CLIMA ED ECONOMIA IN UN MONDO PIÙ *GREEN*

Stato e tendenze del 2018

Con un focus sugli impatti ecosistemici dei cambiamenti climatici

di Toni Federico, Roma luglio 2019

Non è più l'ora dei rimpianti, ma di darsi da fare. Banksy a Londra, murales

PAGINA LASCIATA INTENZIONALMENTE VUOTA

INDICE

INTRODUZIONE 5

1. L'ENERGIA E LE FONTI RINNOVABILI 8

1.1. I consumi di energia a livello mondiale 8

1.2. La produttività energetica 13

1.3. Le fonti rinnovabili 16

1.4. Gli investimenti per l'energia rinnovabile 21

2. I FLUSSI DI MATERIA E L'ECONOMIA CIRCOLARE 24

2.1. Il capitale naturale e la qualità ambientale della vita 29

3. I CAMBIAMENTI CLIMATICI 32

3.1. Le emissioni di gas serra non accennano a fermarsi 36

3.2. Produttività ed intensità carboniche globali 43

4. FOCUS: GLI IMPATTI ECOSISTEMICI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI 46

4.1. La strategia di Sendai 2015-2030 50

4.2. Impatti economici dei cambiamenti climatici 51

4.3. Impatti sulla biodiversità 63

4.4. Impatti sul capitale naturale e sui servizi ecosistemici 69

4.4.1. Desertificazione 71

4.4.2. Risorse idriche 75

4.4.3. Innalzamento del livello e acidificazione degli oceani 76

4.4.4. Degrado della produttività alimentare 82

4.4.5. Incendi boschivi 86

4.5. Impatti sulla salute umana ed il benessere 88

4.6. Spostamenti e migrazioni 94

4.7. Gli impatti degli eventi climatici estremi 98

CONCLUSIONI: POVERTÀ, SVILUPPO SOSTENIBILE E PROBLEMI DI EQUITÀ CLIMATICA 104

PAGINA LASCIATA INTENZIONALMENTE VUOTA

INTRODUZIONE

C'è sempre più *green economy* nel mondo, anche se non è abbastanza. Gli obiettivi dello sviluppo sostenibile restano infatti ancora lontani nella dinamica di una transizione che stenta ad avviarsi con l'intensità necessaria. La transizione punta ad uno sviluppo umano capace di futuro nel quadro di un'economia *green*, ecologica e sociale di mercato, in alternativa al consumare e produrre sempre di più qualunque cosa mediante meccanismi che alimentano disuguaglianze crescenti[1].

Siamo ormai ad oltre dieci anni dal lancio del Programma della *Green economy* da parte dell'UNEP[2], e la penetrazione della *green economy* si va consolidando[3] nel mondo senza abbandonare le finalità originarie, cioè:

- La decarbonizzazione dell'energia;
- Il risparmio delle risorse naturali nei cicli industriali e civili, quindi l'economia circolare;
- La tutela del clima e del capitale naturale;
- Un benessere inclusivo e di migliore qualità per tutti.

Le modalità di *assessment* dell'avanzamento di tali paradigmi sulla scala planetaria possiamo ritenere siano ancora quelle stabilite dall'OECD[4] con gli indicatori di Tab. 1.[5], ed approfondite nella Relazione sullo stato della *green economy* prodotta dalla Fondazione per lo sviluppo sostenibile nel 2018 (cit.):

- La produttività delle risorse energetiche, materiali e biologiche;
- Lo stato e gli scenari dei cambiamenti climatici;
- Lo stato del capitale naturale;
- La qualità della vita e dell'ambiente;
- Le politiche attive per lo sviluppo sostenibile: innovazione, mercati, flussi finanziari, regimi fiscali e incentivi.

Le produttività carbonica e dei materiali sono migliorate a livello globale. Tra gli anni 1990 e 2016 la produttività energetica è passata a livello globale da 5,25 a 7,94

[1] Edo Ronchi, 2018, *La transizione alla green economy*, Edizioni Ambiente, Milano
[2] UNEP, 2008, *The Green economy Initiative*, lanciata il 22 Ottobre 2008 a Londra con fondi EC, Germania e Norvegia, in: *https://unep.ch/etb/publications/Green%20Economy/GER%20Preview%20v2.0.pdf*
[3] Fondazione per lo Sviluppo sostenibile, 2012 - 2018, *Rapporti annuali sulla Green economy*, disponibili in: *http://www.statigenerali.org/documenti*
[4] OECD, 2011, *Towards Green Growth*, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris, in: *http://dx.doi.org/10.1787/9789264111318-en*
[5] OECD, 2017, *Green growth indicators 2017*, OECD Publishing, Paris, in: *http://dx.doi.org/10.1787/9789264268586-en*

US$$_{2010}$/kep. La produttività dei materiali non energetici è passata per i paesi OECD da 2,22 a 3,27 US$$_{2010}$/kg. Nello stesso periodo, ad esempio, la Cina ha risultati inferiori di un ordine di grandezza, 0,32 e 0,68 US$$_{2010}$/kg. Il quadro delle emissioni globali di CO_2, pur se in costante aumento, registra produttività carboniche che, per effetto della crescita economica, vanno a livello globale nell'intervallo tra 2,25 e 3,38 US$$_{2010}$/kg$CO_2$ rispetto, ad esempio, al dato italiano che va in pari tempo da 4,39 a 6,28 US$$_{2010}$/kg$CO_2$.

Lo sviluppo sostenibile si definisce all'interno di una struttura concettuale a ciambella[6] che impone da un lato di non superare i limiti ecosistemici del pianeta e dall'altro di non scendere al disotto delle compatibilità sociali minime ed eguali per tutti della qualità della vita e dell'accesso alle risorse. La *green economy* garantisce gli uni e le altre. Lo *Stockholm Resilience Centre*[7], ci informa che il superamento dei limiti planetari è già avvenuto per la perdita della biodiversità e per i flussi biogeochimici di azoto e fosforo, mentre per i cambiamenti climatici è per ora all'orizzonte vicino che è quello del riscaldamento medio superficiale terrestre a 2 °C, il massimo dell'anomalia termica stabilito a Parigi nel 2015. La *green economy*, per mirare all'Accordo di Parigi, deve accompagnare le economie in transizione verso la completa decarbonizzazione alla metà del percorso, al 2050.

Tabella 1. Gli indicatori guida per l'assessment della Green economy (fonte: OECD, 2017)

Headline indicators	
Environmental and resource productivity	
Carbon and energy productivity	1. CO_2 productivity
Resource productivity	2. Non-energy material productivity
Multifactor productivity	3. Environmentally adjusted multifactor productivity
Natural asset base	
Renewable and non-renewable stocks	4. Natural resource index
Biodiversity and ecosystems	5. Changes in land cover
Environmental quality of life	
Environmental health and risks	6. Population exposure to air pollution ($PM_{2.5}$)
Economic opportunities and policy responses	
Technology and innovation Environmental goods and services Prices and transfers Regulations and management approaches	*Placeholder: no indicator specified*

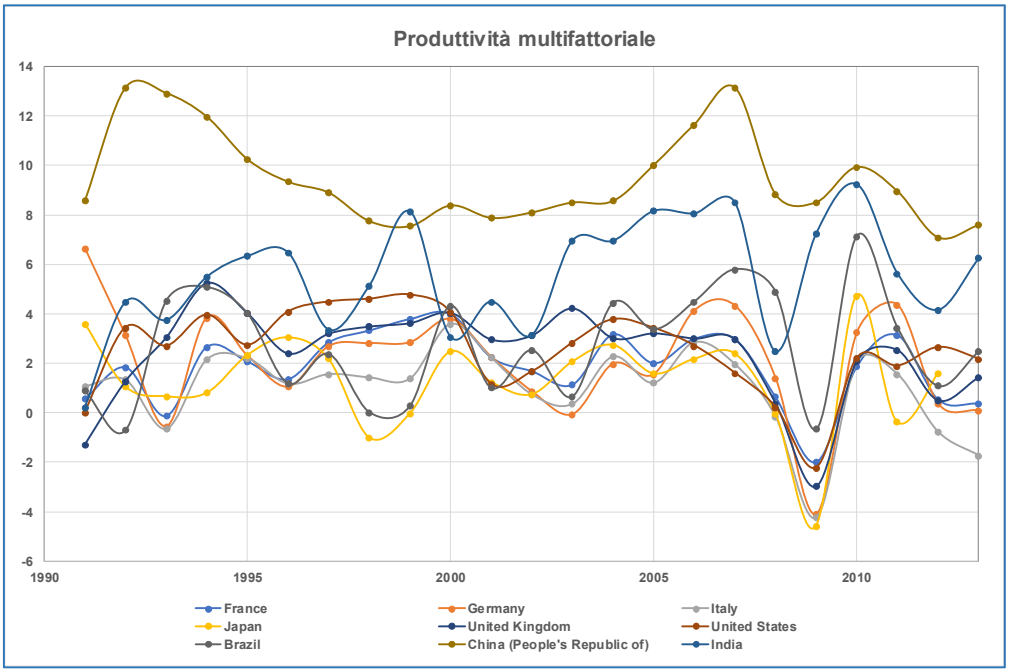
La produttività multifattoriale ambientalmente corretta, la EAMFP, è forse la novità principale del metodo OECD, introdotta per cogliere il ruolo della qualità ambientale nell'economia e cioè per misurare la capacità di un paese di generare reddito con un dato insieme di *input*, lavoro, capitale prodotto e capitale naturale, scontando in *output* dal PIL

[6] Kate Raworth, 2017, *L'economia della ciambella*, Edizioni Ambiente, Milano
[7] *http://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html*

i fattori ambientali negativi come l'inquinamento e le emissioni climalteranti. Consente una migliore identificazione delle fonti di crescita economica evitando le sopravvalutazioni nei paesi in cui la crescita economica si appoggia sul degrado del capitale naturale o su tecnologie fortemente inquinanti. La Fig. 1 presenta i dati fino al 2013 delle principali economie ed evidenzia il dominio di Cina ed India, solo relativamente sensibili alle crisi 1993 e 2009 delle economie occidentali.

I paesi OECD hanno generato crescita quasi esclusivamente attraverso guadagni di produttività; le economie BRIICS hanno sfruttato molto di più il lavoro, le infrastrutture e il capitale naturale. Il capitale naturale può contribuire alla crescita in modo significativo, ma spesso insostenibile (il 23% del PIL della Federazione Russa dal 1994 è dovuto all'estrazione di beni del sottosuolo). Altri paesi hanno raggiunto la crescita economica solo a spese della qualità ambientale[8].

Figura 1. La produttività multifattoriale in termini di variazione percentuale su base annua (fonte elaborazione Susdef su dati OECD (cit.))



Nei capitoli 1 e 2 del *Report* di quest'anno metteremo in primo piano la transizione energetica, la decarbonizzazione, la circolarità delle risorse materiali e il capitale naturale. Il terzo capitolo è dedicato al all'*assessment* della lotta ai cambiamenti climatici a livello globale. Infine dedicheremo la parte finale della Relazione ad un *focus* sugli impatti del cambiamento climatico sull'economia, sul capitale naturale, la biodiversità, la qualità della vita umana e la salute.

[8] AA.VV., 2016, *Environmentally Adjusted Multifactor Productivity Growth: Methodology and Empirical Results for OECD and G20 Countries*, Green Growth Papers n° 2016/04, OECD Publishing, Paris, *http://dx.doi.org/10.1787/5jlr2z7ntkf8-en*

1. L'ENERGIA E LE FONTI RINNOVABILI

Il parametro di riferimento dell'OECD per l'energia è la produttività energetica, l'inverso dell'intensità energetica, che ha una immediata connessione con la crescita e con i consumi di energia. Non distingue tra i contenuti carbonici delle varie fonti energetiche, compito affidato alla produttività carbonica. La *green economy* in termini di fonti energetiche punta sulle energie rinnovabili di origine solare diretta ed al contempo punta sul risparmio energetico, quindi sul miglioramento di entrambe le produttività. Merita al proposito sottolineare che l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile dell'ONU, con il *goal* SDG 7 dell'energia, richiede il forte sviluppo delle fonti rinnovabili e il raddoppio ogni anno del miglioramento dell'intensità energetica per tutti i paesi.

La *green economy* non accredita l'energia elettrica nucleare da fissione, originata da una tecnologia che è considerata obsoleta e comunque estranea alla concezione *green* dell'economia per effetto dei rifiuti nucleari non assimilabili sulle scale dello sviluppo umano e delle implicazioni militari e sociali della fissione nucleare. Pur se sembrerà strano, per ora non si parla nemmeno di eventuali fonti energetiche fossili dotate di cattura e sequestro del carbonio[9], essenzialmente perché inesistenti su scala industriale, ma anche perché quella tecnologia non ha ancora caratteristiche che la possano rendere ambientalmente e socialmente accettabile. Ci corre peraltro l'obbligo di segnalare che gran parte degli scenari sviluppati dall'IPCC per gli obiettivi di Parigi fa ricorso alle tecnologie NET[10] (*Negative Emissions Technologies*) di assorbimento del carbonio dall'atmosfera e dai flussi gassosi industriali. Per ora non sono ancora disponibili alla scala necessaria[11].

