutti i paesi in via di sviluppo e ridotto in quelli industriali. Data la mancanza di cooperazione a livello internazionale volta a fronteggiare le preoccupazioni ambientali, in alcune regioni il degrado aumenta in maniera drastica.

- SSP4: Inequality (A Road divided)- Il quarto scenario è caratterizzato da una forte disparità, sia per quanto riguarda le effettive opportunità economiche che nel potere politico; tale situazione porta ad una crescente disuguaglianza e stratificazione all'interno della società. A livello mondiale si crea una vera e propria spaccatura tra i paesi collegati tra di loro e caratterizzati da un alto livello di conoscenza e capitale e quelle società scarsamente istruite, caratterizzate da una economia ad alta intensità di manodopera e bassa tecnologia. Si innalza il numero dei conflitti e dei disordini. Sia nell'economia che nei settori high-tech aumenta lo sviluppo tecnologico, mentre per quanto riguarda il settore energetico, esso tende a diversificarsi grazie ad investimenti mirati in combustibili sia a bassa che ad alta intensità di carbonio. Infine, per quanto riguarda le politiche ambientali, esse tendono a focalizzarsi sulle problematiche di tipo locale ma unicamente in zone a medio ed alto reddito.
- SSP5: Fossil-fueled Development (Taking the Highway)- Quest'ultimo scenario è caratterizzato da una grande fiducia nell'innovazione e nei mercati competitivi finalizzati ad incrementare rapidamente il progresso tecnologico e lo sviluppo del capitale umano come strumenti per arrivare per permettere uno sviluppo sostenibile. A livello globale vi è una sempre maggiore interazione tra i mercati. Aumentano gli investimenti in settori quali la sanità, l'istruzione e le istituzioni; tutti questi fattori sommati all'utilizzo di abbondanti risorse di combustibili fossili, comportano un incremento dell'economia globale. Infine, si riescono ad ottenere ottimi risultati nella gestione, a livello locale, dei problemi ambientali (Hausfather; 2018).

Possiamo quindi notare come gli scenari SSP1 e SSP5 si configurino come più ottimistici, grazie ai massicci investimenti sia nel campo dell'istruzione che in quello della salute,

alla possibilità di aver accesso ad ottime istituzioni e alla rapida crescita economica. La narrazione SSP5 però si basa su un'economia ad alta intensità energetica che sfrutta principalmente combustibili fossili, al contrario, lo scenario SSP1 applica strategie e azioni più sostenibili.

Gli scenari SSP3 e SSP4, invece, sono i più pessimisti, qui gli investimenti saranno bassi nei paesi poveri sia per quanto riguarda l'istruzione che la sanità, tutto ciò, sommato alla rapida crescita della popolazione, comporterà un incremento delle disuguaglianze.

Infine, la narrazione SSP2 presenta una realtà nella quale i modelli di sviluppo storici proseguono durante tutto il XXI secolo (IPCC Focal Point for Italy).

I differenti scenari, inoltre, permettono di rappresentare una proiezione sia della popolazione mondiale che del PIL nel 21° secolo, come riportato nella figura sottostante (Hausfather; 2018).

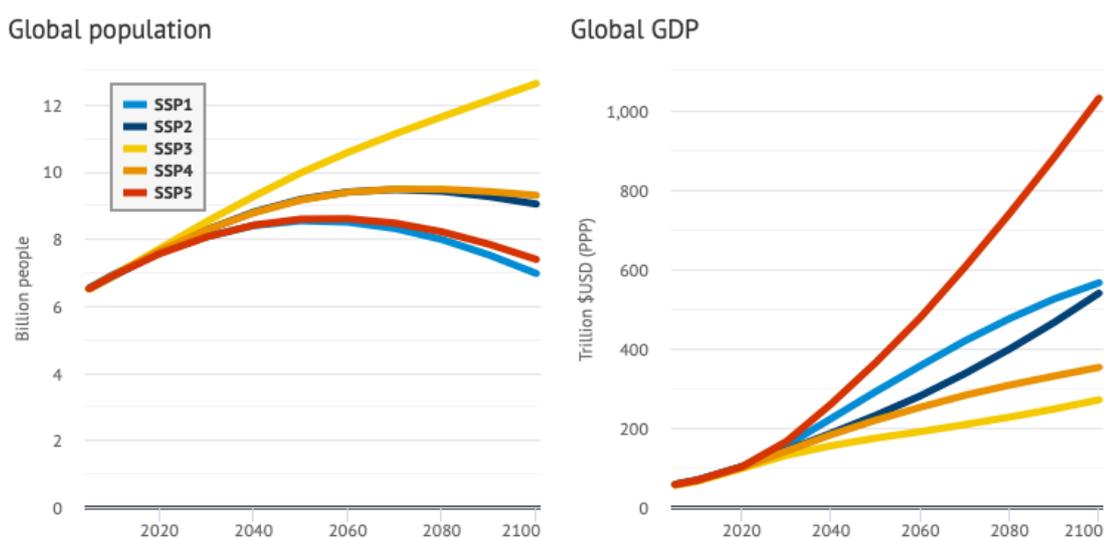


Figura 23: Proiezioni della popolazione globale e del PIL nel 21° secolo. Fonte: Hausfather Z, *Explainer: How 'Shared Socioeconomic Pathways' explore future climate change*, 2018.

Per poter calcolare la proiezione della popolazione globale, riportata nel grafico a sinistra, è stato usato un modello demografico basato su una serie di ipotesi, tra cui quella di fertilità e mortalità, le previsioni di migrazione e infine quelle di istruzione, soprattutto per quanto riguarda l'accesso all'istruzione delle donne, nei prossimi decenni. Come si può osservare, gli scenari SSP1 e SSP5 presentano i livelli più bassi, tendono a salire all'inizio del secolo, raggiungendo un picco negli anni tra il 2050 e il 2060, per poi decrescere; al contrario, lo scenario SSP3 presenta una crescita continua fino alla fine del secolo. Un andamento più simile ai primi due si può osservare anche per gli scenari

SSP4 e SSP2 ma in questo caso il picco si presenta qualche decennio dopo, all'incirca negli anni 2070 e 2080.

Per quanto riguarda l'aumento del PIL, in tutti gli scenari possiamo notare una crescita continua fino alla fine del secolo, portando ad avere un PIL tra le 4 e le 10 volte superiore nel 2100 rispetto a quello del 2010, anche se il tasso medio di crescita annuo rallenta nel corso del secolo. La crescita economica però rappresenta anche una delle cause principali delle emissioni di CO₂ (Hausfather; 2018).

Infine, gli SSP permettono di studiare come le decisioni prese nel presente possano influenzare (in base alle emissioni di CO₂) la possibilità di raggiungere gli Accordi di Parigi, come afferma Drouet infatti *“Uno scenario con sfide minori nell'adattamento e nella mitigazione, come SSP1, ha molte più probabilità di raggiungere l'obiettivo del Paris Agreement, rispetto ad altri con sfide più difficili. Tuttavia, un grande sforzo di mitigazione è ancora necessario in tutti gli scenari”* (IPCC Focal Point for Italy).

4. I COSTI ECONOMICI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Riuscire a quantificare i costi del cambiamento climatico comporta un tipo di valutazione molto complessa ma soprattutto incerta. Attualmente la comunità scientifica possiede sufficienti dati per affermare che l'aumento della temperatura terrestre è direttamente legato all'incremento della concentrazione dei gas serra e che la responsabilità principale sia da imputare alle attività umane.

Il problema principale non si riscontra nel predire il clima che caratterizzerà le differenti regioni del mondo tra, ad esempio, cinquant'anni oppure un secolo; tali ipotesi infatti sono realizzabili grazie a supercomputers con estreme capacità di calcolo, i quali riescono a fornire informazioni sempre più complete. Al contrario, risultano più dibattuti e più complicati gli studi sul modo in cui gli ecosistemi riusciranno a reagire al cambiamento climatico. Nello specifico, la sezione più complessa, però, è quella che cerca di prevedere come le differenti società umane riusciranno a rispondere alle variazioni del clima e dell'ambiente, ovvero lo studio dell'adattamento sia autonomo che pianificato (Bosello; 2017).

Tra gli ostacoli più importanti alla realizzazione di stime economiche affidabili e complete ci sono inoltre le complesse interazioni che vi sono tra sistemi naturali, fisici e sociali, le incertezze legate alle risposte del sistema e la natura eterogenea di tutti gli impatti climatici che devono essere presi in considerazione e che si modificano sia nel tempo che nello spazio (IPCC; 2022).

Nonostante queste grandi difficoltà è comunque possibile proporre alcune stime; in questo caso si affronta l'incertezza riguardante il futuro tramite la costruzione di scenari socio-economici (alcuni di essi sono stati riportati nel sotto-capitolo precedente), i quali descrivono delle vere e proprie narrative riguardanti il modo in cui potrebbero evolvere le differenti società. Questi differenti scenari sopperiscono all'assenza di prezzi di riferimenti tramite lo studio di "mercati fittizi" (Bosello; 2017).