1.1. I consumi di energia a livello mondiale

I paesi dell'OECD e i BRIICS continuano a essere per più dell'80% dipendenti dai combustibili fossili. Diversi paesi hanno visto un rapido aumento della penetrazione del carbone e i paesi con risorse energetiche rinnovabili potenzialmente importanti mostrano ancora bassi livelli di energie rinnovabili. La produttività energetica potrebbe essere promossa attraverso il progressivo abbandono degli incentivi governativi ai combustibili fossili e la rimozione degli ostacoli ai miglioramenti dell'efficienza

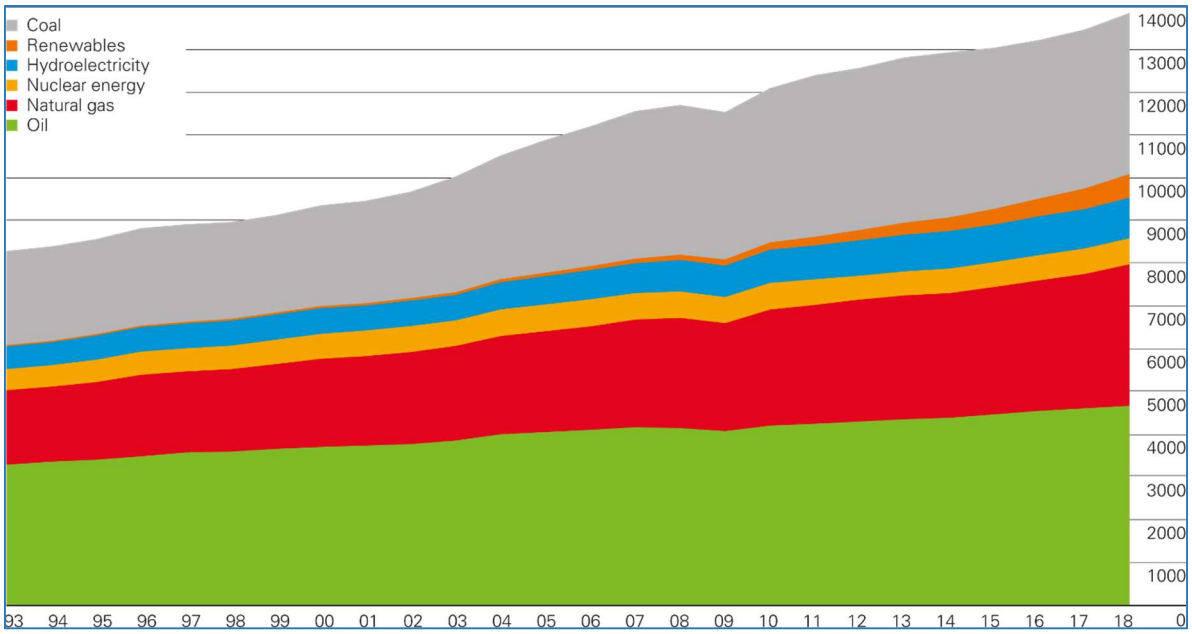
[9] Toni Federico et al., 2015, *Valutazione ambientale e sostenibilità delle attività di cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica*, Fondazione per lo sviluppo sostenibile

[10] EASAC, *European Academies, 2018, Negative emission technologies: What role in meeting Paris Agreement targets?* German National Academy of Sciences Leopoldina, in: *https://unfccc.int/sites/default/files/resource/28_EASAC%20Report%20on%20Negative%20Emission%20Technologies.pdf*

[11] Tra i molti studi si veda: AA.VV., 2018, *Negative emissions - Part 1: Research landscape and Synthesis*, Environ. Res. Lett. 13 (2018) 063001, in: *https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9b*

energetica. Man mano che l'uso di combustibili fossili diminuisce e si affermano le tecnologie energetiche rinnovabili, la produttività della CO_2 aumenta e si disaccoppia dalla produttività energetica. La produttività energetica può essere migliorata adottando una generazione elettrica più efficiente nonché aumentando l'efficienza dei consumi di beni e servizi. Tuttavia, per gli obiettivi di politica ambientale e climatica occorre ridurre il consumo di energia in termini assoluti. Rappresentato per fonti lo presentiamo di seguito in Fig 1.1 con i dati della BP.

Figura 1.1. La domanda globale di energia primaria per fonti in Mtep (fonte: BP, 2019)
[Slide del ppt Primary energy in *https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html*]

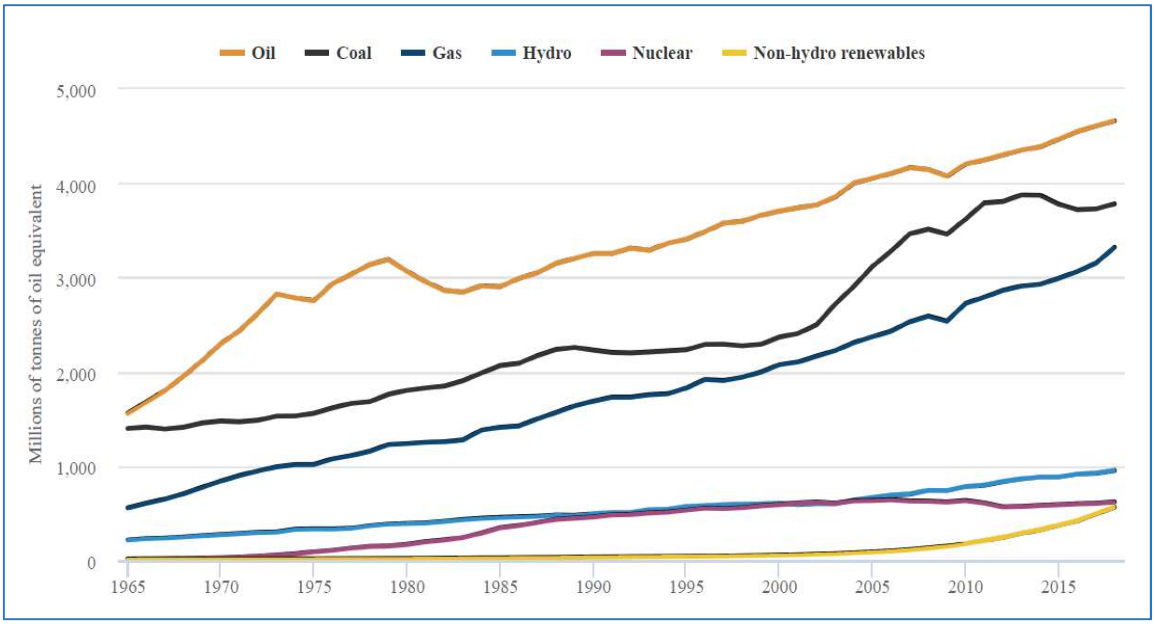


L'andamento in serie storica dei consumi di energia primaria per fonte dal 1965 al 2018 è riproposto in dettaglio in Fig. 1.2. La quota dei fossili in energia primaria è scesa di 10 punti nello stesso periodo, dal 94 a poco meno dell'85%.

L'uso di energia è aumentato di 390 Mtep nel 2018 con il 71% di fonti fossili e il 29% di fonti *low carbon*. Il gas è stato il principale vettore di questa crescita per oltre il 40% dell'aumento, il 5,3% al di sopra del 2017, causa, con il maggiore uso di petrolio e carbone, di un 2% in più delle emissioni di CO_2 nel 2018, il maggiore in sette anni. Il consumo di energia è cresciuto nel 2018 ad un tasso del 2,9%, il massimo dal 2010. La Cina, gli Stati Uniti con il massimo ritmo di crescita in trent'anni, e l'India hanno rappresentato oltre i due terzi della crescita globale dell'uso di energia. Nondimeno, la quota di energia proveniente dai combustibili fossili nel 2018, l'85%, è la più bassa dal 1965.

Figura 1.2. Serie storiche per fonti della domanda globale di energia primaria (fonte: BP, 2019)

[Elaborazione a partire dal ppt Primary energy in *https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html*]

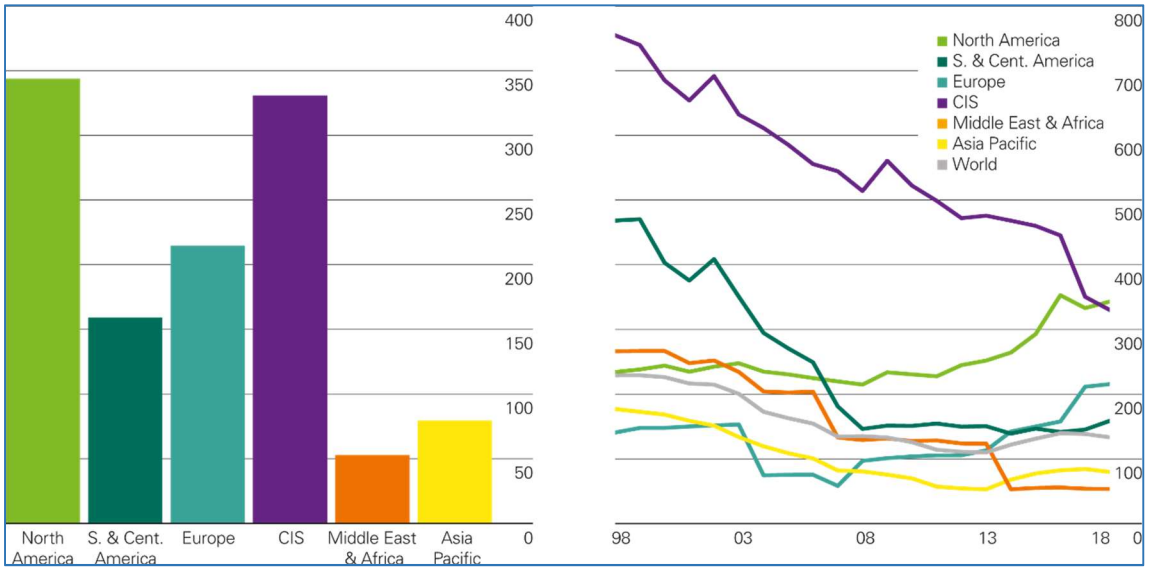


Il consumo di petrolio è cresciuto dell'1,5% nel 2018, con la Cina e gli Stati Uniti che hanno contribuito a tale crescita per circa l'85%, principalmente a causa del settore trasporti, nel quale aumentano la quota dei veicoli di proprietà e le miglia percorse.

Il consumo di carbone, guidato per il 45% dall'India e per il 20% dalla Cina, è cresciuto dell'1,4% nel 2018, la crescita più rapida dal 2013. L'uso del carbone è diminuito sia nell'UE che negli Stati Uniti. Complessivamente, i paesi dell'OCSE hanno ridotto la domanda di carbone al livello più basso dal 1975. Il carbone ha continuato a diminuire in quota complessiva di energia primaria, scendendo al 27%.

Figura 1.3. Rapporto R/P tra riserve e consumo di carbone dal 1998 (fonte: BP, 2019)

[Slide del ppt Coal in *https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html*]



Le riserve accertate di carbone al 2018 sono di 1056 Gt che, al ritmo attuale di sfruttamento rappresentato in Fig. 1.3 come rapporto R/P tra riserve e produzione, assicurerebbero 132 anni di sfruttamento a livello globale, 342 per il Nord America e 329 per i paesi dell'Europa orientale, CIS.

Ci sono alcuni segnali che la crescita cinese e indiana potrebbe non continuare indefinitamente. L'apertura di nuove centrali a carbone si è ridotta di più di cinque volte dal 2014. In molte parti dell'India le energie rinnovabili sono meno costose della generazione a carbone e, nelle previsioni di elettricità futura la domanda è stata rivista al ribasso, rivedendo quante centrali di nuova generazione a carbone saranno effettivamente costruite. L'anno scorso la Cina ha però invertito quattro anni di riduzioni nell'uso del carbone, o di crescita quasi zero, con un aumento di circa l'1% dal 2017. Il calo del carbone negli anni precedenti aveva contribuito a compensare le emissioni di CO_2 derivanti dall'aumento dell'uso di gas e petrolio, ma ora è in ripresa. Dal 2009 totalizza un +10%. Il petrolio è aumentato del 14% nei consumi dello stesso periodo e l'uso di gas naturale è aumentato del 31%.

La produzione globale di idrocarburi è cresciuta del 3% nel 2018, in modo simile ai tassi di crescita registrati nell'ultimo decennio. Benché marginale, la generazione nucleare è aumentata del 2,4% nel 2018 con il 75% ad opera della Cina.

Le fonti di energia rinnovabile hanno raggiunto il 15% dell'energia globale restando la più grande fonte di nuova generazione di elettricità per il terzo anno consecutivo, principalmente per merito dell'energia eolica e solare. Tuttavia, c'è un divario in costante aumento con quanto sarebbe necessario per raggiungere gli obiettivi di Parigi. Le energie rinnovabili non idroelettriche, il 4% del consumo globale, sono cresciute del 290% negli ultimi dieci anni e il 14,5% nel 2018, la maggiore crescita relativa di qualsiasi fonte di energia pur se inferiore alla crescita record del 2017. Nel 2019 le fonti rinnovabili produrranno più energia elettrica del nucleare.

Il carbone detiene ancora la quota maggiore di generazione di energia elettrica, il 38%, con il gas naturale al secondo posto con il 23% (Fig. 1.4). Il contributo delle energie fossili alla generazione elettrica non è variato, ma ha oscillato intorno al 64% che è in fondo la quota del 2018, come anche del 1985, superando il 68% nei primi anni del secolo. La produzione mondiale di elettricità è aumentata del 3,7%, con circa la metà della crescita derivante dalla Cina e gran parte del resto dall'India e dagli Stati Uniti. Al carbone, con il 31%, è dovuto il secondo maggior contributo all'aumento della produzione di elettricità nel 2018. Benché il consumo complessivo di carbone sia inferiore al picco del 2013, l'elettricità generata dal carbone ha stabilito un nuovo record nel 2018. Questo riflette l'aumento dell'efficienza delle centrali a carbone costruite negli

ultimi anni. Il gas naturale è stato il terzo più grande contributore, con il 25% della crescita. Il contributo molto maggiore del gas naturale alla crescita totale dell'uso dell'energia è determinato dal fatto che un grande parte del gas naturale è utilizzata per scopi non elettrici, come il riscaldamento e i processi industriali, mentre il carbone viene utilizzato per lo più per generare elettricità.

Figura 1.4. Fonti della generazione elettrica a livello mondiale dal 1985 (fonte: BP, 2019)

[Elaborata dal ppt Electricity in https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html]

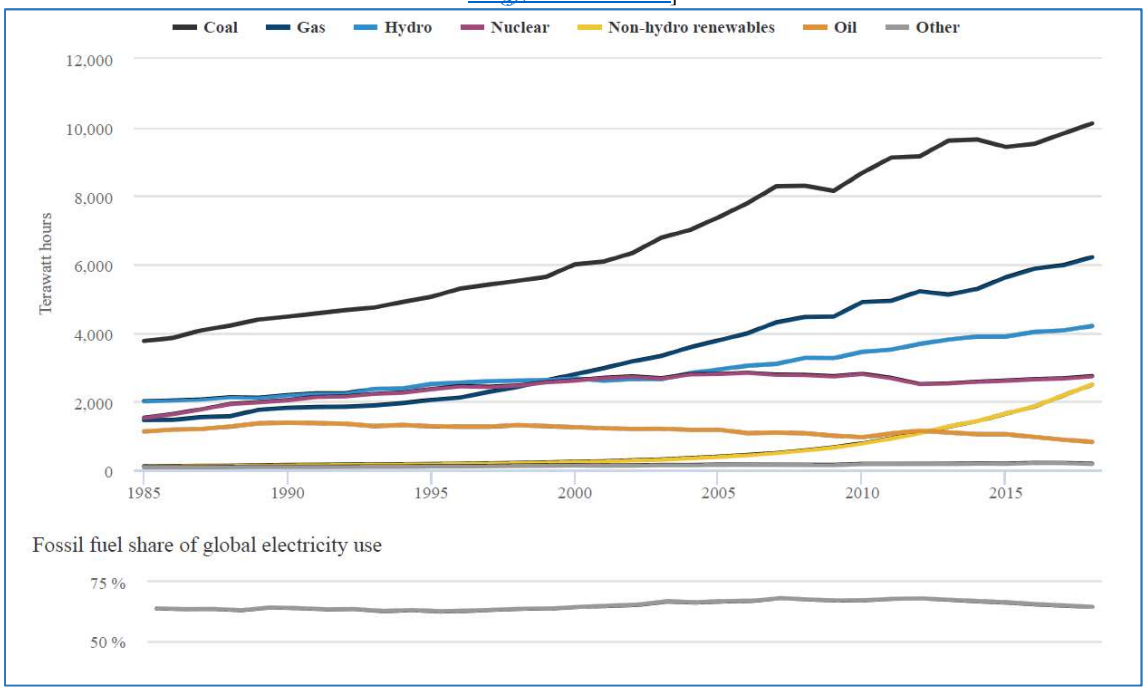
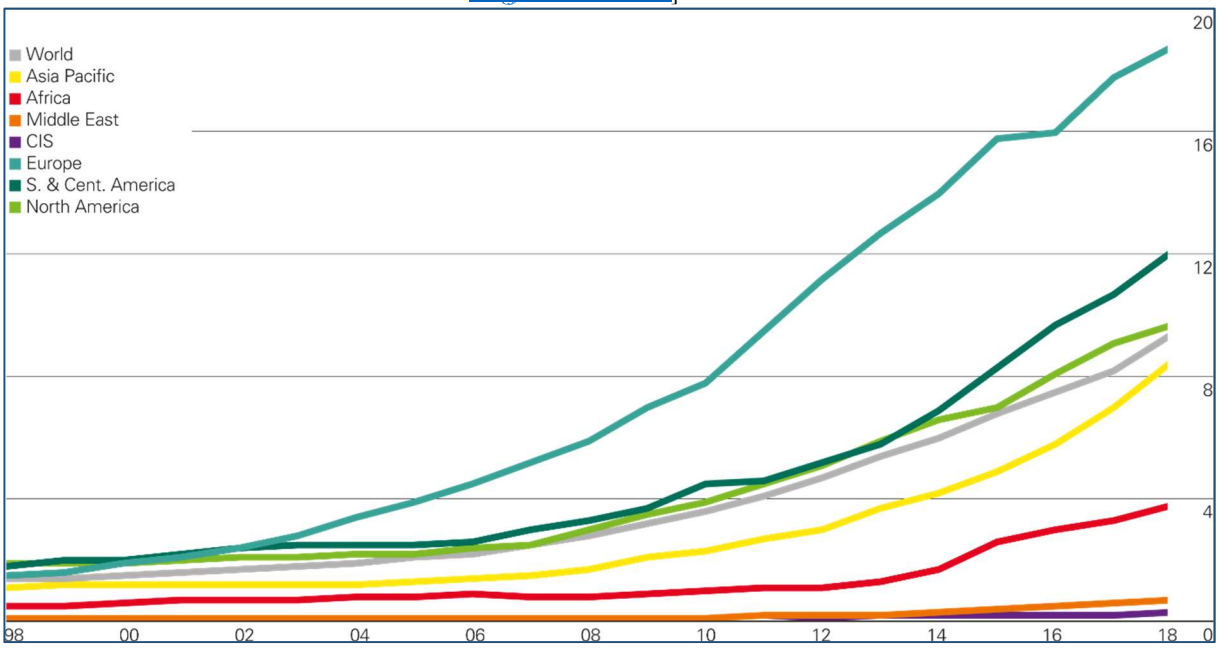


Figura 1.5. Contributi percentuali per regione alla generazione elettrica da fonti rinnovabili a livello mondiale (fonte: BP, 2019)

[Elaborata dal ppt Electricity in https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html]

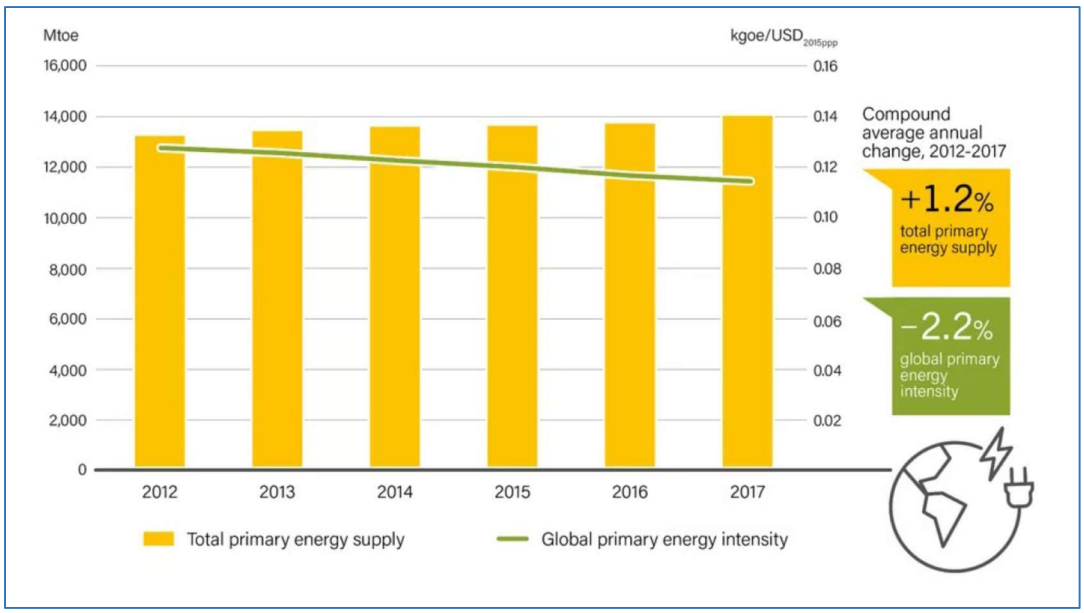


Rinnovabile è la maggiore quota di nuova energia elettrica (Fig. 1.5). L'elettricità da fonti rinnovabili rappresenta un terzo della crescita totale per il terzo anno consecutivo. È loro il nuovo record di crescita: 442 TWh nel 2018. La maggior parte, 314 TWh, proviene da eolico e solare. La quota di energie rinnovabili non idroelettriche utilizzate nella generazione di energia elettrica aumenta dall'8,4% del 2004 - 2017 al 9,3% nel 2018. Le fonti a basso tenore di carbonio collettivamente hanno contribuito al 36% della produzione globale di elettricità, la più alta dal 1990.

1.2. La produttività energetica

La produttività energetica è un rapporto, indice al contempo della qualità del sistema energetico, della sobrietà dei consumi, a denominatore, e della capacità di crescita a numeratore. In realtà, la produttività energetica globale è aumentata solo del 2,2% negli ultimi cinque anni, non certo per effetto di arresto dell'aumento della domanda di energia globale, che è salita del 1,2%. per cento, quanto piuttosto a causa dei ritmi sostenuti della crescita economica globale (Fig.1.6). L'intensità energetica, l'inverso della produttività, è in calo di circa lo 0,4% all'anno. Per gli obiettivi di decarbonizzazione globale, l'intensità energetica dovrebbe diminuire tra il 4 e il 10% all'anno. Ciò significa che il mondo ha bisogno di accelerare di circa 10 volte i tassi di efficienza e anche, si calcola, della elettrificazione[12].

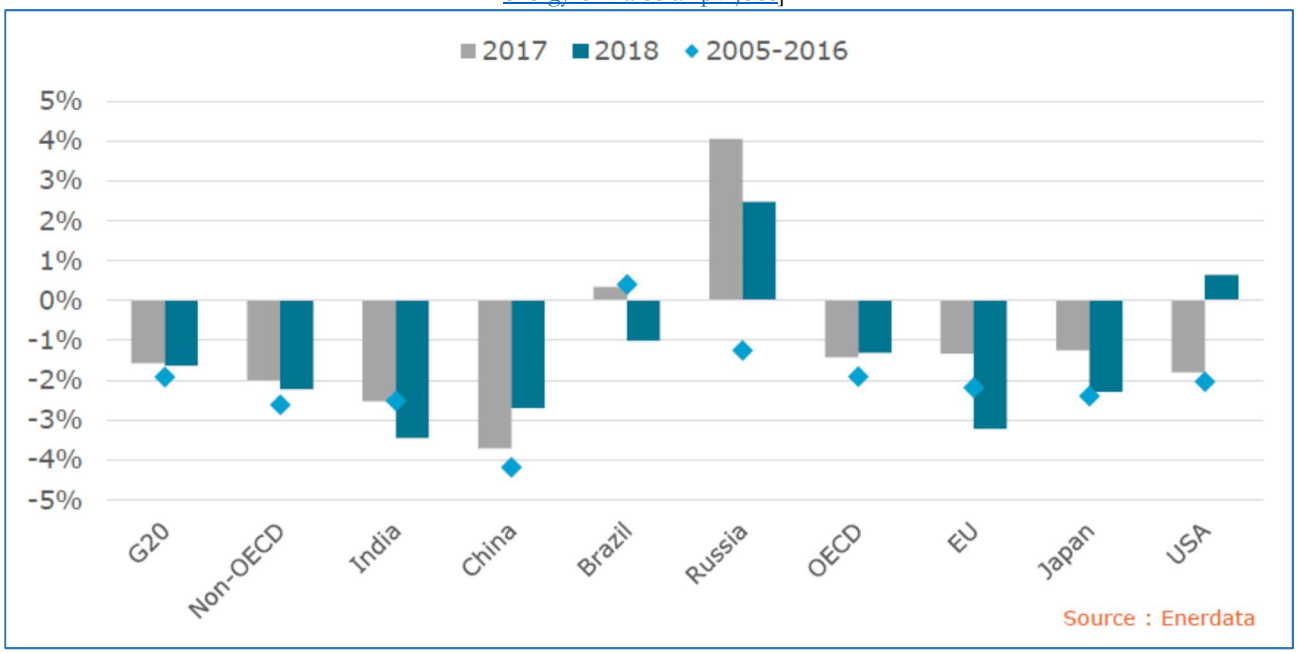
Figura 1.6. Intensità energetica primaria globale e consumi di energia (fonte: VOX, 2019, cit.)
[dal Rapporto VOX citato in pdf, in https://www.vox.com/energy-and-environment/2019/6/18/18681591/renewable-energy-china-solar-pv-jobs]



[12] VOX, 2019, *The global transition to clean energy, explained in 12 charts: Despite all the progress, we're still struggling to hit the climate emergency brake*, in *https://www.vox.com/energy-and-environment/2019/6/18/18681591/renewable-energy-china-solar-pv-jobs*

L'intensità energetica è l'unico *target* dell'Agenda 2030 dell'ONU, che la quantifica al 2030 nello SDG 7, 7.3, in modo piuttosto bizzarro, letteralmente: "*By 2030, double the global rate of improvement in energy efficiency*". Viene così dato un target sul miglioramento dell'intensità piuttosto che sul valore assoluto. È evidente che si è voluta evitare la facile scappatoia che potrebbe spingere molti paesi, soprattutto se con economie a bassa crescita e consumi limitati di energia, a nascondersi nella media determinata dai paesi più forti. Tuttavia questa sottigliezza non è stata notata dagli esperti di energia in giro per il mondo. La situazione globale dei *trend* dei paesi forti, determinanti per la media mondiale, è presentata in Fig. 1.7[13]. Assumendo che il progresso in fatto di intensità energetica deve raddoppiare da qui al 2030, che in media 2005 – 2016 il dato globale è di circa il 2,2% e che oggi l'intensità energetica è di circa 0,115 kep/$, il target al 2030 ci deve portare, risolvendo una semplice equazione differenziale, a 0,05 kep/$, cioè a una produttività di 20 $/kep. L'Unione Europea, per fare un paragone, ha fissato al 2030 un miglioramento della intensità energetica del 32,5% rispetto all'intensità prevista per il 2030 da un modello econometrico senza politiche aggiuntive che equivale ad un consumo di 1611 Mtep. Al 2017 l'intensità energetica era di 0,12 kep/€. L'intensità al 2030 dovrebbe pertanto essere di 0,081 Ktep/€ e quindi, al cambio attuale, di 0,071 kep/$, pari ad una produttività energetica di 14 $/kep. Siamo lontani dall'obiettivo dell'Agenda 2030.

Figura 1.7. Variazioni della intensità energetica primaria globale (fonte: Enerdata, 2019, cit.)
[dal Rapporto VOX citato in pdf, in https://www.vox.com/energy-and-environment/2019/6/18/18681591/renewable-energy-china-solar-pv-jobs]



[13] Enerdata, 2019, *Global energy trends,* in: *https://www.enerdata.net/publications/reports-presentations/world-energy-trends.html*

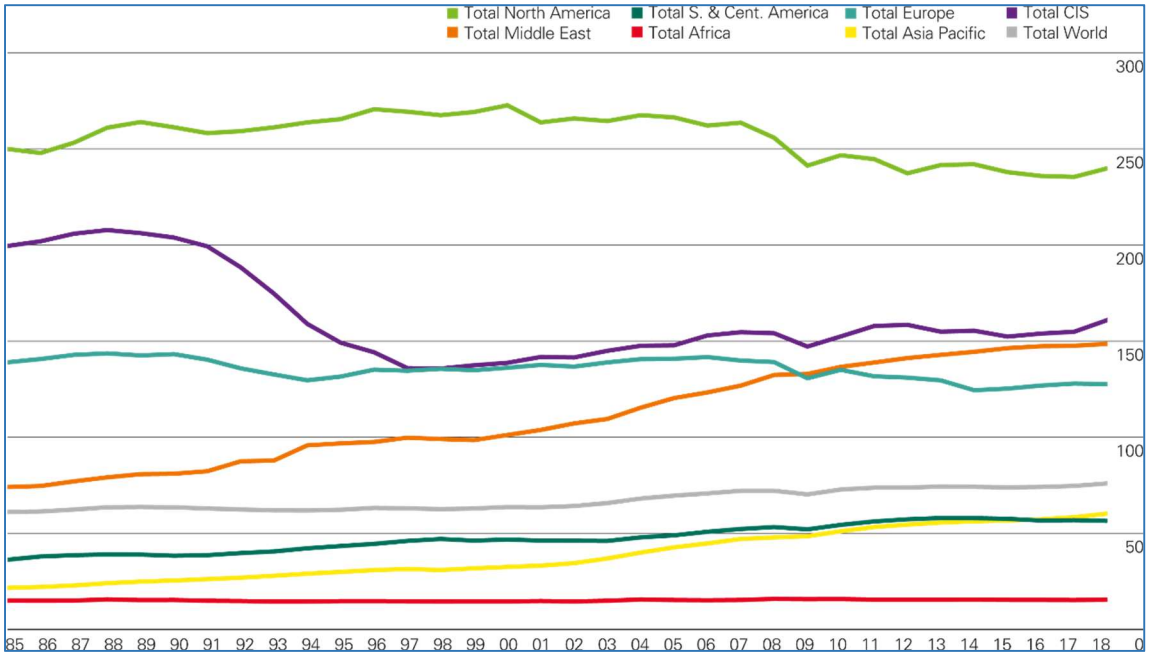
L'intensità energetica può essere migliorata da un forte incremento delle fonti rinnovabili, dall'aumento dell'efficienza energetica dei processi e dei prodotti calcolata in ottica *Life Cycle Analisys*, LCA, e dalla elettrificazione dei trasporti e di tutto il settore energetico, consumi domestici compresi. L'economia circolare giocherà un ruolo sempre più importante nei prossimi decenni, poiché può contribuire alla riduzione dei consumi e all'aumento dell'efficienza di utilizzo delle risorse. Non meno efficaci saranno le politiche di digitalizzazione dei processi e dei servizi, con l'uso crescente della rete e delle tecnologie di comunicazione in tutti i comparti ed in particolare nel trasporto delle merci. La rigenerazione urbana ed il *retrofit* del patrimonio edilizio esistente possono migliorare l'efficienza energetica al pari delle nuove costruzioni a zero emissioni e zero consumi. Su scala mondiale vanno eliminati gradualmente e sostituiti con tecnologie moderne gli usi tradizionali della bioenergia, in gran parte per cucinare. Si stima che poco meno di un miliardo di persone non ha accesso ad una fornitura elettrica affidabile. Per abbattere questo autentico muro della povertà globale sarà di grande aiuto la generazione elettrica rinnovabile distribuita *off-grid* e *mini-grid*.