Quando si cerca di studiare i costi del cambiamento climatico è importante, fin da subito, operare una separazione tra i diversi tipi di costi. La distinzione principale è quella tra i cosiddetti costi dell'azione ed i costi dell'inazione.

I primi cercano di calcolare i possibili costi di un'eventuale azione adottata da differenti attori e finalizzata a fronteggiare gli impatti del cambiamento climatico. Al contrario i secondi, definiti anche "costi fissi", includono tutti quei costi conseguenti all'incremento delle temperature ed a quello degli eventi estremi, come i possibili danni ad infrastrutture, al commercio, in caso di un'eventuale sospensione o alla riduzione di produttività e alla mortalità dovute all'aumento delle temperature, non includono perciò tutte quelle spese effettuate al fine di fronteggiare il cambiamento climatico (Guo et al.; 2021).

4.1 I METODI PER STIMARE I COSTI ECONOMICI GLOBALI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Le metodologie di valutazione hanno come obiettivo principale quello di riuscire ad indicare come si possano quantificare a livello monetario degli specifici impatti in un determinato scenario futuro. Il vantaggio principale del riuscire a ridurre tutti gli impatti ad una sola dimensione, quella monetaria in questo caso, è il fatto che i decisori politici possono facilmente comparare diverse opzioni, semplicemente paragonando i benefici da esse derivanti. La comparazione però in molti casi può risultare fuorviante in quanto non tutti gli impatti possono essere facilmente tradotti in valore monetario.

In generale i principali metodi utilizzati al fine di dare una valutazione economica dei cambiamenti climatici sono due: gli approcci bottom-up e quelli top-down.

- Approcci bottom-up. Questi modelli, definiti anche di equilibrio parziale, sono usati al fine di “stimare il valore economico degli impatti dei cambiamenti climatici su singoli settori, o per singoli impatti, indipendentemente dal sistema di cui fanno parte” (Carraro et al.; 2007). Questi approcci sono tendenzialmente di più facile comprensione e applicazione. Tali modelli vengono utilizzati quando l’impatto preso in considerazione ha una valenza principalmente a livello locale o settoriale. In questi casi si utilizzano, generalmente, le metodologie di “direct costing” ovvero tecniche che stimano il danno totale sfruttando l’equazione $DC = [Q(CC) - Q(NCC)] * VU$, dove con DC si indica il danno causato dal cambiamento climatico, con Q(CC) invece ci si riferisce alla quantità di bene o servizio a disposizione in una situazione con Cambiamento Climatico e con Q(NCC) allo stesso indicatore ma in una situazione in assenza di Cambiamento Climatico, infine il valore VU si riferisce al valore unitario del bene o del servizio preso in considerazione (Carraro et al.; 2007). Questi modelli sono stati utilizzati soprattutto di recente e propongono una visione nella quale le attività economiche sono molto più a rischio rispetto ai precedenti modelli, i quadri presentati infatti sono più allarmanti e prevedono un maggior impatto socioeconomico. Nello specifico, una delle prime pubblicazioni che possa essere inserita all’interno di tale categoria è quella della Stern Review (Guo et al.; 2021).
- Approcci Top-down. Tali modelli vengono definiti anche di equilibrio generale ed analizzano tutti gli effetti a catena che un determinato impatto può avere su differenti variabili e settori. Ogni settore si trova legato ad altri a causa dell’interdipendenza tra i differenti mercati a livello globale; per questo motivo un singolo impatto che sembrerebbe colpire unicamente un settore specifico, può causare un effetto finale diverso da quello ipotizzato all’inizio, portando ad un incremento o ad una riduzione dell’impatto stesso (Carraro et al.; 2007). Tra questi approcci, uno dei più utilizzati è l’Integrated assessment models, ovvero il modello di valutazione integrata (IAM). Questi sono stati i primi modelli ad essere utilizzati al fine di studiare l’interazione tra il cambiamento climatico ed i danni economici prodotti. Gli IAM hanno come obiettivo quello di riuscire ad ipotizzare e stimare oltre alle effettive perdite economiche anche le misure di mitigazione e i loro impatti sul PIL (Feyen et al.; 2020). Questi modelli non

possono essere considerati del tutto completi in quanto non considerano al loro interno alcuni elementi fondamentali, tra cui i cambiamenti per quanto riguarda sia la frequenza che la gravità delle catastrofi naturali, i conflitti che possono scatenarsi, le possibili migrazioni ed infine i mercati finanziari; proprio per questo motivo le loro conclusioni saranno una sottostima dell'effettivo impatto economico (Guo et al.; 2021).

Questi due differenti modelli non devono essere considerati come approcci contrapposti l'uno all'altro, ad esempio, in molti casi risulta utile, dopo aver svolto un'analisi generale riguardante l'equilibrio economico, spostarsi verso uno studio degli effetti settoriali in modo da riuscire a quantificarli. Tendenzialmente la scelta di usufruire di un approccio piuttosto che dell'altro è legata al tipo di dati disponibili dai ricercatori, alle effettive dimensioni dello studio ed infine allo scopo dell'analisi (Carraro et al.; 2007).

Come abbiamo accennato precedentemente, vi sono, però, ancora numerose incertezze legate alla capacità di stimare le conseguenze economiche del cambiamento climatico, a causa di una serie di fattori, tra cui la complessità dei parametri della scienza biofisica e delle loro evoluzioni in futuro (Guo et al.; 2021).

Vi sono poi ulteriori sfide metodologiche che devono essere affrontate, tra cui il come riuscire a combinare differenti stime derivanti da diversi metodi e fonti, come riuscire a rappresentare le ricadute tra varie regioni e settori e soprattutto le interazioni tra di essi, come calcolare le implicazioni che tutto ciò può comportare per il benessere, come analizzare i diversi effetti distributivi, come incorporare e quantificare i costi di adattamento ed infine come migliorare la conoscenza riguardante gli effetti a lungo termine (IPCC; 2022).

Nell'analisi degli impatti e dei costi economici del cambiamento climatico però non vi sono solamente differenze per quanto riguarda il metodo adottato ma anche in base alla portata geografica, settoriale e temporale. Ogni portata presenta degli svantaggi e dei vantaggi, quelle più ristrette, ad esempio, forniranno dei dati e delle analisi più dettagliate ma non riusciranno a comprendere nel loro studio le differenti interazioni tra le variabili e tra i vari fenomeni, viceversa per le portate più ampie. A livello globale, le stime nascono generalmente da una aggregazione di stime indipendenti, riguardanti differenti settori o regioni geografiche (IPCC; 2022).

Possiamo quindi affermare che lo studio degli effettivi impatti economici derivanti dal cambiamento climatico sia ancora agli inizi. Quest'importante fenomeno può avere delle

ricadute su moltissime variabili economiche, solo una parte di esse però può essere stimata economicamente; ciò comporta l'impossibilità di ottenere una stima completa degli effettivi effetti del cambiamento climatico sui risultati economici, i risultati saranno quindi delle sottostime (Guo et al.; 2021).

4.2 LE STIME DEGLI IMPATTI ECONOMICI

Gli impatti economici del cambiamento climatico sono stati analizzati nei rapporti di valutazione dell'IPCC. In particolar modo in questo sotto-capitolo verranno analizzati i costi fissi ovvero i costi dell'inazione riportati nell'AR5 e nell'AR6.

Analizzando il Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5) possiamo notare come vi sia in generale un consenso diffuso sul fatto che la crescita economica sia influenzata in maniera negativa dal cambiamento climatico, non vi è però un accordo universale sulla portata di tale impatto. L'IPCC ha comunque affermato che, nonostante non sia semplice calcolare effettivamente tale stima, le *“global annual economic losses for warming of ~2.5°C above pre-industrial levels are 0.2 to 2.0%”* (IPCC; 2014), il report sottolinea inoltre come questa percentuale sia influenzata da numerose variabili tra cui: la popolazione, la tecnologia ed i suoi costi, lo stile di vita adottato, le politiche ed i governi in carica (IPCC; 2014).

Questo dato presuppone quindi che, in caso di un incremento della temperatura fino a 2°C rispetto ai livelli preindustriali, la perdita economica annua non superi il 2% del PIL. Considerando invece uno scenario base nel quale non vi sia nessun tipo di intervento volto a ridurre gli effetti del cambiamento climatico e nel quale si presupponga che la temperatura aumenti di 3,66°C entro fine secolo, la perdita del PIL globale corrisponderebbe, di conseguenza, all'incirca al 2.6% (IPCC; 2014).

Tale analisi presenta dei risultati molto simili a quelli di Nordhaus (2017), il quale utilizza un modello IAM ed afferma che i danni corrisponderanno al 2,1% del reddito globale con un riscaldamento di 3°C e all'8,5% del reddito con un riscaldamento di 6°C, entro il 2100, come riportato nell'ultimo rapporto di valutazione dell'IPCC (IPCC; 2022).