Con solare ed eolico produrre elettricità ha minime perdite di conversione e migliora l'intensità energetica che, ricordiamo, va calcolata in energia primaria. Inoltre, gli azionamenti elettrici e le pompe di calore sono molto più efficienti, a parità di prestazioni, delle soluzioni tradizionali con i combustibili fossili. Questa importante sinergia tra energie rinnovabili ed efficienza energetica è spesso trascurata e può dare impulso ulteriore agli obiettivi di decarbonizzazione[14].

Un diverso tipo di lettura dell'efficienza energetica, non quotata negli indici OECD della *green economy*, è il consumo di energia pro-capite, che dà un quadro della sobrietà negli usi energetici che risulta senza ragione troppo diversa tra paesi, senza spesso una giustificazione relativa al livello di sviluppo. In Fig. 1.8 ci sono le serie storiche del consumo pro-capite regione per regione. È subito apparente la sproporzione tra Nord America (in verde chiaro), gli altri paesi occidentali e le medie mondiali (in grigio). Rispetto all'Europa si tratta di un consumo individuale doppio, ingiustificabile perché praticamente a parità di standard di vita. La Cina, qui non rappresentata da sola, ha superato l'Europa (in verde medio), ma la regione asiatica ha una media molto inferiore, simile al Sud America. I paesi ex Unione Sovietica (CIS, violetto), dopo il crollo degli anni '90, hanno iniziato a crescere, con la ripresa dell'economia accompagnata però da un deficit di innovazione e di efficienza.

[14] IRENA, 2019, *Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, in: *www.irena.org/publications*

Figura 1.8. Consumi pro capite di energia primaria in Gigajoule per regioni (fonte: BP, 2019)
[Elaborata dal ppt Electricity in *https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html*]



1.3. Le fonti rinnovabili

Non esiste altra via per lo sviluppo sostenibile e la *green economy* che l'espansione sistematica delle fonti rinnovabili e lo spostamento dei consumi verso l'energia elettrica. Il quadro generale degli indicatori che descrivono lo stato globale delle fonti rinnovabili e la variazione tra 2017 e 2018 è in Tab. 1.1[15]

Lo sviluppo delle fonti rinnovabili è troppo lento[16]. I progressi rimangono concentrati nel settore elettrico, mentre nel settore termico e nei trasporti la crescita è modesta. A partire dal 2017, l'energia rinnovabile ha rappresentato il 18,1% del consumo totale di energia finale (TFEC). Le rinnovabili moderne hanno fornito il 10,6% del TFEC, con una domanda in crescita del 4,4% rispetto al 2016. Nel 2018 è stato aggiunto un totale di 181 GW di energia elettrica rinnovabile, con un incremento costante rispetto al 2017. L'energia rinnovabile è sempre più competitiva rispetto alla generazione termica convenzionale di elettricità ed ha fornito il 26% dell'elettricità globale nel 2018.

A livello di *governance* si assiste sempre più spesso al fatto che i governi locali superano in ambizione quelli nazionali. Le economie emergenti hanno continuato ad aumentare le loro dotazioni e i sistemi di distribuzione hanno ulteriormente contribuito a diffondere l'accesso all'energia alle famiglie nelle aree remote.

[15] REN21, 2019, *Renewables 2019. Global Status Report,* Paris, REN21 Secr.: *http://www.ren21.net/gsr-2019/*
[16] Ritchie, Roser, 2019, *Renewable Energy*, OurWorldInData, in: *https://ourworldindata.org/renewable-energy*

Tabella 1.1.Gli indicatori dello stato e dello sviluppo delle fonti rinnovabili (fonte: REN21, 2019, cit.)

[a pag.19 del Rapporto 2019 REN 21: *http://www.ren21.net/gsr-2019/*]

		2017	2018
INVESTMENT			
New investment (annual) in renewable power and fuels[1]	billion USD	326	**289**
POWER			
Renewable power capacity (including hydropower)	GW	2,197	**2,378**
Renewable power capacity (not including hydropower)	GW	1,081	**1,246**
Hydropower capacity[2]	GW	1,112	**1,132**
Wind power capacity	GW	540	**591**
Solar PV capacity[3]	GW	405	**505**
Bio-power capacity	GW	121	**130**
Geothermal power capacity	GW	12.8	**13.3**
Concentrating solar thermal power (CSP) capacity	GW	4.9	**5.5**
Ocean power capacity	GW	0.5	**0.5**
Bioelectricity generation (annual)	TWh	532	**581**
HEAT			
Solar hot water capacity[4]	GW_{th}	472	**480**
TRANSPORT			
Ethanol production (annual)	billion litres	104	**112**
FAME biodiesel production (annual)	billion litres	33	**34**
HVO biodiesel production (annual)	billion litres	6.2	**7.0**
POLICIES[5]			
Countries with national/state/provincial renewable energy targets[6]	#	179	**169**
Countries with 100% renewable energy in primary or final energy targets	#	1	**1**
Countries with 100% renewable heating and cooling targets	#	1	**1**
Countries with 100% renewable transport targets	#	1	**1**
Countries with 100% renewable electricity targets	#	57	**65**
States/provinces/countries with heat obligations/mandates	#	19	**18**
States/provinces/countries with biofuel mandates[7]	#	70	**70**
States/provinces/countries with feed-in policies	#	112	**111**
States/provinces/countries with RPS/quota policies	#	33	**33**
Countries with tendering (held in 2018)	#	29	**48**
Countries with tendering (cumulative)[8]	#	84	**98**

1 Investment data are from BloombergNEF and include all biomass, geothermal and wind power projects of more than 1 MW; all hydropower projects of between 1 and 50 MW; all solar power projects, with those less than 1 MW estimated separately; all ocean power projects; and all biofuel projects with an annual production capacity of 1 million litres or more.

2 The GSR strives to exclude pure pumped storage capacity from hydropower capacity data.

3 Solar PV data are provided in direct current (DC). See Methodological Notes for more information.

4 Solar hot water capacity data include water collectors only. The number for 2018 is a preliminary estimate.

5 A country is counted a single time if it has at least one national or state/provincial target or policy.

6 The decline in the number of jurisdictions with targets is due primarily to several targets having expired and not having been replaced.

7 Biofuel policies include policies listed both under the biofuel obligation/mandate column in Table 2 (Renewable Energy Targets and Policies, 2018) and in Reference Table R10 (Renewable Transport Mandates at the National/State/Provincial Levels, 2018).

8 Data for tendering reflect all countries where tenders have been held at any time up through the year of focus at the national or state/provincial level.

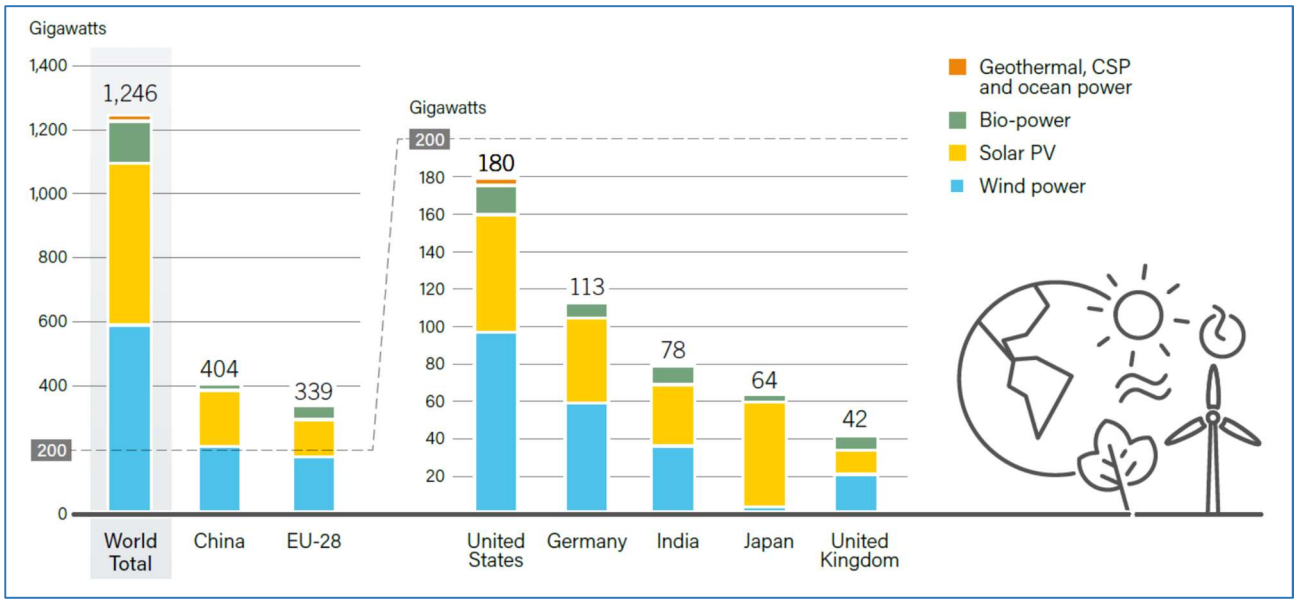
Note: All values are rounded to whole numbers except for numbers <15, biofuels and investment, which are rounded to one decimal point.
FAME = fatty acid methyl esters; HVO = hydrotreated vegetable oil; RPS = renewable portfolio standard.

Il settore privato svolge un ruolo chiave nel promuovere le rinnovabili: l'approvvigionamento aziendale di energie rinnovabili è più che raddoppiato nel 2018. Nel segno dell'aumentata efficienza l'investimento globale in rinnovabili è diminuito rispetto al 2017. I PVS e le economie emergenti hanno ancora fornito oltre la metà di tutti gli investimenti nel 2018. Il settore delle energie rinnovabili ha complessivamente impiegato, direttamente e indirettamente, circa 11 milioni di lavoratori in tutto il mondo nel 2018. È cresciuto il mercato delle tecnologie abilitanti, come lo stoccaggio dell'energia con le batterie, le pompe di calore e i veicoli elettrici, ma resta carente il progresso delle reti elettriche integrate ed intelligenti. Nel complesso il mondo non è sulla buona strada per raggiungere gli obiettivi dell'Accordo di Parigi né quelli dello SDG 7 dell'Agenda 2030. Le emissioni globali di anidride carbonica legate all'energia sono cresciute nel 2018 a causa dell'aumento del consumo di combustibili fossili. Le sovvenzioni globali per l'uso di combustibili fossili sono aumentate dell'11% dal 2017 e le compagnie dei fossili hanno continuato a spendere centinaia di milioni di dollari in *lobbying* per ritardare, controllare o bloccare le politiche per i cambiamenti climatici e per influenzare l'opinione pubblica.

Nel settore della generazione elettrica la capacità globale di energia rinnovabile è cresciuta fino a circa 2.378 GW nel 2018, con una distribuzione differenziata per i vari paesi, come mostrato in Fig. 1.9 senza includere l'energia idroelettrica.

Figura 1.9. Capacità di generazione elettrica nel mondo, in Europa e nei principali sei paesi (fonte: REN 21, 2019, cit.)

[a pag.42 del Rapporto 2019 REN 21: *http://www.ren21.net/gsr-2019/*]

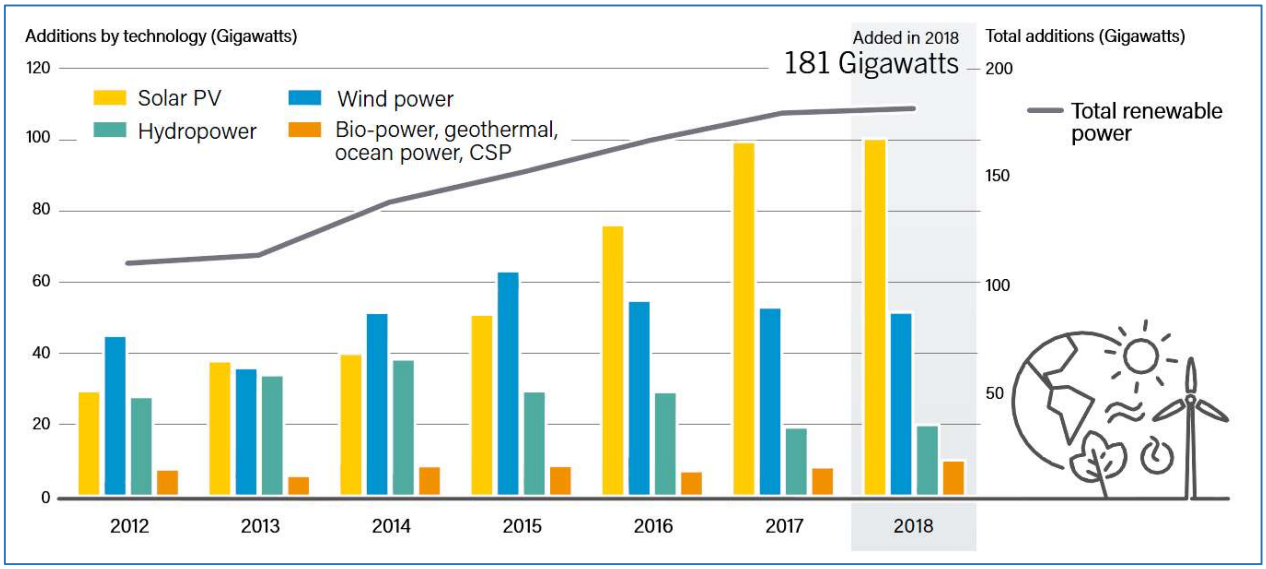


Per il quarto anno consecutivo la capacità aggiuntiva di generazione di energia rinnovabile ha superato le installazioni nette di fossili e di energia nucleare combinati.

L'aumento è stato di 100 GW per l'energia solare fotovoltaica (PV), pari al 55% dell'incremento, seguita dall'energia eolica (28%) e dall'energia idroelettrica (11%) (Fig. 1.10).

Figura 1.10. Crescita su base annua della capacità di generazione elettrica per tecnologia (fonte: REN 21, 2019, cit.)

[a pag.40 del Rapporto 2019 REN 21: *http://www.ren21.net/gsr-2019/*]

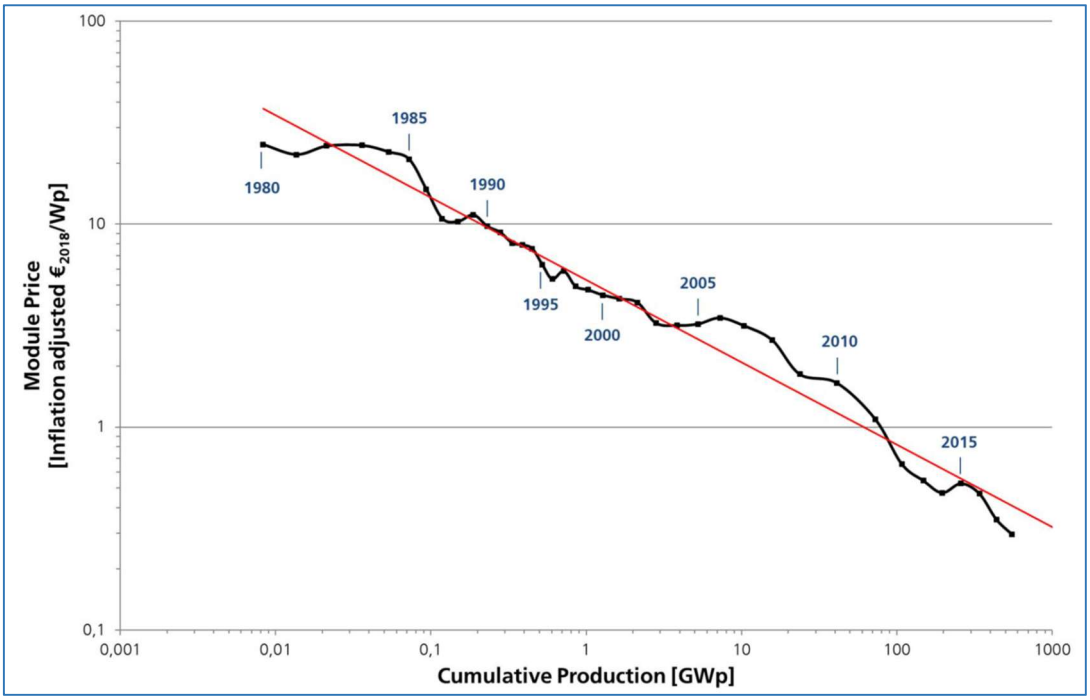


Nel complesso, l'energia rinnovabile è cresciuta fino a rappresentano oltre il 33% della capacità mondiale di generazione elettrica. Nel 2018, oltre 90 paesi avevano installato almeno 1 GW rinnovabile, mentre almeno 30 paesi hanno superato i 10 GW di capacità.

L'innovazione tecnologica è continua, in particolare per le celle fotovoltaiche. L'incremento di efficienza per il fotovoltaico non comporta evidentemente vantaggi nel conto dell'energia primaria, quanto piuttosto nel consumo di suolo per le centrali a terra, un fattore di grande importanza in territori sovraffollati e di pregio come l'Europa. L'efficienza delle celle arriva oggi in laboratorio al 26,7% per il mono-cristallino e al 22,3% per la tecnologia multi-cristallina basata su wafer di silicio. L'efficienza nella tecnologia a film sottile arriva in laboratorio al 22,9% per il silicio e al 21% per le celle solari al CdTe. Negli ultimi 10 anni, l'efficienza media commerciale dei moduli di silicio è aumentata da circa il 12% fino al 17% - 21%. In laboratorio, le celle solari *multi-junction* ad alta concentrazione raggiungono oggi una efficienza fino al 46%[17]. L'efficienza degli inverter, che trasformano l'energia delle celle in corrente alternata, è invece del 98%. La tendenza a scendere del prezzo delle celle è rappresentata dalla cosiddetta *learning curve* che dà il prezzo unitario dei moduli negli anni al crescere della produzione totale su scala globale (Fig.1.11).

[17] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, 2019, *Photovoltaic Report*, in: *https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf*

Figura 1.11. La curva di apprendimento dei moduli fotovoltaici (fonte: Fraunhofer, 2019, cit.)
[Slide 44 del Rapporto Fraunhofer:
https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf]



L'utilizzo di energie rinnovabili nel riscaldamento e nel raffreddamento, R&R, rimane invece limitato a causa della mancanza di supporto politico. Le moderne energie rinnovabili hanno soddisfatto circa il 10% della domanda di R&R di tutto il mondo nel 2016, ma la crescita continua a essere minima, anche se il R&R rappresentava circa la metà della domanda totale di energia finale. Nel 2018, solo 47 paesi avevano obiettivi per il R&R rinnovabile, mentre il numero di paesi con politiche di regolamentazione nel settore è addirittura sceso da 21 a 20. Politiche efficaci per il settore R&R esistono principalmente a livello locale L'integrazione delle energie rinnovabili e dell'efficienza energetica è un'opportunità chiave per limitare la crescita della domanda termica e aumentare la diffusione delle tecnologie rinnovabili più moderne.

La penetrazione di energia rinnovabile nel settore dei trasporti rimane bassa. I biocarburanti dominano le energie rinnovabili nei trasporti ma anche il mercato dei veicoli elettrici sta crescendo in modo significativo. La diffusione dei veicoli elettrici in tutto il mondo è aumentata nel 2018, spinta in gran parte dalla necessità di ridurre l'inquinamento dell'aria. Il numero globale di autovetture elettriche è aumentato del 63% rispetto al 2017 e molte città si stanno dotando di flotte di autobus elettrici.

La quota di energia rinnovabile nei trasporti è aumentata dall'anno precedente per raggiungere il 3,3%. Nonostante gli aumenti della produzione di etanolo e di biodiesel

nel 2018, la crescita dell'uso di biocarburanti per il trasporto rimane condizionata dalle incertezze della politica e dal lento sviluppo di carburanti rinnovabili per l'aviazione.

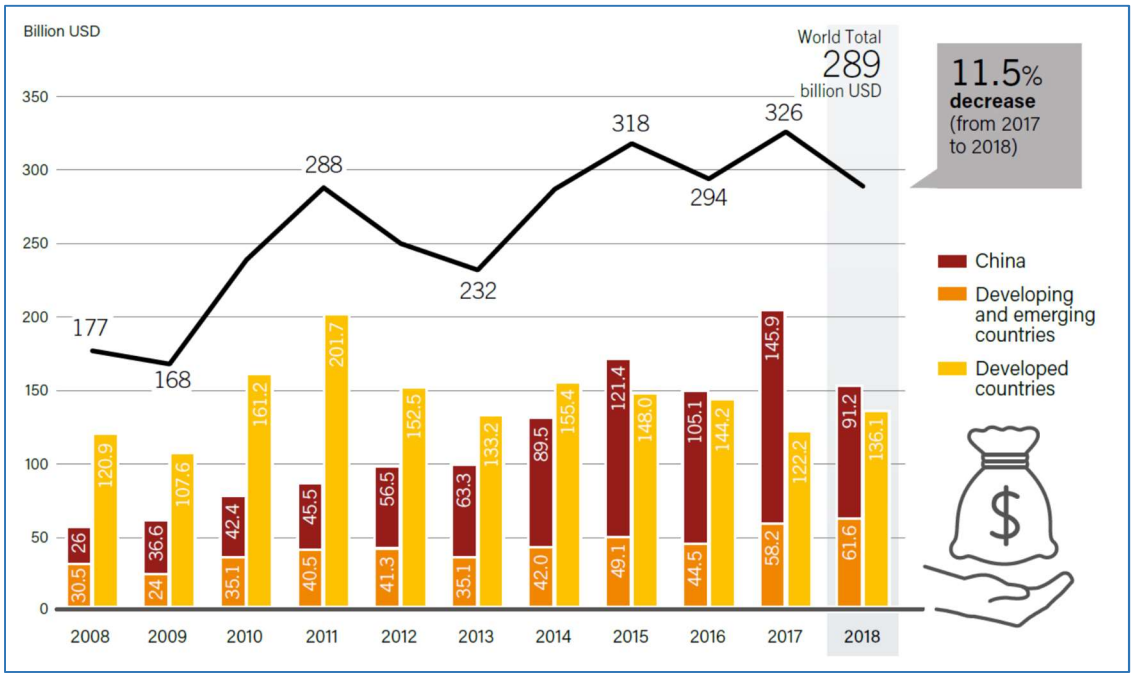
1.4. Gli investimenti per l'energia rinnovabile

L'investimento globale in energie e combustibili rinnovabili, esclusi i progetti idroelettrici superiori ai 50 MW di potenza, ammonta a 289 GUS$ nel 2018[18], l'11% in meno rispetto ai 326 GUS$ investiti nel 2017. Tuttavia, il 2018 è stato il nono anno consecutivo in cui gli investimenti in energie rinnovabili hanno superato i 230 GUS$ e il quinto in cui hanno superato i 280 GUS$ (Fig. 1.12). Si stima che 16 GUS$ siano stati investiti in grandi progetti idroelettrici nel 2018, in calo rispetto ai 40 GUS$ nel 2017.

L'investimento complessivo in tutta la capacità di generazione rinnovabile nel 2018 ha superato ancora una volta e di gran lunga quella nei combustibili fossili e nel nucleare, ed è stato tre volte superiore alla somma investita nei nuovi generatori a carbone e a gas. Gli investimenti hanno continuato a concentrarsi sull'energia solare, che ha totalizzato 139,7 GUS$ nel 2018, -22% dal 2017, in gran parte a causa dei minori costi unitari per l'energia solare e ai migliori prezzi del mercato fotovoltaico cinese.

Figura 1.12. Nuovi investimenti globali in energia e combustibili rinnovabili nei paesi sviluppati, emergenti e in via di sviluppo (fonte: REN 21, BNEF, 2019, cit.)

[a pag. 148 del Rapporto 2019 REN 21: *http://www.ren21.net/gsr-2019/*]



Anche se l'investimento in energia eolica ha continuato a rimanere indietro rispetto all'energia solare, esso è aumentato del 2% nel 2018, a 134,1 GUS$. Gli altri settori sono

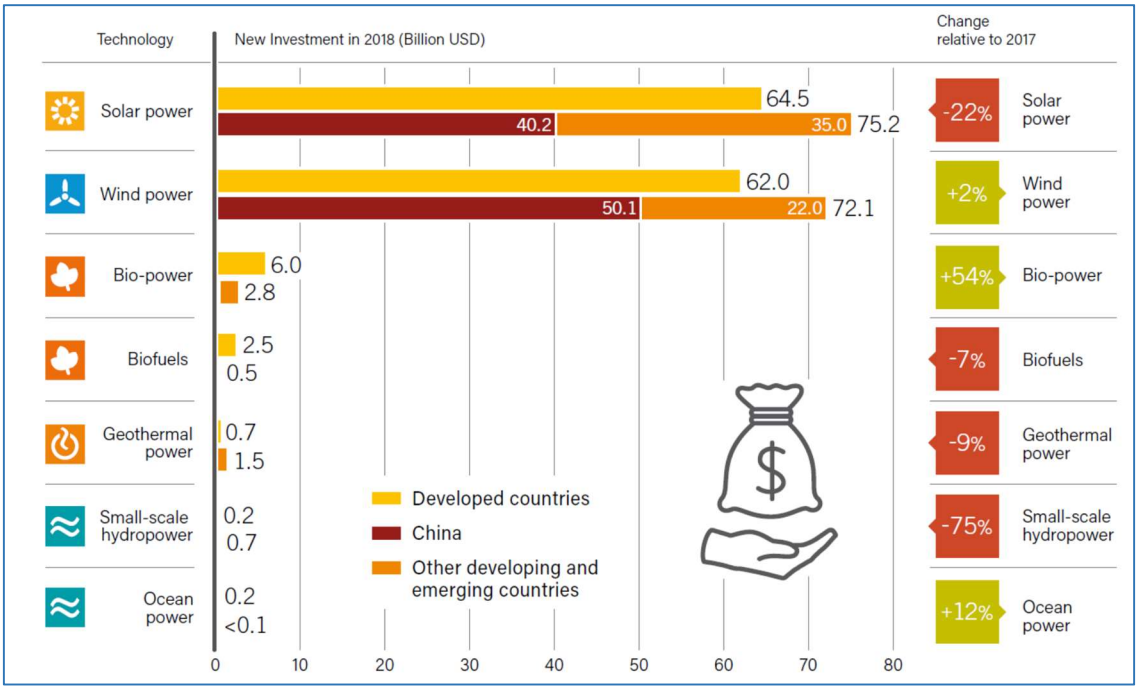
[18] Bloomberg, 2019, *New Energy Outlook*, in: https://about.bnef.com/new-energy-outlook/

in ritardo, nonostante gli investimenti in biomassa e nell'energia da rifiuti, aumentati del 54%, a 8,7 GUS$. Gli investimenti in Cina sono diminuiti drasticamente dal massimo storico del 2017, ma restano i più alti in valore assoluto. Seguono gli investimenti negli Stati Uniti, in Giappone e in India. Un totale di 19 paesi ha messo in campo investimenti di oltre 2 GUS$ ciascuno, compresi, per la prima volta, Ucraina e Vietnam.

Procedendo nell'analisi per tecnologie, sono fotovoltaico ed eolico a dominare i nuovi investimenti nel 2018 (Fig 1.13) con l'investimento nel fotovoltaico molto più alto di quello nell'energia eolica nel 2017. Il divario si è ridotto bruscamente nel 2018, con il fotovoltaico al 48% degli investimenti e l'eolico al 46% per effetto di una riduzione del 22%, a 139,7 GUS$, degli impegni per l'energia solare, il livello più basso dal 2013. Il rallentamento degli investimenti nell'energia solare è evidente in Cina, ma i ridotti costi di capitale per i progetti fotovoltaici hanno richiesto meno denaro per finanziare un determinato importo di generazione. Gli investimenti in energia eolica sono invece aumentati del 2% a 134,1 GUS$, il più alto livello di sempre, dovuto in gran parte al finanziamento di grandi progetti eolici *onshore* in Cina, Stati Uniti, Sud Africa, India e Svezia (+2% e 109,8 GUS$ nel 2018), così come ad un certo numero di progetti *offshore* in Europa (+7% e 24,6 GUS$, il secondo più alto livello mai registrato). Le economie sviluppate, Cina compresa, hanno investito nel 2018 sui due fronti mentre i paesi in via di sviluppo e le economie emergenti hanno investito molto di più nell'energia solare.

Figura 1.13. Nuovi investimenti globali nel 2018 in energia e combustibili rinnovabili nei paesi sviluppati, emergenti e in via di sviluppo (fonte: REN 21, BNEF, 2019, cit.)