Il tema è stato successivamente ripreso dal Rapporto Speciale del 2018, il quale propone una stima dei costi medi annuali dei danni nel caso in cui si verificasse un incremento della temperatura pari ad 1.5°C oppure a 2°C entro il 2100. Nel caso della prima ipotesi, ovvero di un aumento di 1.5°C i costi corrisponderebbero a 54 trilioni di dollari, nella

seconda ipotesi invece, essi sarebbero pari a 69 trilioni di dollari. Tale stima prende in considerazione i costi legati agli impatti sia di mercato che non di mercato, all'incremento del livello del mare e alle discontinuità verificatesi su larga scala, tutti fenomeni causati dal cambiamento climatico stesso. Basandoci su questi numeri possiamo quindi affermare che il costo medio annuo che il mondo sarebbe costretto ad affrontare risulterebbe pari a meno dell'1% del PIL globale (IPCC; 2018).

Successivamente sia il Rapporto Speciale del 2018 che il Sesto Rapporto di Valutazione pubblicato nel 2022 hanno analizzato gli impatti economici scendendo più nel dettaglio e analizzando i costi di singoli eventi, settori o aree geografiche. A esempio, per quanto riguarda i danni economici causati dagli impatti dei cambiamenti climatici legati all'acqua, è stato stimato che essi causeranno entro il 2050 una perdita pari allo 0,49% del PIL globale in uno scenario SSP3; per uno scenario di tipo SSP5 o RCP8.5 invece si presume che tutti i settori legati all'acqua causeranno un danno economico pari al valore di 0,094% del PIL globale; infine, gli studi di Takakura et al, (2019), prevedono per uno scenario SSP1 oppure RCP2.6 una perdita del PIL globale pari allo 0,013% entro il 2090, ovviamente vi sono delle differenze regionali, secondo questo stesso studio infatti il Nord America potrebbe subire un danno economico compreso tra il -0,002% e lo 0.005% del PIL mentre la riduzione che riguarderà l'Asia sarà compresa tra lo 0,015% e lo 0.104% del PIL. Possiamo quindi notare come nonostante vi sia un accordo diffuso sul fatto che i rischi legati all'acqua influenzeranno negativamente il PIL mentre il valore delle perdite effettive è differente in base allo studio che si prende in considerazione (IPCC; 2022).

Un altro esempio è l'analisi del possibile danno economico previsto per gli USA, secondo gli studi di Hsiang et al. del 2017, dato proposto per la prima volta nel rapporto del 2018 ma poi confermato in quello del 2022; tali stime affermano che un incremento della temperatura di 1.5°C causerebbe una perdita del PIL pari ad un valore situato tra -0.1% e l'1.7%, mentre per uno scenario senza politiche i danni economici stimati lungo il cambiamento di temperatura mediano corrisponderebbero al 4,5% del PIL; dal momento che tali risultati sono riferiti ad una data temporale molto lontana, vengono calcolati infatti nel periodo protratto fino al 2100, difficilmente potranno avere delle influenze significative sulle politiche attuali (IPCC; 2018). Lo stesso studio ha poi analizzato il caso in cui le temperature aumentino di 4°C e 8°C, le perdite in questo caso sarebbero molto più significative, raggiungendo, nella prima ipotesi un valore compreso tra l'1,5% e il 5,6% del PIL, mentre nella seconda ipotesi la cifra si aggirerebbe tra il 6,4% e il 15,7% del PIL all'anno (IPCC; 2022).

I tre rapporti dell'IPCC non presentano quindi conclusioni discostanti tra loro, le stime infatti, nonostante possano variare di poco, rimangono coerenti tra di loro e molto simili. Nell'AR6 però si nota una maggiore attenzione verso gli impatti economici, grazie anche alla presentazione di studi più specifici e settoriali.

Risulta interessante, in modo da restituire un quadro il più completo possibile, prendere in considerazione anche altri studi.

Nel 2021 è stato pubblicato dallo Swiss Re Institute lo studio "*The economics of climate change: no action not an option*" che fonda le proprie analisi su alcune ricerche scientifiche svolte recentemente. L'obiettivo di tale studio è quello di studiare i costi fisici del cambiamento climatico, presentando, in particolar modo, gli impatti che tale fenomeno avrà sul PIL, a partire da oggi fino al 2050. Il rapporto sostiene che, in uno scenario nel quale la traiettoria della temperatura futura rimanga coerente con quella attuale, ovvero nel caso in cui entro la metà del secolo il riscaldamento climatico provochi un innalzamento della temperatura di 2-2,6°C, il PIL globale subirà una riduzione compresa tra l'11% e il 14% entro il 2050, rispetto ad uno scenario nel quale i cambiamenti climatici sono assenti. Nel caso in cui si riuscisse a mantenere l'innalzamento del livello della temperatura al di sotto dei 2°C, riuscendo quindi a rispettare gli obiettivi individuati dagli Accordi di Parigi, secondo i dati riportati dallo Swiss Re Institute, il valore dei danni causerebbe una perdita pari al 4,2% del PIL entro il 2050, sempre in confronto con uno scenario nel quale non vi è alcun cambiamento climatico. Lo Swiss Re Institute infine immagina uno scenario molto più preoccupante, nel quale non venga intrapresa nessuna azione o strategia volte a fronteggiare il cambiamento climatico, in questo caso la percentuale di riduzione del PIL globale sarebbe pari al 18% entro la metà del secolo (Guo et al.; 2021).

Il rapporto analizza poi l'impatto sul PIL in alcune zone specifiche. Nel grafico sottostante sono riassunte, infatti, le perdite previste, entro il 2050, sia a livello globale che per singole aree geografiche per quattro scenari differenti: il primo, a partire da sinistra, prevede un aumento delle temperature inferiore a 2°C entro la metà del secolo, il secondo un incremento pari a 2°C, il terzo di 2,6°C e infine l'ultimo ipotizza lo scenario peggiore, ovvero quello caratterizzato da una crescita delle temperature di 3,2°C (Guo et al.; 2021).

| | Temperature rise scenario, by mid-century | | | |
|---|---|--|----------------|----------------|
| | Well-below 2°C increase | 2.0°C increase | 2.6°C increase | 3.2°C increase |
| | Paris target | The likely range of global temperature gains | | Severe case |
| Simulating for economic loss impacts from rising temperatures in % GDP, relative to a world without climate change (0°C) | | | | |
| World | -4.2% | -11.0% | -13.9% | -18.1% |
| OECD | -3.1% | -7.6% | -8.1% | -10.6% |
| North America | -3.1% | -6.9% | -7.4% | -9.5% |
| South America | -4.1% | -10.8% | -13.0% | -17.0% |
| Europe | -2.8% | -7.7% | -8.0% | -10.5% |
| Middle East & Africa | -4.7% | -14.0% | -21.5% | -27.6% |
| Asia | -5.5% | -14.9% | -20.4% | -26.5% |
| Advanced Asia | -3.3% | -9.5% | -11.7% | -15.4% |
| ASEAN | -4.2% | -17.0% | -29.0% | -37.4% |
| Oceania | -4.3% | -11.2% | -12.3% | -16.3% |

Figura 24: Simulazione degli impatti economici, entro il 2050, dovuti all'incremento delle temperature per 4 scenari differenti. Fonte: Guo et al.; 2021

Osservando la tabella si può notare come, dal momento che l'aumento delle temperature provocherà in ogni caso un impatto negativo sul PIL in ogni regione entro la metà del secolo, il raggiungimento degli obiettivi degli Accordi di Parigi risulta lo scenario più auspicabile. Considerando il livello globale, la differenza tra l'impatto previsto per uno scenario in cui si riesce a mantenere l'incremento delle temperature al di sotto dei 2°C (-4,2% del PIL) e quello che si verificherebbe in caso di un aumento pari a 3,2°C (-18,1% del PIL) non è trascurabile (Guo et al.; 2021).

Restringendo il campo, si può osservare come alcune zone sarebbero comunque più colpite di altre; in particolar modo la zona più sensibile risulterebbe quella dell'Asia e nello specifico l'area "ASEAN" ovvero i paesi del sud-est asiatico; in questo caso si passerebbe dall'aver un impatto negativo sul PIL di queste regioni pari al 4,2% nel caso in cui si verifici lo scenario auspicato dagli Accordi di Parigi (impatto quindi in linea con quello delle altre zone e con la media globale), fino ad arrivare ad un -37,4% del PIL entro il 2050 nel caso in cui la temperatura aumenti di 3,2°C. Quest'ultimo dato è in assoluto il più preoccupante, soprattutto considerando che la media globale si aggira attorno al -18,1% del PIL globale. Riuscire a garantire un innalzamento delle temperature non superiore ai 2,6°C significherebbe prevenire una percentuale di perdita del PIL di quella zona compresa tra il 10% e il 7% rispetto allo scenario più preoccupante (Guo et al.; 2021).

Al contrario, la zona del Nord America risulta quella meno colpita in un qualsiasi scenario in cui l'aumento della temperatura supera i 2°C, raggiungendo una perdita del suo PIL pari al -9,5% per un innalzamento della temperatura di 3,2°C. Solamente nel caso in cui

si rispettino gli obiettivi degli Accordi di Parigi, l'area che riuscirebbe ad ottenere una riduzione del proprio PIL entro il 2050 inferiore rispetto a tutte le altre zone geografiche risulterebbe l'Europa, con un impatto del -2,8% e non il Nord America; quest'ultima area infatti subirebbe una riduzione pari al 3,1% del PIL (Guo et al.; 2021).