[a pag. 152 del Rapporto 2019 REN 21: *http://www.ren21.net/gsr-2019/*]

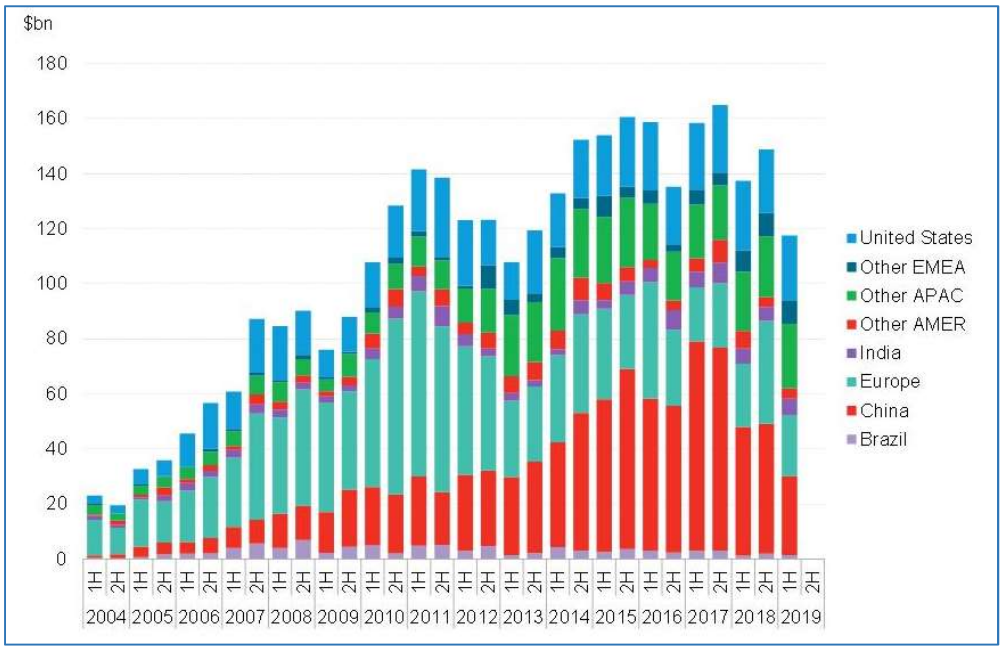


Benché gli investimenti nelle biomasse e nei termovalorizzatori siano relativamente piccoli, essi registrano un aumento del 54% nel 2018, per 8,7 GUS$. Gli investimenti in biocarburanti sono diminuiti del 7% nel 2018, portandosi a 3 GUS$, ma gran parte del totale riguarda la spesa in R&D e le operazioni di capitale di rischio. Nonostante le decisioni di investire in due nuovi impianti da parte di Indonesia e Kenya, gli investimenti in energia geotermica sono diminuiti del 9%, a 2,2 GUS$. Gli investimenti nel mini-idroelettrico sono crollati del 75%, a 901 MUS$, riflettendo un generale rallentamento nel settore. L'energia oceanica, che suscita grandi attese, acquisisce un 12%, restando a 203 MUS$ in un contesto di difficoltà finanziarie e di credito difficile.

Infine, il finanziamento di grandi progetti idroelettrici di oltre 50 MW, non considerati rinnovabili anche da Bloomberg (cit.), sono scesi del 60% dal 2017, per 16 GUS$ nel 2018. Nessuna grande diga è stata finanziata nel 2018, mentre nel 2017 il via libera in Cina ad un progetto di 16 GW, per 28 GUS$, aveva movimentato il mercato.

Ci sono alcuni dati sugli investimenti nelle energie rinnovabili per il 2019. La spesa globale ha totalizzato 117,6 GUS$ nella prima metà del 2019, in calo del 14% rispetto a un anno prima e il minimo dal 2013[19]. Gli investimenti hanno rallentato in tutti e tre i principali mercati, gli Stati Uniti, l'Europa e la Cina (Fig. 1.14), ma il calo della Cina è stato particolarmente pronunciato in quanto il paese ha continuato a ridurre il sostegno finanziario per l'energia solare ed eolica.

Figura 1.14. Investimenti globali sulle energie rinnovabili (fonte: Bloomberg, 2019)
[Immagine da: *https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-07-10/the-world-is-spending-the-least-on-clean-energy-in-six-years*]



[19] Bloomberg, 2019, *The world is spending the least on clean energy in six years*, in: *https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-07-10/the-world-is-spending-the-least-on-clean-energy-in-six-years*

Nonostante un crollo del 39% degli investimenti, il paese rimane di gran lunga il mercato delle energie rinnovabili più grande del mondo con impegni per un totale di 28,8 GUS$ nel primo semestre. Ci sono altre e buone notizie per il settore dell'energia rinnovabile: la spesa, secondo molti analisti, potrebbe riprendere nella seconda metà dell'anno, innescata proprio dalla Cina sul mercato interno. La spesa in alcuni paesi, tra cui il Giappone e l'India, è aumentata. E nonostante il calo in Europa, gli investimenti in Spagna e Svezia sono decollati, salendo di oltre il 200% in entrambi i paesi.

2. I FLUSSI DI MATERIA E L'ECONOMIA CIRCOLARE

L'energia è in primo piano nella *green economy* per effetto dell'urgenza e della gravità della crisi climatica, dovuta in gran parte alla domanda di energia, pervasiva e crescente in tutti i settori dell'economia e degli usi civili ed assolta, come abbiamo visto, in gran parte dalle risorse naturali fossili. Il flusso dell'energia, usata per produrre lavoro o calore, è però ineluttabilmente lineare. Fluisce da sorgenti ad alta temperatura verso l'ambiente dal quale, pur se l'energia si conserva, non potrà più essere recuperata per un nuovo ciclo produttivo. Questa conclusione è stabilita dal II Principio della Termodinamica che associa all'energia una variabile di stato, l'entropia, che può solo crescere nelle trasformazioni energetiche.

Diversa è la sorte della materia, essa pure estratta dall'ambiente, sfruttata nei cicli produttivi ed infine restituita all'ambiente sotto forma di rifiuti e di inquinanti. La materia, sotto certe condizioni relative alla disponibilità di energia, alla disponibilità di adeguate conoscenze scientifiche e tecnologiche e se sussistono condizioni di vantaggio economico, calcolate conteggiando le esternalità ambientalmente negative, può invece essere recuperata. Questa consapevolezza è alla base dell'economia circolare che, piegando i tradizionali cicli industriali lineari *Take-Make-Dispose*, offre una chance all'umanità di fare fronte alla scarsità delle risorse naturali. Recuperare e riusare circolarmente la materia offre infatti allo sviluppo sostenibile una seconda *chance*, simile per portata e potenzialità a quella che è la rinnovabilità delle fonti per l'energia.

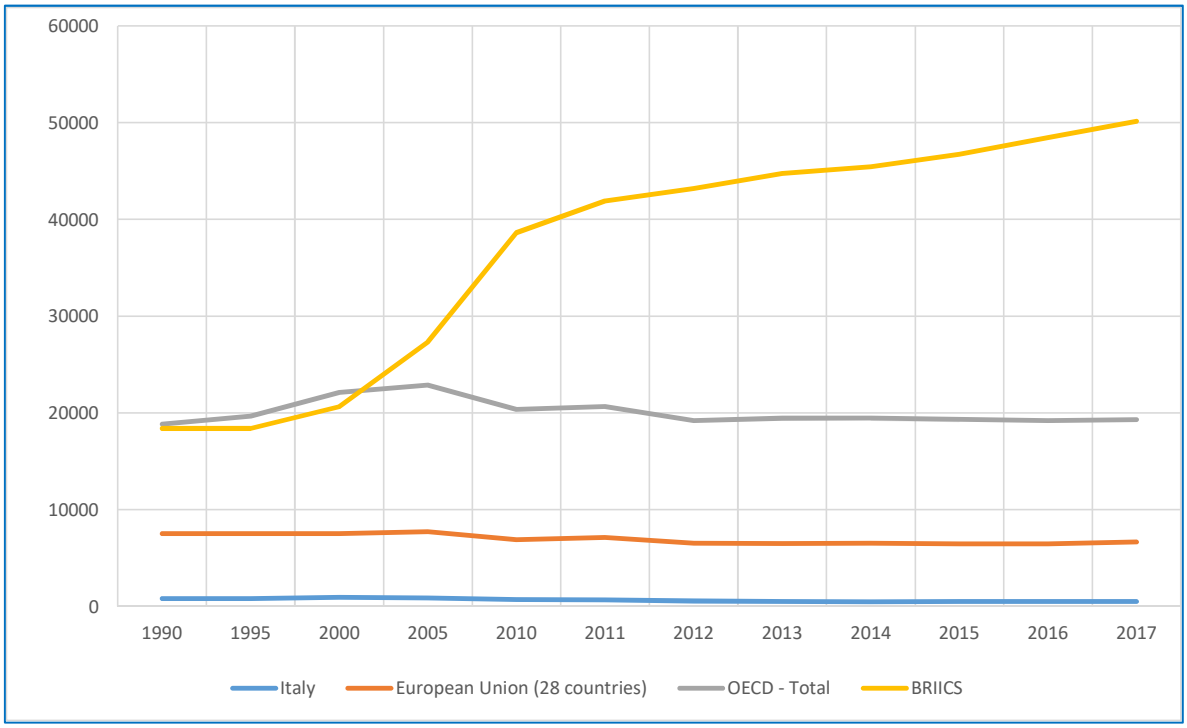
L'economia circolare ha radici antiche nella storia dell'ecologia[20], ma si è andata affermando solo di recente, dal 2015, grazie anche ad iniziative che si sono sviluppate nel

[20] T. Federico, 2015, *I fondamenti dell'economia circolare*, Fondazione per lo Sviluppo sostenibile, in: *http://www.comitatoscientifico.org/temi%20SD/documents/Green%20economy/FEDERICO%20Appunti%20di%20economia%20circolare%20250315.pdf*

mondo industriale, nelle società di consulenza[21], nei grandi fora internazionali come il *World Economic Forum*, il WEF[22], ma più di recente anche con una iniziativa promossa dall'UNEP. Ora l'economia circolare può a buon diritto essere considerata come parte integrante della *green economy* di importanza e potenzialità crescenti al pari dell'energia rinnovabile, della conservazione del capitale naturale e dei fattori di equità ed inclusività della sostenibilità sociale.

Figura 2.1. Flussi materiali in peso (Mt) delle principali regioni geografiche mondiali e dell'Italia (fonte: OECD, 2019, cit.)

[Elaborazione Susdef a partire dai database OECD]



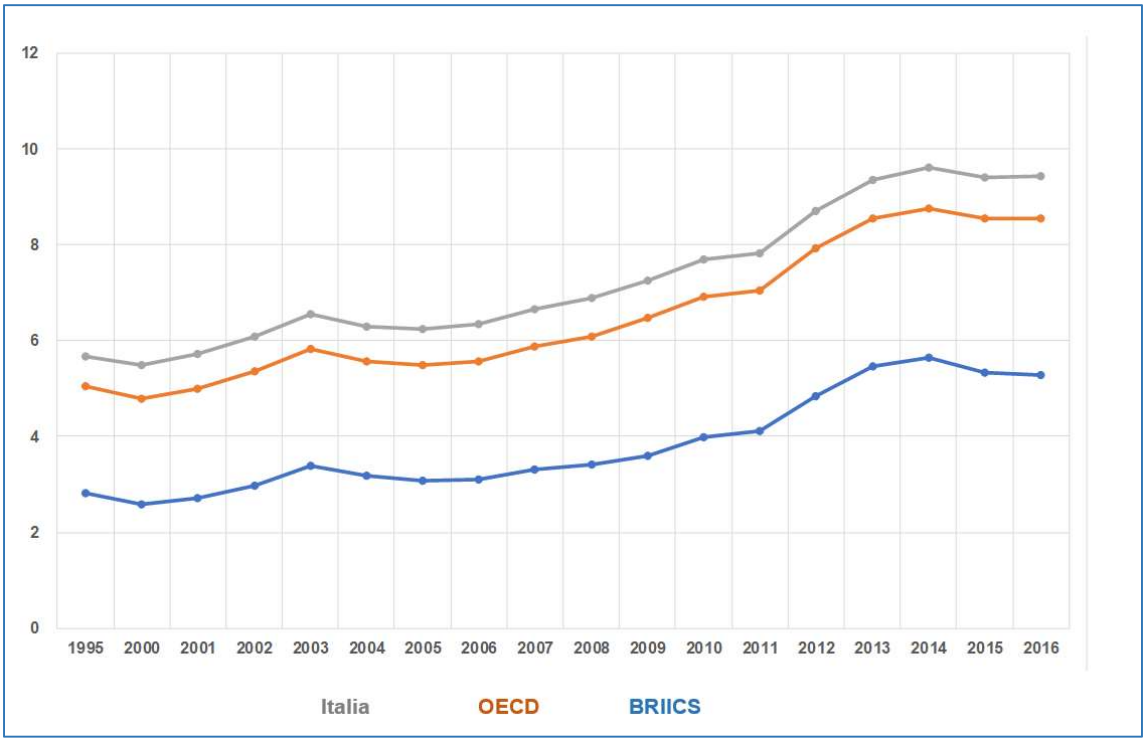
Nell'economia lineare il parametro guida è sempre stato il flusso diretto di materia nell'economia, il DMC (Fig.2.1). L'OECD lo inserisce nei suoi *headline indicators* della *green economy* attraverso la produttività delle risorse. Non deve meravigliare che per ora tra essi non siano stati inseriti indici di circolarità per i quali effettivamente mancano ancora dati affidabili. Molti sono i lavori accademici sviluppati per l'*assessment* dell'economia circolare e l'Unione europea e la stessa Eurostat si sono portati all'avanguardia su questo tema. È però ancora presto per avere dati per tutti i Paesi a livello mondiale.

Figura 2.2. Produttività in US$/kg delle risorse non energetiche in OECD, BRIICS e Italia (fonte: OECD, 2019, cit.)

[21] Ellen Mc Arthur Foundation, 2015, *Towards the circular economy*, Vol. I, (Vedere anche i voll. II e III), in: *https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf*

[22] WEF, UNEP, 2019, *Platform for Accelerating the Circular Economy*, in: *https://www.weforum.org/projects/circular-economy/*

[Elaborazione Susdef a partire dai database OECD]



Tanto nell'economia lineare, largamente prevalente oggi, quanto nell'economia circolare le materie prime sono la indispensabile base per la produzione di beni e servizi e quindi del consumo delle famiglie e degli investimenti dei governi e delle imprese di tutto il mondo[23]. Nel periodo dal 1970 al 2017, l'estrazione di materiali biotici e abiotici è aumentata di oltre il 240%, raggiungendo un importo globale di 92 Gt. L'OECD fornisce dati relativi al DMC (Fig. 2.1) e alla produttività delle risorse (Fig. 2.2). I dati globali sono disponibili nel database dell'UNEP[24].