Molte delle grandi economie, tra cui ad esempio gli USA, il Canada e la Germania, si trovano quindi in una migliore posizione per quanto riguarda la capacità di resistenza agli impatti negativi causati dal cambiamento climatico. Questo vantaggio è legato ad alcuni fattori tra cui il fatto che geograficamente questi paesi si trovano ad una latitudine più elevata, ciò comporta, infatti, un minor stress sulla produttività sia agricola che della manodopera, dovuto dall'incremento delle temperature, inoltre, questi paesi presentano una più robusta infrastruttura di mitigazione.

Al contrario, i paesi che, come possiamo notare dalla tabella, risultano i più colpiti dal cambiamento climatico e dall'incremento della temperatura sono quelli che si trovano ad una latitudine minore e che dispongono di un numero più ristretto di risorse per riuscire ad attuare strategie di mitigazione. Per questo motivo, riuscire a limitare l'aumento delle temperature nei prossimi decenni al di sotto di 2°C risulterebbe particolarmente importante per queste economie in quanto i benefici calcolati in termini di perdita di PIL prevenuta entro il 2050 potrebbero raggiungere il 20-25%. Tra i mercati che ne trarrebbero maggiori benefici, ad esempio, vi è l'Indonesia, la quale risulta maggiormente esposta ai rischi fisici conseguenti al cambiamento climatico, come l'innalzamento del livello del mare. In particolar modo una variazione del clima, sia che risulti più secco che più piovoso, comporterebbe degli impatti negativi molto rilevanti per l'agricoltura; bisogna inoltre prendere in considerazione, tra le probabili conseguenze, la riduzione della produttività causata dallo stress da caldo e l'impatto che i cambiamenti meteorologici potrebbero avere sul turismo. Infine, questo paese risulterebbe particolarmente colpito in quanto presenta un livello molto basso di capacità di adattamento (Guo et al.; 2021).

In tutti e tre gli scenari, in ogni caso, col passare del tempo gli impatti aumentano a causa della concorrenza di fattori che moltiplicano tali stress. Lo Swiss Re Institute ha individuato due differenti fasi che caratterizzeranno questi scenari; durante la prima i tassi di crescita del PIL dei differenti paesi rimarranno relativamente stabili rispetto ai valori riportati in passato e le economie emergenti sembrano avanzare rapidamente. L'incremento delle temperature però, nelle regioni maggiormente esposte, inizierà a creare danni evidenti anche se, nonostante ciò, vi saranno ancora tassi di crescita positivi.

La seconda fase, la quale ha inizio attorno al 2050, sarà invece caratterizzata da un effettivo rallentamento del PIL reale e dal possibile innesco di tipping points, definiti anche soglie critiche, ovvero punti di non ritorno i quali una volta superati non permettono di ritornare alla condizione dalla quale si è partiti; queste soglie comprendono fenomeni come i collassi della biosfera e lo scioglimento delle calotte glaciali che causeranno, per l'appunto, all'interno dei sistemi climatici, dei cambiamenti irreversibili (Guo et al.; 2021).

Per poter valutare l'effetto del cambiamento climatico, tale analisi ha considerato e quantificato sei differenti "canali di impatto", ovvero:

- Gli effetti sulla produttività agricola. Su tale aspetto influisce in particolar modo la temperatura (le regioni fredde, infatti, hanno delle stagioni di crescita più durature nel tempo rispetto a quelle calde), la concentrazione di carbonio ed infine gli eventi che possono influenzare e modificare le precipitazioni, elemento fondamentale per i raccolti.
- Gli effetti sulla salute umana. L'incremento delle temperature avrà un impatto sulla diffusione di alcune malattie e sull'incremento della mortalità
- Gli effetti sulla produttività del lavoro/stress da calore. Climi sempre più caldi comporteranno maggiori pause ed interruzioni sul lavoro, una riduzione della velocità e un incremento del verificarsi di infortuni. In particolar modo, sarà l'agricoltura a risentire maggiormente di questi impatti.
- L'innalzamento del livello del mare. L'innalzamento delle temperature comporterà lo scioglimento dei ghiacciai che a sua volta avrà come conseguenza principale quella di innalzare il livello del mare. Questo incremento inoltre diminuirà la porzione di terra disponibile a seguito dell'aumento delle inondazioni e dell'erosione.
- I flussi turistici. Le regioni fredde attireranno in futuro più turisti, diventando le mete principali e comportando danni relativi per tutti i paesi dipendenti da questo settore.
- La domanda di energia delle famiglie. Si innalzerà anche la domanda di petrolio per il raffrescamento elettrico, comportando di conseguenza un aumento dei prezzi soprattutto per quando riguarda il petrolio (Guo et al.; 2021)

Anche il JRC tramite i progetti PESETA ha cercato di contribuire allo studio del cambiamento climatico ed in particolar modo delle conseguenze per l'Europa.

Lo studio è diviso in tre sezioni: la prima riguarda la modellazione climatica, la seconda studia e valuta gli impatti biofisici per una serie di “categorie di impatto”, infine l’ultima propone un’analisi economica degli impatti presi in considerazione (Szewczyk et al.; 2020).

Gli scenari analizzati in questo studio sono tre: i primi due propongono un incremento della temperatura pari a 1.5°C e 2°C, rientrano quindi all’interno dell’accordo di Parigi, l’ultimo invece prevede un livello di innalzamento in gradi maggiore, pari a 3°C. per quanto riguarda le categorie di impatto prese in considerazione, esse sono 11 ovvero: inondazioni fluviali, inondazioni costiere, siccità, agricoltura, approvvigionamento energetico, mortalità per ondate di caldo e freddo, tempeste di vento, perdita di habitat, incendi boschivi, acqua ed ecosistemi forestali. Solamente sei di questi settori però sono stati considerati nell’analisi economica degli impatti, tra cui (inondazioni fluviali, inondazioni costiere, siccità, agricoltura, approvvigionamento energetico e tempeste di vento, in quanto solo in questi settori è stato possibile ricavare delle informazioni, espresse economicamente, sulle conseguenze degli impatti (Szewczyk et al.; 2020).

Non potendo quantificare i danni di alcune categorie di impatto, i risultati proposti all’interno di tale studio però non riflettono tutti i danni climatici complessivi che affliggeranno l’Europa, per questo motivo i risultati devono essere considerati una sottostima degli impatti economici del cambiamento climatico; lo scenario che si verificherà in futuro è quindi molto più preoccupante rispetto a quello proiettato in questo studio.

L’approccio utilizzato è di tipo statico, lo studio vuole infatti rispondere alla domanda "*come sarebbe l’economia se il clima futuro si verificasse oggi?*" (Szewczyk et al.; 2020), l’obiettivo quindi è quello di studiare quali conseguenze e danni affliggerebbero l’economia attuale se l’aumento di 1.5°C- 2.°C- 3°C si verificasse oggi.

I paesi europei vengono divisi in cinque regioni differenti:

- ◆ Il Nord Europa: Svezia, Finlandia, Estonia, Lituania, Lettonia e Danimarca.
- ◆ Regno Unito e Irlanda.
- ◆ Il Centro Nord Europa: Belgio, Germania, Lussemburgo, Paesi Bassi, Polonia.
- ◆ Il Centro Sud Europa: Austria, Repubblica Ceca, Francia, Ungheria, Slovacchia, Romania.

- ◆ Il Sud Europa: Bulgaria, Croazia, Cipro, Grecia, Italia, Malta, Portogallo, Slovenia, Spagna (Szewczyk et al.; 2020).

Secondo il JRC la perdita annua di benessere per un incremento della temperatura di 1.5°C gradi sarebbe di 42 miliardi di euro, pari allo 0,33% del PIL; in caso di un incremento di 2°C invece, tale riduzione si aggirerebbe attorno agli 83 miliardi di euro ovvero lo 0,65% del PIL, quasi il doppio delle perdite causate per un innalzamento di 1.5°C; infine, nella peggiore delle tre ipotesi, calcolando un incremento delle temperature di 3°C, la perdita annua di benessere corrisponderebbe a 175 miliardi di euro, l'1,38% del PIL (Szewczyk et al.; 2020).

Come evidenziato anche dagli studi precedenti, le perdite non sono però omogenee ma si differenziano in base all'area considerata. Anche in Europa si può notare tale divario. Le regioni del Nord Europa, ad esempio, secondo queste previsioni, subirebbero degli impatti ridotti o addirittura potrebbero registrare dei guadagni in alcuni settori grazie all'incremento delle temperature; al contrario nelle regioni meridionali si registrerebbero solamente danni e impatti negativi (Szewczyk et al.; 2020).