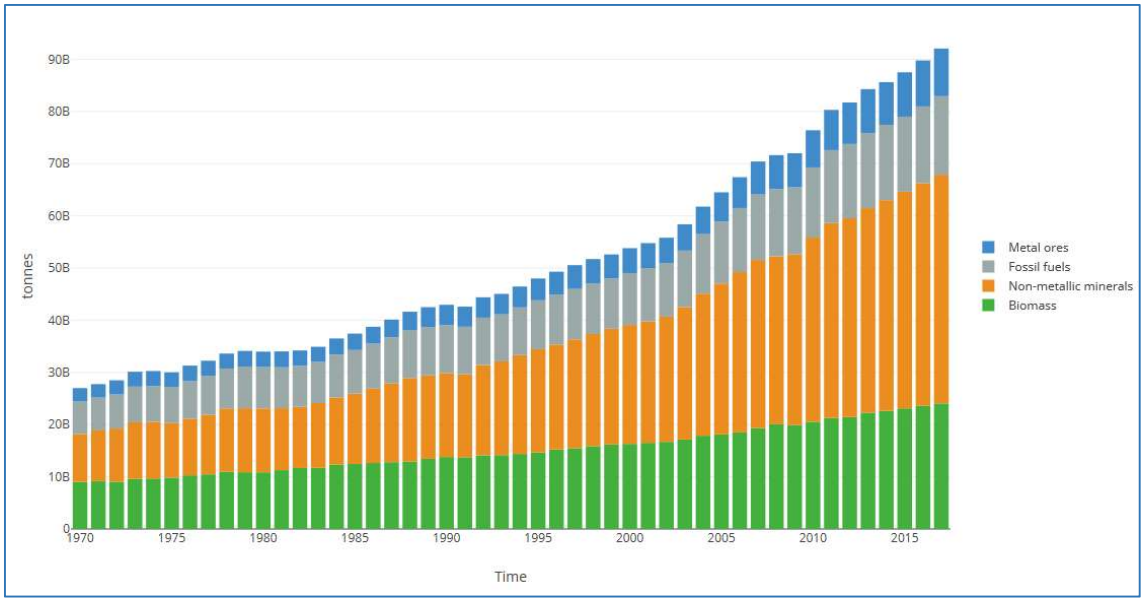
L'ampia gamma di materiali consumati può essere aggregata nelle quattro categorie principali: biomassa, minerali, combustibili fossili e metalli. Un'analisi delle serie storiche dal 1970 al 2017 mostra che il consumo globale di materia è aumentato notevolmente in tutti i gruppi. Tassi di crescita eccezionali si sono verificati tra i materiali non rinnovabili, in particolare per quanto riguarda i minerali industriali e da costruzione (+ 376%). Negli ultimi decenni, infatti, i minerali hanno svolto un ruolo fondamentale per soddisfare la domanda a livello globale di miglioramenti infrastrutturali nel settore dell'energia e dei trasporti e nei lavori di costruzione. I metalli, che sono più che triplicati tra il 1970 e il 2017. Il consumo di combustibili fossili è cresciuto di oltre il 142%. L'estrazione di risorse rinnovabili, le biomasse, è aumentata di oltre il 167%, per l'agricoltura e la

[23] UNEP, 2016, *Global Material Flows and Resource Productivity*, An Assessment Study of the UNEP International Resource Panel, IRP

[24] UN Environment, 2018. *Global Material Flows Database*. *www.resourcewatch.org*

silvicoltura industrializzate, la produzione di energia basata sulla biomassa e la crescente domanda di mangimi (Fig. 2.3).

Figura 2.3. Estrazione globale di materiali vergini (fonte: materialflow.net, 2019)
[Grafico disponibile in http://www.materialflows.net/visualisation-centre/]

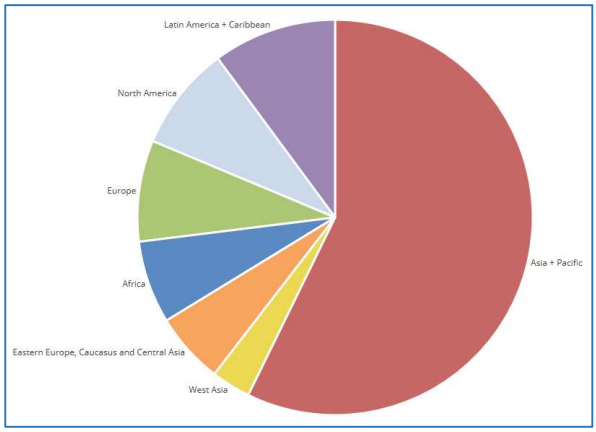


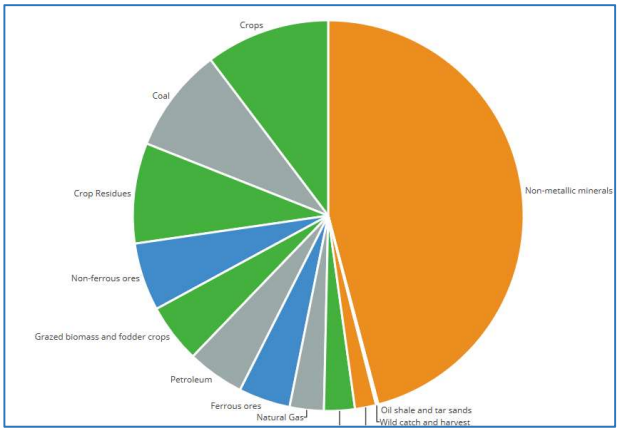
L'impatto dell'Asia sulle risorse materiali è aumentato dall'inizio degli anni 2000 a causa della rapida industrializzazione di paesi come la Cina e l'India. L'estrazione complessiva di materia in Cina è aumentata di oltre il 1400% tra il 1970 e il 2017. La tendenza è principalmente sostenuta dall'estrazione di metalli (+ 4.300%) e minerali (+ 3.800%). Oggi, circa un terzo dell'estrazione globale di materie prime avviene in Cina e l'Asia nel suo complesso ne è responsabile per i due terzi. Le quote di estrazione di tutte le altre regioni sono diminuite a causa dell'aumentata importazione di materie prime o prodotti trasformati da altre parti. Le aree dei Paesi in via di sviluppo, che estraggono ed esportano grandi quantità di materiali, come l'Africa e l'America Latina, hanno aumentato la loro estrazione senza aumentare proporzionalmente il consumo di materiale a casa propria (Fig. 2.4).

Se è ancora presto per avere dati sull'economia circolare, ce ne sono invece per il recupero di materia dai rifiuti che è solo una parte, piuttosto importante dell'economia circolare. Il settore della gestione dei rifiuti è già alquanto avanzato in termini di tecnologie e di regolamentazione. Molti materiali, anche preziosi, finiscono in discarica. In Europa, nel 2017, circa un terzo delle 13,4 tonnellate di materiali consumati ogni anno a persona finiscono tra i rifiuti e solo il 17% viene successivamente recuperato.

Figura 2.4.. Materiali vergini per regione e tipo nel 2017 (fonte: materialflow.net, 2019, cit.)

[Grafici disponibili in http://www.materialflows.net/visualisation-centre/]

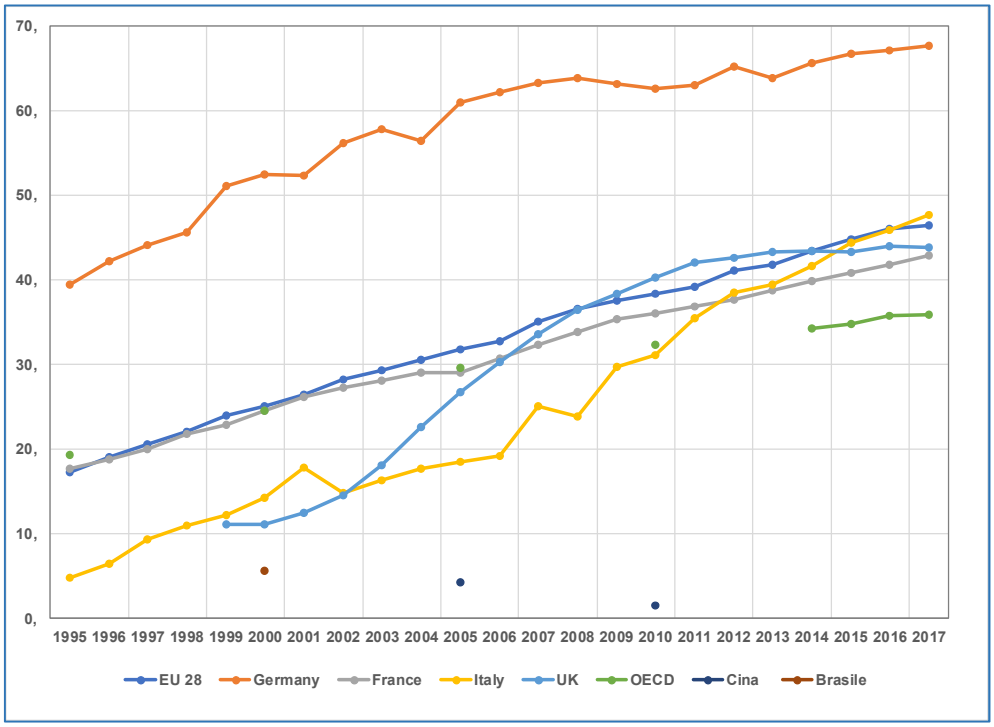




Eurostat ed OECD forniscono i dati dei rifiuti urbani riciclati (Fig. 2.5), completi per l'Europa, totalmente deficitari per il resto del mondo. Il dato globale non esiste. Ci sono pochi dati per il totale OECD e pochi punti per la Cina (punti blu scuro) e il Brasile (*brown*). In Europa il dato migliore tra i grandi paesi è quello della Germania, ma ci conforta che il nostro paese, dal 2017, arriva al secondo posto tra i grandi (linea gialla). I rifiuti urbani nei paesi OECD aumentano del 2% dall'inizio del secolo contro il 12% di crescita del PIL. Una persona che vive nell'area OECD genera in media nel 2016 516 kg di rifiuti all'anno, 40 kg in meno rispetto al 2000, ma 10 in più rispetto al 1990.

Figura 2.5. Percentuali di rifiuti urbani riciclati per i principali paesi europei, OECD, Cina e Brasile (fonte: Eurostat, OECD, 2019, cit.)

[Elaborazione Susdef a partire dai database Eurostat e OECD]



2.1. Il capitale naturale e la qualità ambientale della vita

Non ci sono nuovi studi dell'OECD per queste due dimensioni cruciali per la *green economy* ma il database è stato arricchito di nuovi dati.

Per lo stato di conservazione del capitale naturale[25] riportiamo in Fig 2.6 a) lo *stress* sulle risorse idriche rinnovabili. Il dato non è disponibile su scala globale ma solo per i paesi OECD per i quali, nella media, non si evidenzia alcun miglioramento. Virtuosa la Germania che guadagna 20 punti percentuali dal 1990 mentre appare critica la situazione italiana con uno stress idrico sei volte superiore alla media OECD. In b) della stessa figura c'è il dato relativo all'area costruita e impermeabilizzata totale in percentuale della superficie di ogni territorio rappresentato, corredato dalla variazione della copertura dal 1990 al 2014. I paesi di sviluppo più avanzato e di maggior densità abitativa sono i più compromessi, Giappone, Germania, UK, Italia, ma le variazioni maggiori sono nei BRIICS, Cina ed India (la peggiore) in testa. La media mondiale della perdita di suolo naturale supera la media dei paesi OECD e i paesi europei di maggior dimensione. Nella maggior parte dei paesi dell'OECD, i terreni naturali e seminaturali (foreste, praterie, zone umide, arbustive e altri terreni vivi) coprono dal 30% all'80% della superficie. Sono essenziali per la fornitura dei servizi ecosistemici e conservazione della biodiversità.

L'OECD assume come indice guida della qualità ambientale della vita la concentrazione del particolato $PM_{2,5}$ (Fig. 2.7) ed arricchisce il suo database 2019 di un buon numero di indicatori correlati. L'esposizione cronica anche a livelli moderati di $PM_{2,5}$ aumenta notevolmente il rischio di malattie cardiache e ictus, le principali cause di morte nei paesi dell'OECD. Aumenta anche il rischio di malattie respiratorie, incluso il cancro ai polmoni, la malattia polmonare ostruttiva cronica, BPCO, e le infezioni respiratorie[26].

Meno di uno su tre paesi dell'OECD rispetta le linee guida sulla qualità dell'aria del WHO, che prescrivono un'esposizione media annua al PM 2,5 di 10 $\mu g/m^3$, limite inferiore che, fra l'altro, non esclude affatto la possibilità di contrarre gravi malattie[27]. L'esposizione al $PM_{2,5}$ continua a salire in media globale, in Cina ed in India fino a livelli estremi[28].

---

[25] Il problema è stato trattato nelle *Relazioni sullo stato della Green economy 2017 e 2018* che si trovano in: *http://www.statigenerali.org/cms/wp-content/uploads/2017/11/Relazione-sullo-stato-della-green-economy-2017(8).pdf*

[26] WHO, 2016, *Ambient Air Quality and Health*, World Health Organization, Geneva, *www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en*?

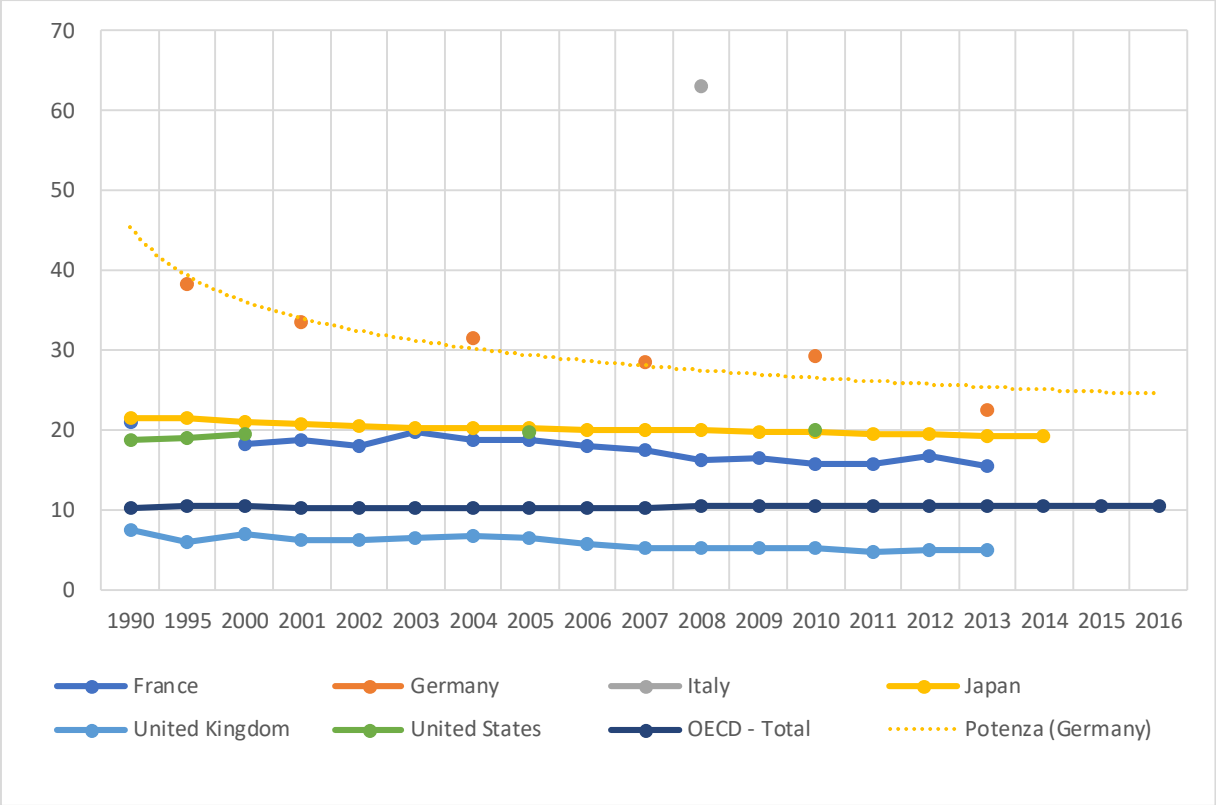
[27] GBD, 2015, *Global Burden of Disease Study 2015 Results*, Institute for Health Metrics and Evaluation, Seattle, United States, *http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool*

[28] OECD, 2016, *The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*, OECD Publishing, Paris, *http://dx.doi.org/10.1787/9789264257474-en.*

Figura 2.6. Indici di stato del capitale naturale per aree selezionate (fonte: OECD, 2019, cit.)