Il JRC propone poi un'analisi degli impatti per ciascun settore. Per quanto riguarda la mortalità umana, una delle conseguenze principali dell'aumento del calore, causerebbe perdite di benessere, per i tre scenari differenti, pari a 36, 65 e 122 miliardi di euro, inoltre l'80% di tali danni si riscontrerebbe nelle regioni meridionali. La seconda categoria più dannosa è quella delle inondazioni fluviali e costiere con un impatto di 8,5 miliardi di euro a 1.5°C, 16 miliardi a 2°C e 40 miliardi a 3°C, in questo caso però i danni maggiori si registrerebbero nelle regioni centrali e settentrionali. Successivamente vi è la siccità e i cambiamenti per quanto riguarda la sua frequenza e gravità; questa categoria comporterebbe degli aumenti di benessere, anche se limitati, nelle zone dell'Europa settentrionale, al contrario risulterebbe essere una delle principali fonti di diminuzione del benessere nelle regioni meridionali, causando in queste aree delle perdite pari a 8,7 miliardi di euro, in uno scenario 3°C, sui 10,6 miliardi causati in tutta Europa. Per quanto riguarda i rendimenti in agricoltura si prospetta lo stesso scenario della siccità, vantaggi per i paesi a nord e sostanziali perdite per quelli a sud, dove le perdite aumentano da 1 miliardo per un incremento di 1.5°C a 6 nel caso di un innalzamento di 3°C; al contrario nelle nazioni situate nell'area settentrionale il guadagno risulterebbe pari a 4,5 miliardi di euro nell'ipotesi di uno scenario 1.5°C ma tenderebbe a diminuire con un ulteriore aumento della temperatura, portando un vantaggio ridotto a 2 miliardi di euro per uno scenario di 3°C. Infine, per quanto riguarda la fornitura di elettricità, si riproporrà la stessa

contrapposizione che vede incrementare il benessere per le aree settentrionale ma presuppone una riduzione di questo stesso indicatore per quelle meridionali (Szewczyk et al.; 2020).

Infine, gli studi del JRC sottolineano come l'economia dell'UE sia influenzata non solamente dall'impatto diretto proveniente dal clima, bensì anche dal commercio internazionale e di conseguenza dai danni legati al clima subiti da altre nazioni. Le analisi ipotizzano che a causa delle ricadute internazionali, i danni subiti dell'economia dell'UE potrebbero aumentare del 20%.

Nella tabella sottostante sono state riportate, per ciascun scenario (1,5°C/ 2°C/ 3°C), le perdite di benessere calcolate prima in miliardi di euro e poi come percentuali rispetto al PIL in tutti e sei i settori considerati e divisi sia per ciascuna regione. In basso nella tabella viene invece riportata la somma di tutti i singoli settori e l'impatto generale creato.

| Sector | Region | Welfare change, bn € (additional to base) | | | Welfare change as share in GDP (%) | | |
|--------------------|----------------------|---|--------------|---------------|------------------------------------|--------------|--------------|
| | | 1.5°C | 2°C | 3°C | 1.5°C | 2°C | 3°C |
| Inland floods | Northern Europe | -0.4 | -1.3 | -2.8 | -0.05 | -0.15 | -0.32 |
| | UK & Ireland | -0.6 | -1.0 | -2.3 | -0.03 | -0.05 | -0.12 |
| | Central Europe North | -1.3 | -2.6 | -5.0 | -0.03 | -0.07 | -0.13 |
| | Central Europe South | -2.3 | -4.5 | -7.3 | -0.08 | -0.16 | -0.26 |
| | Southern Europe | -0.9 | -1.5 | -2.5 | -0.03 | -0.05 | -0.08 |
| | EU + UK | -5.5 | -10.8 | -19.8 | -0.04 | -0.09 | -0.16 |
| Coastal Floods | Northern Europe | -0.1 | -0.3 | -1.5 | -0.02 | -0.03 | -0.17 |
| | UK & Ireland | -0.7 | -1.4 | -5.2 | -0.04 | -0.07 | -0.27 |
| | Central Europe North | -0.5 | -1.0 | -3.1 | -0.01 | -0.02 | -0.08 |
| | Central Europe South | -0.7 | -1.2 | -4.8 | -0.02 | -0.04 | -0.17 |
| | Southern Europe | -0.9 | -1.8 | -5.2 | -0.03 | -0.06 | -0.16 |
| | EU + UK | -3.0 | -5.6 | -19.8 | -0.02 | -0.04 | -0.16 |
| Agriculture | Northern Europe | 0.6 | 0.5 | 0.2 | 0.06 | 0.06 | 0.02 |
| | UK & Ireland | 0.4 | 0.4 | -0.3 | 0.02 | 0.02 | -0.01 |
| | Central Europe North | 3.5 | 3.3 | 2.0 | 0.09 | 0.08 | 0.05 |
| | Central Europe South | 0.0 | -0.3 | -2.5 | 0.00 | -0.01 | -0.09 |
| | Southern Europe | -1.0 | -1.4 | -3.7 | -0.03 | -0.04 | -0.12 |
| | EU + UK | 3.5 | 2.5 | -4.3 | 0.03 | 0.02 | -0.03 |
| Droughts | Northern Europe | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.04 | 0.05 | 0.04 |
| | UK & Ireland | -0.1 | -0.4 | -1.5 | -0.01 | -0.02 | -0.08 |
| | Central Europe North | 0.5 | 0.0 | -0.8 | 0.01 | 0.00 | -0.02 |
| | Central Europe South | 0.4 | -1.0 | -3.1 | 0.02 | -0.03 | -0.11 |
| | Southern Europe | -1.8 | -3.0 | -5.6 | -0.06 | -0.09 | -0.18 |
| | EU + UK | -0.7 | -3.9 | -10.6 | -0.01 | -0.03 | -0.08 |
| Energy | Northern Europe | 0.4 | 1.2 | 2.2 | 0.04 | 0.14 | 0.26 |
| | UK & Ireland | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| | Central Europe North | -0.1 | -0.2 | -0.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Central Europe South | 0.2 | 0.2 | -0.4 | 0.01 | 0.01 | -0.01 |
| | Southern Europe | -0.7 | -1.0 | -1.4 | -0.02 | -0.03 | -0.04 |
| | EU + UK | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Mortality | Northern Europe | -0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.01 | -0.02 | -0.03 |
| | UK & Ireland | -1.1 | -1.8 | -2.8 | -0.06 | -0.09 | -0.15 |
| | Central Europe North | -6.6 | -10.3 | -17.0 | -0.17 | -0.26 | -0.43 |
| | Central Europe South | -10.7 | -18.7 | -32.9 | -0.38 | -0.67 | -1.18 |
| | Southern Europe | -17.6 | -34.1 | -68.9 | -0.56 | -1.09 | -2.20 |
| | EU + UK | -36.1 | -65.0 | -121.9 | -0.29 | -0.51 | -0.96 |
| Sum of the sectors | Northern Europe | 0.6 | 0.5 | -1.7 | 0.07 | 0.06 | -0.20 |
| | UK & Ireland | -1.9 | -4.2 | -12.0 | -0.10 | -0.22 | -0.62 |
| | Central Europe North | -4.5 | -10.8 | -24.0 | -0.11 | -0.27 | -0.61 |
| | Central Europe South | -13.1 | -25.4 | -50.9 | -0.47 | -0.91 | -1.83 |
| | Southern Europe | -23.0 | -42.7 | -87.3 | -0.73 | -1.36 | -2.78 |
| | EU + UK | -41.9 | -82.6 | -175.9 | -0.33 | -0.65 | -1.39 |

Figura 25: Fonte: PESETA IV, 2020

In conclusione, come afferma la Banca Mondiale, oggi non vi è ancora un accordo unico a livello internazionale sugli effettivi impatti economici del cambiamento climatico, anzi

vi sono molte incertezze; tende però ad essere sempre più diffusa l'impressione che gli attuali risultati proposti dai differenti studi sottostimino gli effettivi danni (Stern; 2016).

Secondo la Banca Mondiale i modelli macroeconomici tradizionali usati per calcolare l'impatto economico non sono in grado di restituire delle stime corrette. Su tale tematica è intervenuto anche uno degli autori dello studio "*The social cost of carbon dioxide under climate-economy feedbacks and temperature variability*", Chris Brierley, il quale ha affermato che "*il cambiamento climatico rende molto più probabili eventi dannosi come la recente ondata di caldo in Nord America e le inondazioni in Europa (...) Se smettiamo di presumere che le economie si riprendano da tali eventi entro pochi mesi, i costi del riscaldamento sembrano molto più alti di quanto solitamente dichiarato*" (Kikstra et al.; 2021).

4.3 L'ASSENZA DI UN APPROCCIO ECONOMICO DI COMPLESSITÀ

Dagli studi presi in considerazione nel sotto-capitolo precedente, in particolar modo dall'analisi dell'ultimo rapporto di valutazione dell'IPCC si evince come gli impatti economici del cambiamento climatico, per quanto non possano essere completamente ignorati, non destino attualmente una preoccupazione così elevata, dal momento che viene dato per scontato che tali conseguenze potranno facilmente essere gestite e risolte grazie a due fattori: la crescita economica prevista per il futuro e stimata in media come superiore al 2% e gli aumenti di produttività. Questa linea di pensiero rientra all'interno della corrente mainstream dell'economia.

Da diversi decenni, però, le economie avanzate si trovano ad affrontare un rallentamento generale dei tassi di crescita, tendenza iniziata già negli anni Settanta; come affermato infatti dalla Banca Mondiale le economie occidentali dovrebbero passare dal 5% nel 2021 al 3,8%, nel 2022 per poi toccare il 2,3% nel 2023 (World Bank, 2022). Dal momento che la crescita economica, nel quadro attuale, pare destinata a ridursi, ci si interroga quindi su come essa, da sola, possa assorbire i costi crescenti del cambiamento climatico.

La possibilità di rivolgersi unicamente alla tecnologia per annullare i costi di tale fenomeno risulta difficile da realizzare. L'economia neoclassica considera l'innovazione tecnologica come un processo che, essendo continuo e progressivo, permette di realizzare un'infinita crescita, è necessario però chiedersi se sia davvero così, analizzando come

questo processo si evolve nel lungo periodo. Per far ciò bisogna considerare l'evoluzione della TFP ovvero Total Factor Productivity; tale strumento permette di studiare l'effettiva crescita della produzione, quindi il PIL o l'output, non conseguente ad un incremento degli input, ovvero del capitale e del lavoro (Field; 2009).

Considerando la TFP degli USA, del Regno Unito e dell'Europa a partire dalla rivoluzione industriale, si può notare però come il suo andamento non segua un percorso crescente, al contrario conferma la cosiddetta "Ipotesi della Grande Onda", la quale prevede che il ciclo della rivoluzione industriale segua in primis una fase ascendente per poi discendere successivamente (Bonaiuti; 2018).

Cercare di spiegare questi fenomeni e trovare delle risposte tramite la lente dell'economia neoclassica però risulta limitante in quanto tale teoria, e di conseguenza anche i reports analizzati precedentemente, manca di una prospettiva sia transdisciplinare che complessa; inoltre, prende in analisi ogni crisi come un fenomeno a sé. Analizzare ogni crisi come un fenomeno passeggero, risolvibile con specifici strumenti non permette di cogliere le tendenze sistemiche.

Tenendo presente nell'analisi dei costi economici del cambiamento climatico la teoria dei rendimenti marginali decrescenti (DMR) della complessità, emerge un nuovo punto di vista che permette di ipotizzare delle differenti conclusioni. Il concetto di DMR è stato introdotto dallo studioso di complessità Joseph Tainter, il quale sosteneva che le società fossero composte da una serie di strutture e che col tempo la complessità di tali strutture aumentasse fino a raggiungere una determinata soglia; oltre tale limite i benefici, per ogni incremento ulteriore di complessità, si riducevano. Tutto ciò significa che nella visione di Tainter il complessificarsi delle organizzazioni, una volta superata quella determinata soglia, avvia dei rendimenti decrescenti. Le organizzazioni sociali si basano inoltre su un meccanismo di problem solving, ogni qual volta si presenti un nuovo problema esse tendono a risolverlo aumentando il loro livello complessità e di conseguenza, ottenendo, col tempo, sempre minori vantaggi.

Tale processo può essere rappresentato attraverso il seguente grafico:

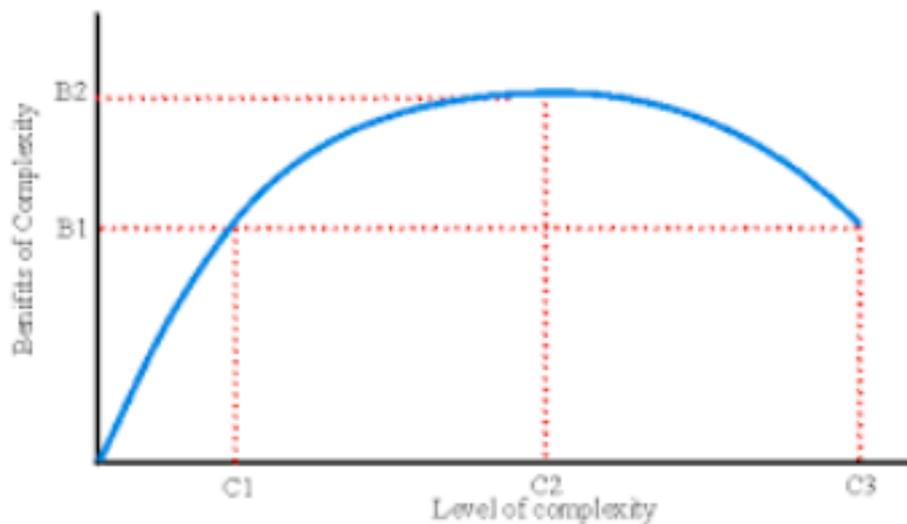


Figura 26: Rendimenti marginali decrescenti. Fonte: Tainter; 1988

Se si ipotizza che la nostra società si trovi attualmente oltre la soglia C2, ovvero il momento a partire dal quale un ulteriore aumento di complessità non solo non produce guadagni ma al contrario genera benefici negativi, rischiando di ridurre ulteriormente il benessere, i tassi di crescita e la produttività (Tainter; 1988), ed introducendo tale ipotesi nello studio dei costi economici del cambiamento climatico, il quadro futuro risulterebbe molto più drammatico e preoccupante rispetto a quello proposto dagli studi analizzati nel sotto capitolo precedenti.

Tramite un approccio di complessità si può infatti comprendere come il cambiamento climatico si intrecci con altri aspetti e problemi della società, ad esempio, diventa chiaro come la tecnologia da sola possa spostare in avanti nel tempo la soglia C2 ma non permetterà di risolvere il problema delle emissioni riuscendo a farle rientrare all'interno del limite planetario indicato; ciò è dovuto al fatto che l'innovazione tecnologica stessa è soggetta a DMR, perciò anche il suo utilizzo comporterà sempre un aumento dei costi a fronte di una diminuzione dei benefici ricavabili.

Infine, per concludere, la teoria della complessità dimostra come, nel caso in cui si verificano contemporaneamente una serie di stress, tra cui il cambiamento e la relativa crisi climatica, il rallentamento sia della crescita economica che dell'innovazione e la crisi del debito pubblico, fenomeni attualmente presenti, come dimostrato, nella società attuale, il rischio che si verifichi il collasso della società aumenta vertiginosamente; inoltre, l'utilizzo delle strategie usuali non riuscirebbe a risolvere i problemi in quanto incrementerebbe solamente il livello di complessità producendo ulteriori danni.

CONCLUSIONI

L'obiettivo di analizzare la portata degli impatti biofisici e le conseguenze economiche della crisi ambientale, è stato perseguito all'interno della presente tesi tramite lo studio dei limiti planetari e del cambiamento climatico.

L'analisi dei limiti planetari ha permesso di comprendere l'effettivo livello di insostenibilità raggiunto dalla società umana e nello specifico delle economie capitalistiche avanzate.

Partendo dai dati riportati nello studio "A Good Life For All Within Planetary Boundaries", pubblicato nel 2018 dall'Università di Leeds, il quale ha stimato, per ciascuno dei sette confini presi in analisi, i limiti ed i livelli attualmente raggiunti da ogni paese, è stata calcolata la percentuale di riduzione delle proprie attività, sia generale che specifica per ciascun indicatore, necessaria ad ognuno dei 151 paesi analizzati al fine di rientrare all'interno delle soglie stimate. Tali calcoli hanno permesso di comprendere l'ordine di grandezza della portata delle azioni e delle strategie che dovrebbero essere attuate per poter riuscire a rientrare in una cosiddetta "zona sicura" all'interno della quale verrebbe garantito lo sviluppo e la prosperità delle società umane senza violare la resilienza e resistenza della Terra stessa.

Ogni paese presenta dei dati differenti, la Spagna, ad esempio, supera tutti e sette i confini considerati, mentre l'India ne supera solamente uno, quello riferito alle emissioni di CO₂. In tutte le economie occidentali avanzate però si può osservare come la media delle percentuali di tutti gli indicatori, sia molto alta; la Francia, ad esempio, dovrebbe ridurre le sue attività del 66,2%, gli Stati Uniti del 64,1%, il Regno Unito del 77,4% e l'Italia del 74,9%; inoltre tutti questi paesi raggiungono un punteggio notevolmente alto per quanto riguarda le emissioni di CO₂, necessitano infatti di una riduzione della loro produzione superiore all'80%.

La concentrazione atmosferica di CO₂ è la principale causa responsabile proprio del cambiamento climatico, uno dei limiti più importanti, in quanto la sua azione genera risposte brusche, irreversibili e non lineari, influenzando anche gli altri indicatori biofisici. La principale conseguenza dell'aumento di questa concentrazione è l'incremento delle temperature. Al fine di riuscire a ridurre tale impatto, in modo da rispettare gli Accordi di Parigi, sarebbe necessario diminuire le emissioni di gas serra, in modo da raggiungere entro il 2050 un livello pari a zero di emissioni nette; attualmente

però si sta verificando lo scenario opposto, la concentrazione di CO₂ infatti continua ad aumentare, nel 2018 ha raggiunto il suo picco, risultando più elevata, rispetto al livello preindustriale, del 44%.

Nonostante la letteratura riguardante il cambiamento climatico risulti ad oggi molto vasta, gli studi che prendono in considerazione anche i suoi impatti economici e non solo quelli biofisici, sono ancora limitati; inoltre, sia i dati riportati da queste analisi, che la metodologia adottata presentano un livello di incertezza non trascurabile. Vi sono comunque alcuni organismi che hanno tentato di effettuare delle stime a riguardo, con l'obiettivo di comprendere gli scenari futuri.

Tra questi organismi vi è l'IPCC, il quale nel suo rapporto di valutazione del 2014, ha affermato che le *“global annual economic losses for warming of ~2.5°C above pre-industrial levels are 0.2 to 2.0%”* (IPCC; 2014). Le stime dell'IPCC quindi presuppongono che per un aumento della temperatura non superiore a 2°C, rispetto al livello pre-industriale, le perdite economiche annue varieranno tra lo 0,2% ed il 2% del PIL; per un incremento maggiore della temperatura, attorno ai 3,66°C, i danni raggiungeranno invece il 2,6% sempre del PIL entro la fine del secolo. Anche i risultati di Nordhaus (2017), riportano stime simili, prevedendo entro il 2100 una perdita del 2,1% del reddito globale nel caso di un incremento della temperatura di 3°C, danno che invece si aggirerebbe attorno all'8,5% per un incremento di 6°C.

Vi è poi lo studio *“The economics of climate change: no action not an option”* pubblicato dallo Swiss Re Institute nel 2021, il quale sostiene che per un incremento della temperatura di 2-2.6°C la portata degli impatti economici a partire dal giorno d'oggi fino al 2050, comporterà un abbassamento del PIL mondiale pari all'11-14%, rispetto ad un mondo senza cambiamenti climatici. Ciò significa che il costo annuale medio sul PIL si aggirerà attorno allo 0,5% annuo; tale stima risulta significativa ma comunque contenuta, nonostante essa sia in aumento. Nel caso in cui si riuscissero a rispettare gli Accordi di Parigi, la perdita totale fino al 2050 sul PIL globale risulterebbe pari al 4,2%, il danno economico provocato quindi risulterebbe decisamente trascurabile.

Infine, se si vuole focalizzare l'attenzione sull'area dei paesi europei, si possono analizzare gli studi del JRC, il quale ha cercato di rispondere alla domanda *“come sarebbe l'economia se il clima futuro si verificasse oggi?”*; i risultati affermano che per un aumento dei 1,5°C la perdita annua corrisponderebbe allo 0,33 del PIL, per un incremento di 2°C si aggirerebbe attorno allo 0,65% del PIL ed infine se il livello della temperatura

raggiungesse un innalzamento di 3°C, i danni colpirebbero annualmente l'1,38% del PIL dei paesi europei presi in considerazione.

Si può dedurre implicitamente dall'analisi di questi studi che le conseguenze economiche del cambiamento climatico vengono ritenute rilevanti ma non particolarmente significative in quanto viene dato per assodato che tali danni verranno gestiti in futuro grazie ad una crescita economica stimata in media come superiore al 2% e dagli aumenti di produttività garantiti dall'innovazione tecnologica. Il cambiamento climatico quindi, secondo tale prospettiva, non rappresenterebbe per l'economia mondiale un rischio sistemico.

L'ipotesi proposta dalla presente tesi è che tali conclusioni rischino di risultare troppo ottimiste, tralasciando alcuni aspetti fondamentali e sottostimando i reali impatti economici attuali e futuri del cambiamento climatico. Introducendo un approccio di complessità, infatti, gli scenari futuri risultano più preoccupanti.

Per sostenere tale ipotesi ci si è soffermati su alcuni aspetti. Innanzitutto, per quanto riguarda la crescita economica, a partire dagli anni Settanta, le economie occidentali avanzate hanno dovuto affrontare un rallentamento; questa tendenza inoltre non sembra arrestarsi, la Banca Mondiale ha allertato sulle previsioni per il 2023, dimostrando come la crescita dovrebbe passare dal 5% nel 2021 al 2,3% nel 2023. In un quadro futuro dove la crescita del PIL si aggirerà al di sotto del 2% annuo, gli scenari appaiono molto più allarmanti; ad esempio, gli impatti economici stimati nelle zone del Sud Europa (ovvero le aree che nel nostro continente saranno le più colpite dalle conseguenze del riscaldamento globale) dallo JRC prevedono un danno pari all'1,36% del PIL in caso di un incremento di 2°C e del 2,78% per un innalzamento di 3°C, ciò significa che solamente i danni economici causati dal cambiamento climatico assorbirebbero tutta la crescita economica; senza contare che questi dati, come riferito in precedenza, sono probabilmente solo una sottostima degli effettivi impatti.

Il secondo aspetto da tener presente è il ruolo dell'innovazione tecnologica. Analizzando la TFP growth ed il suo trend di crescita è stato dimostrato come esso confermi l'ipotesi della Grande Onda (Bonaiuti, 2018), la quale sostiene che la rivoluzione industriale è caratterizzata da un andamento a campana, ovvero all'inizio presenta una fase di rapida accelerazione per poi raggiungere un punto massimo, individuato nel lasso di tempo compreso tra gli ultimi anni 30 ed i primi anni 60 del secolo scorso, avviandosi così verso una fase di decrescita. Il rallentamento che ormai caratterizza la TFP growth da più di 80

anni, quindi, non può essere considerato come un semplice rallentamento temporaneo bensì deve essere ritenuto un elemento strutturale.

Come abbiamo visto la ricerca sui rendimenti decrescenti della complessità dimostra come le attuali economie occidentali siano entrate in una fase di rendimenti decrescenti (DMR) che caratterizzano non solamente la Total Factor Productivity ma anche altri settori come la salute, la ricerca scientifica, l'agricoltura e l'energia. Risulta quindi plausibile dedurre che le società capitalistiche avanzate siano entrate in una fase di decrescita a partire dalla quale qualunque incremento della complessità dei sistemi non solo non produce guadagni ma rischia di incrementare la riduzione di benessere, i tassi di crescita e la produttività (Tainter; 1988).

Introdurre una prospettiva di complessità permette inoltre di tener conto non solo delle singole variabili, bensì anche dell'interazione tra differenti fattori di crisi tra cui vi sono, per l'appunto, gli impatti del cambiamento climatico, il riscaldamento globale, il rallentamento sia della crescita che dell'innovazione tecnologica e l'incremento del debito pubblico. Tali stress interagiscono tra di loro, comportando un incremento della complessità stessa del sistema, l'innescarsi di dinamiche non lineari, difficilmente controllabili ed il rischio del superamento dei tipping points ovvero dei punti di non ritorno.

In conclusione, nonostante lo studio dei cambiamenti climatici ed i loro impatti economici risulti ancora accerchiato da una nuvola di incertezza, ritenere che tali conseguenze saranno facilmente controllabili e gestibili nei prossimi decenni, grazie alla crescita economica ed all'innovazione tecnologica, ed escludere una prospettiva di complessità dalle varie analisi, non permette di inquadrare la reale portata di tali danni, rischiando, di conseguenza, di indirizzare le future politiche verso una strada errata.

BIBLIOGRAFIA

- Amerighi O., Felici B., *Sviluppo sostenibile e green economy: oltre il PIL*, EAI, Energia, Ambiente e Innovazione, 2011
<https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-eai/maggio-giugno-2011/a-greeneconomy.pdf>
- Arnsperger C., Bourg D., *Vers une économie authentiquement circulaire*, Revue de l'OFCE, 2016.
https://www.researchgate.net/publication/297673194_Vers_une_economie_authentiquement_circulaire
- Arrobbio O., Bonaiuti M., Garrone G., Giaccaria S., *Ecoefficienza e Rebound Effect. Modelli di misurazione e determinanti socioculturali*.
<https://core.ac.uk/download/pdf/302083164.pdf>
- Barba M., *I sei confini violati*, 2013.
<https://www.scienzainrete.it/contenuto/articolo/milly-barba-rita-occhipinti-michela-perrone-valentina-tudisca/confini-planetari>
- Balland, P.A., Broekel, T., Diodato D., Giuliani E., Hausmann, R., O'Clery, N., & Rigby, D. (2022). The new paradigm of economic complexity. *Research Policy*, 51(3).
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104450>
- Bauwens, *Are the circular economy and economic growth compatible? A case for post-growth circularity*, Copernicus Institute of Sustainable Development, 2021.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921004614?via%3Dihub>
- Bonaiuti, M., *La grande transizione*, Bollati Boringhieri, 2013.
- Bonaiuti M., Scarallo G., *From Growth to degrowth. Complexity and Diminishing Returns on Innovation: A Secular Perspective*
- Bonaiuti, M. *Are we entering the age of involuntary degrowth? Promethean technologies and declining returns of innovation*, Journal of Cleaner Production, 2018, Volume 197, Part 2, Pages 1800-1809, ISSN 0959-6526,
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.196>,
- Bosello F., *I costi del cambiamento climatico in Italia. Criticità di valutazione e stime economiche*, Equilibri, 2, 2017. https://www.feem.it/m/publications_pages/04-bosello.pdf

- Carraro C., Crimi J., Sgobbi A., La valutazione economica dli impatti del cambiamento climatico in Italia e delle relative misure di adattamento, APAT and CMCC, 2007
http://www.climatrentino.it/binary/pat_climaticamente/cc_rapporti_documenti/Rapporto_sintesi_finale_new_impatto_economico.1324995617.pdf
- Caserini S., Scenari internazionali di emissione e assorbimenti di gas serra congruenti con l'Accordo di Parigi, ISPRA, 2018.
<https://www.isprambiente.gov.it/files2018/eventi/gas-serra/CaseriniRoma1552018.pdf>
- Ciccarese L., Clima, *le emissioni di CO2 continuano a crescere*, 2019
<https://ilbolive.unipd.it/it/news/clima-emissioni-co2-continuano-crescere>
- Circular Economy Network, *3° Rapporto Sull'Economia Circolare in Italia*, 2021. Report. https://circulareconomynetwork.it/wp-content/uploads/2021/03/3°-Rapporto-economia-circolare_CEN.pdf
- Ferrari M., Crescita economica, inquinamento e visioni sostenibili: un focus sulla Curva di Kuznets Ambientale, CED, 2016. <https://www.ced-center.it/2016/09/18/the-environmental-kuznets-curve/>
- Field, A.J., 2009. *US economic growth in the gilded age*. J. Macroecon. 31, 173-190.
- Gagnon, N.; Hall, C.A.S.; Brinker, L. A preliminary investigation of energy return on energy investment for global oil and gas production. *Energies* 2009. <https://www.mdpi.com/1996-1073/2/3/490>
- Gupta A.K., Hall C.A.S., *A Review of the Past and Current State of EROI Data, Sustainability*, 2011. <https://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1796>
- Guo, J., Kubli D., & Saner, P. (2021). *The economics of climate change: no action, not an option*. Swiss Re Institute. <https://www.swissre.com/dam/jcr:e73ee7c3-7f83-4c17-a2b8-8ef23a8d3312/swiss-re-institute-expertise-publication-economics-of-climate-change.pdf>
- Haberl H. et al., Natural and socioeconomic determinants of the embodied human appropriation of net primary production and its relation to other resource use indicators, *Ecological Indicators*, 2012, 222-231.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X12001355>
- Hall C.A.S., Lambert J.G., Balogh S.B., EROI of different fuels and the implications for society, *energy Policy*, 2014.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513003856>

- Hausfather Z, Explainer: How ‘Shared Socioeconomic Pathways’ explore future climate change, 2018. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change>
- IPCC (2022b). Chapter 1: Point of Departure and Key Concepts. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 3: Ocean and coastal ecosystems and their services. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 4: Water. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 5: Food, fibre, and other ecosystem products. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 6: Cities, settlements and key infrastructure. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 7: Health, wellbeing and the changing structure of communities. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 8: Poverty, livelihoods and sustainable development. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 9: Africa. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

- IPCC (2022b). Chapter 10: Asia. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 11: Australasia. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 12: Central and South America. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 13: Europe. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 14: North America. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 16: Key risks across sectors and regions. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Chapter 18: Climate resilient development pathways. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC (2022b). Summary for Policymakers. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC. (2018a). Summary for Policymakers. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the*

global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

- IPCC. (2018b). Chapter 2: Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.* Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

- IPCC. (2018c). Chapter 3: Impacts of 1.5°C of Global Warming on Natural and Human Systems. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.* Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

- IPCC. (2014a). Chapter 10: Key economic sectors and services. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

- IPCC. (2014b). Chapter 17: Economics of adaptation. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

- Latouche S., *La scommessa della decrescita*, Feltrinelli, 2007.

- Lim A., What is ecological footprint? Definition and how to calculate it, Treehugger, 2022. <https://www.treehugger.com/what-is-ecological-footprint-4580244>

- Lionello P., Naumann G., *Il rapporto IPCC spiegato dagli esperti italiani con i contenuti principali su Europa, Mediterraneo e Italia*, IPCC Focal Point for Italy, 2022. <https://ipccitalia.cmcc.it/il-rapporto-ipcc-spiegato-dagli-esperti-italiani-con-i-contenuti-principali-su-europa-mediterraneo-e-italia/>

- Ministero della Transazione Economica, *Gli inquinanti*, 2021. <https://www.mite.gov.it/pagina/gli-inquinanti> (consultato il 20/08/2021)

- Minucci S., *Agenda 2030-Goal 15: La vita sulla Terra*, 2020. <https://blog.geografia.deascuola.it/articoli/agenda-2030-goal-n-15-la-vita-sulla-terra>

- Mcsweeney R., *Explainer: Nine 'tipping points' that could be triggered by climate change*, Carbon Brief, 2020. <https://www.carbonbrief.org/explainer-nine-tipping-points-that-could-be-triggered-by-climate-change/>
- OCSE, *Verso una crescita verde. Una sintesi per i responsabili politici*, 2011. <http://hqweb.unep.org/greeneconomy/>
- Parrique T., Barth J., Briens F., C. Kereschener Kraus-Polk A., Kuokkanen A., Spangenberg J.H., *Decoupling Debunked: Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability*, European Environmental Bureau, 2019. https://www.researchgate.net/publication/334453443_Decoupling_Debunked_Evidence_and_arguments_against_green_growth_as_a_sole_strategy_for_sustainability_A_study_edited_by_the_European_Environment_Bureau_EEB
- Parrique T., *La crescita verde sta avvenendo veramente?*, 2021. <https://ecor.network/articoli/la-crescita-verde-sta-avvenendo-veramente/>
- Pérez, *Pactos Verdes en tiempos de pandemias. El futuro se disputa ahora*, ODG, Libros en Acción, Icaria Editorial, 2021 - 170 pp. <https://odg.cat/publicacio/pactes-verds-pandemies/>
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009. Planetary boundaries:exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* **14**(2): 32. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., 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*(6223), 736–46. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1259855>
- Szewczyk, W., Feyen. L., Ciscar, J.C., Matei, A., Mulholland, E., Soria, A., *Economic analysis of selected climate impacts*, JRC PESETA IV Project-Task 14, 2020. [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/J"RC120452](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/J)
- Tainter, J. A. *The Collapse of Complex Societies*. Cambridge University Press, 1988
- UNEP, *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International*

Resource Panel. Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E.U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Hennicke, P., Romero Lankao, P., Siriban Manalang, A., Sewerin, S., 2011. <https://www.resourcepanel.org/reports/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth>

- UNEP, *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers*. 2011. www.unep.org/greeneconomy

- Victor P.A., Jackson T, *State of the World 2015: Confronting Hidden Threats to Sustainability*, Island Press, 2015.

- World Bank, *Macro Financial Aspects of Climate Change*, 2020. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33193/Macro-Financial-Aspects-of-Climate-Change.pdf>

- World Bank. *Global Economic Prospects*. Report. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/36519/9781464817601.pdf>, 2022

SITOGRAFIA

- <https://www.ipcc.ch/reports/> (consultato il 20/04/2022)
- <https://ipccitalia.cmcc.it/reports/> (consultato il 10/04/2022)
- <https://www.treccani.it/enciclopedia/ipcc> (consultato il 26/04/2022)
- <https://www.focus.it/ambiente/natura/che-cosa-dice-il-rapporto-dellonu-sul-clima> (consultato il 01/05/2022)
- <https://ipccitalia.cmcc.it/cosa-e-ar6/> (consultato il 10/04/2022)
- <https://ipccitalia.cmcc.it/il-rapporto-ipcc-spiegato-dagli-esperti-italiani-con-i-contenuti-principali-su-europa-mediterraneo-e-italia/> (consultato il 20/04/2022)
- <https://www.nccs.admin.ch/nccs/it/home/cambiamenti-climatici-e-impatti/le-informazioni-di-base-sul-clima/cosa-sono-gli-scenari-di-emissione-.html> (consultato il 4/05/2022)
- <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/cambiamenti-climatici/ozono-stratosferico> (consultato il 10/08/2021)

- <https://www.rinnovabili.it/ambiente/inquinamento-fosforo-laghi-fiumi-333/>
(consultato il 14/08/2021)
- <https://cordis.europa.eu/article/id/29443-studies-raise-concern-about-impact-of-nitrogen-on-environment/it> (consultato il 14/08/2021)
- <https://data.footprintnetwork.org/#/> (consultato il 14/08/2021)
- <https://www.nccs.admin.ch/nccs/it/home/cambiamenti-climatici-e-impatti/scenari-climatici-per-la-svizzera/comprendere-gli-scenari-climatici.html>
(consultato il 12/12/2021)
- https://files.cmcc.it/ar6/approfondimenti_AR6_WG3_IPCC.pdf (consultato il 13/04/2022)
- <https://www.rinnovabili.it/ambiente/cambiamenti-climatici/costo-della-crisi-climatica-pil-globale/> (consultato il 13/04/2022)
- <https://www.decrecita.it/decrecita/wp-content/uploads/Doposviluppo-Decrescita-M1.-Bonaiuti.pdf> (consultato il 30/09/2021)

Ringrazio i miei genitori, che sono sempre stati una fonte di ispirazione ed un punto di riferimento in tutti questi anni.