[Elaborazione Susdef mediante il database OECD]

a) Stress idrico. Estrazione totale di acqua potabile in percentuale della risorsa idrica rinnovabile interna



b) Superficie costruita in percentuale della superficie totale

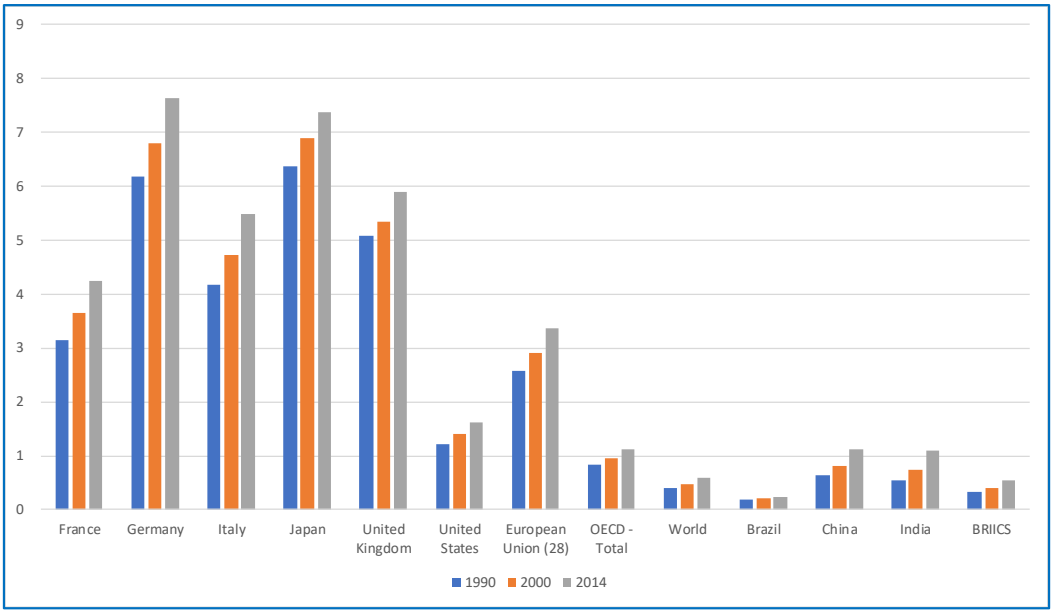
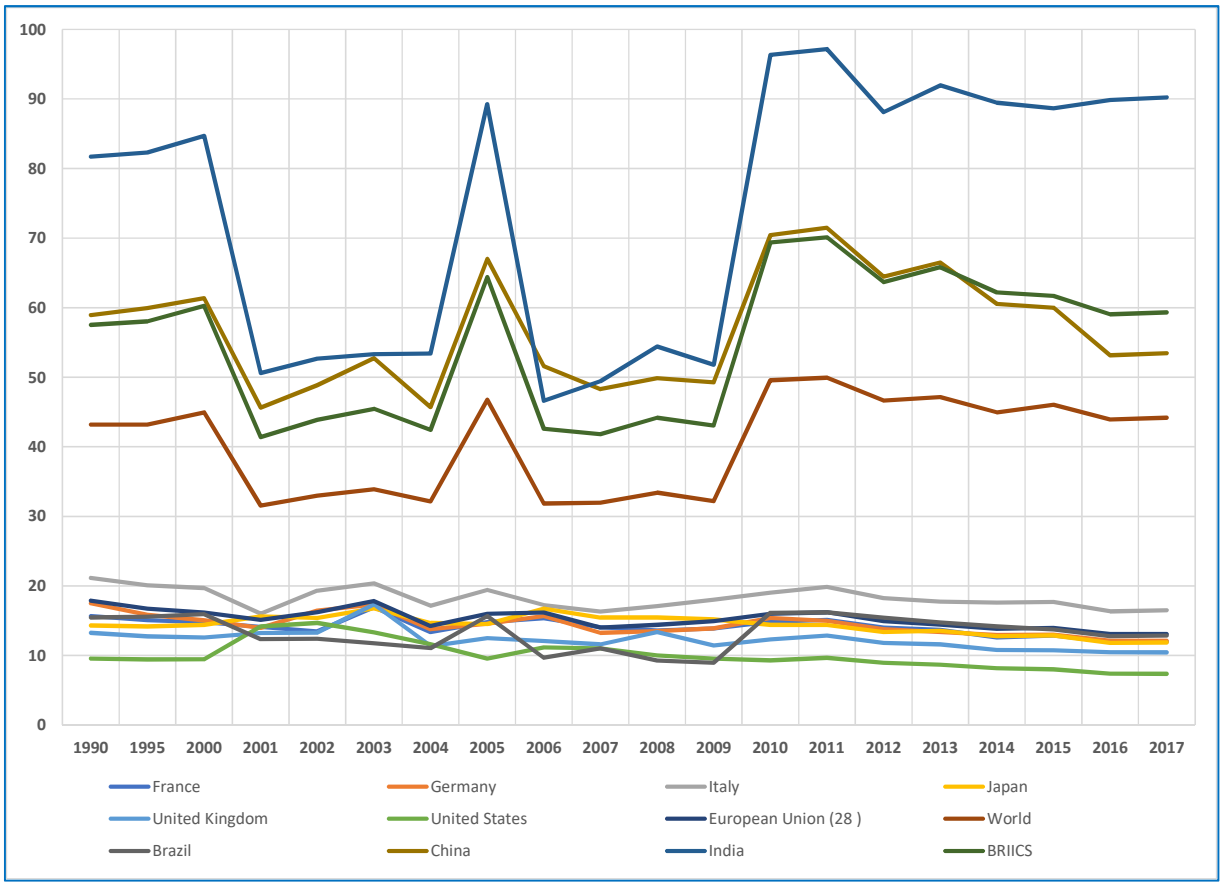


Figura 2.7. Indice guida della qualità ambientale associata all'esposizione al $PM_{2,5}$ (fonte: OECD, 2019, cit.)

[Elaborazione Susdef mediante il database OECD]



3. I CAMBIAMENTI CLIMATICI

Il pilastro della lotta ai cambiamenti climatici è l'Accordo di Parigi[29] nel quale si legge un sostanziale mutamento di strategia nella *governance* internazionale tradizionale della Convenzione climatica delle Nazioni Unite, la UNFCCC[30]. Il punto fondamentale dell'Accordo è contenuto nell'Articolo 2, punto a) che impegna la comunità internazionale al: "contenimento dell'incremento della temperatura media globale molto al di sotto dei 2 °C sopra i livelli pre-industriali perseguendo tutti gli sforzi per limitare l'incremento della temperatura media globale a 1,5 °C al di sopra dei livelli pre-industriali". La temperatura media è una variabile di stato del sistema climatico che, a differenza dei fattori di pressione antropogenici, non può essere oggetto di un obiettivo che i diversi paesi possono perseguire indipendentemente l'uno dall'altro. Le azioni di mitigazione sono invece rivolte al contenimento delle emissioni di gas serra che possono essere assegnate a ciascun paese mediante uno specifico *target*, come avvenne con il protocollo di Kyoto del 1997. L'Accordo di Parigi rinuncia a questo tipo di approccio *top-down* e sceglie di fare affidamento sulle ambizioni espresse da ciascun Paese in funzione delle proprie compatibilità sociali ed economiche e del proprio modello di sviluppo. Non si tratta dell'abbandono del Principio 7 di Rio de Janeiro[31] delle Responsabilità comuni ma differenziate (CBDR), ma di una interpretazione verosimilmente più moderna senza la quale non sarebbe stato possibile superare il profondo fossato storico tra Nord e Sud del mondo, divisi dalle diverse responsabilità storiche nel danneggiamento del clima, dai diversi livelli di ricchezza e dai diversi obblighi assegnati a ciascuna parte dalla stessa Convenzione climatica.

Già l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile[32], votata all'unanimità qualche mese prima della COP 21 di Parigi dalla Assemblea Generale dell'ONU, era stata impostata su principi simili ed era riuscita ad ottenere il sostegno unanime della comunità internazionale. Lo SDG 13 dell'Agenda che chiede di "Adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e le sue conseguenze", non comportava alcuna determinazione quantitativa dei *target* valida per tutti i paesi sottoscrittori. Ne consegue che lo stato degli impegni mondiali per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, alla vigilia di Parigi, si poteva determinare solo per sommatoria degli impegni unilaterali fatti pervenire entro l'ottobre del 2015 alla Segreteria della Convenzione, i

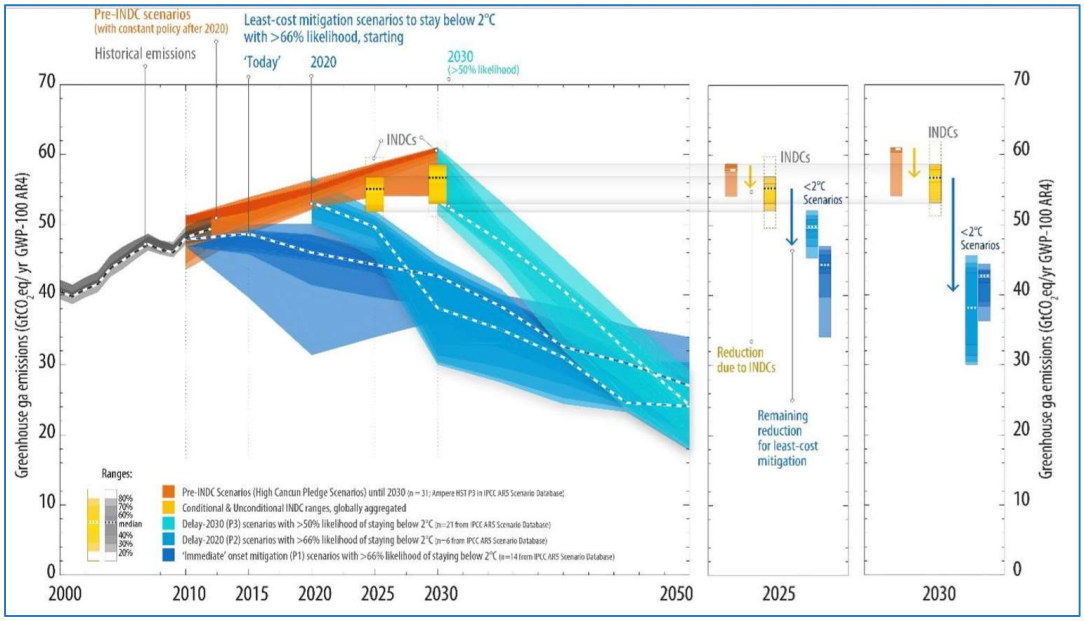
[29] *Il documento di decisione e l'Accordo di Parigi*, traduzione a cura del Comitato scientifico della Fondazione per lo sviluppo sostenibile, in:
http://www.comitatoscientifico.org/temi%20CG/documents/Il%20Patto%20di%20Parigi%20finale.pdf
[30] *https://unfccc.int/*
[31] *http://www.comitatoscientifico.org/temi SD/Rio 1992.htm*
[32] *http://www.comitatoscientifico.org/temi%20SD/Agenda%202030/index.htm*

cosiddetti *Intended Nationally Determined Contributions*, INDC. Molti autorevoli studi sono stati dedicati alla valutazione degli scenari climatici conseguenti agli INDC e tutti sono stati concordi nell'affermare che tali contributi erano del tutto inadeguati al contenimento dell'anomalia termica superficiale media a fine secolo entro i 2 °C, poi confermato a Parigi come obiettivo minimo. Citiamo per autorevolezza lo studio della Segreteria della UNFCCC[33] le cui conclusioni sono riassunte nella Fig. 3.1.

La figura confronta i livelli di emissione globali risultanti dagli INDC nel 2025 e nel 2030 con gli scenari di riferimento pre-INDC e con gli scenari a 2 °C. Gli scenari di riferimento derivano dal contributo del gruppo di lavoro III del quinto *Assessment Report* dell'IPCC, AR5, che sono coerenti con le azioni comunicate dalle parti per il periodo pre-2020 (rosso). Le emissioni complessive attese dagli INDC mostrano un'ampia variabilità a causa delle differenti ipotesi e condizioni specificate dalle parti nelle loro comunicazioni e delle incertezze associate alle lacune nelle informazioni (barre gialle). I percorsi di mitigazione per una traiettoria a costo minimo per mantenere l'aumento della temperatura media globale sotto i 2 °C sono mostrati in blu, con un miglioramento della mitigazione globale a partire dal 2015 (blu scuro), dal 2020 (blu medio) o con un ritardo ipotizzato solo dopo 2030 (turchese). In tali scenari, i successivi tassi di riduzione delle emissioni nel periodo 2030-2050 sono più elevati se vi è un ritardo nell'avviamento dell'azione globale di mitigazione.

Figura 3.1. Confronto dei livelli di emissione globali risultanti dagli INDC nel 2025 e nel 2030 con le traiettorie necessarie per i 2° C (fonte: UNFCCC, cit.)

[Figura ricavata dalla pag. 11 del Rapporto citato della UNFCCC]



[33] UNFCCC, 2015, *Synthesis report on the aggregate effect of the intended nationally determined contributions*, in: *https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/07.pdf*

La conclusione comune a tutti gli studi è che con gli INDC dichiarati alla vigilia di Parigi si avrebbe a fine secolo una anomalia della temperatura superficiale media terrestre superiore ai 3°C, ritenuta inaccettabilmente pericolosa. La revisione degli INDC, che una volta approvati divengono NDC, è dunque necessaria. Essa potrà avvenire in qualsiasi momento per iniziativa separata dei paesi proponenti ovvero, in istanza comune, alla Conferenza dell'ONU per il clima convocata a new York nel settembre del 2019 e infine alla COP 26 del 2020, origine dell'asse dei tempi dell'Accordo di Parigi.

Nell'Accordo parigino si stabilì che l'IPCC avrebbe dovuto colmare una lacuna del suo AR5 (cit.) che rappresentava tra gli scenari delle concentrazioni, i *Representative Concentration Pathway,* RCP soltanto lo RCP 2.6[34] che si mostrava compatibile con l'obiettivo dei 2°C. Per l'eventuale acquisizione dell'obiettivo più severo degli 1,5 °C a fine secolo si chiedeva all'IPCC (comma 21 del documento di decisione, cit.) di "preparare una relazione speciale nel 2018 sull'impatto del riscaldamento globale di 1,5 °C rispetto ai livelli pre-industriali e i relativi percorsi globali delle emissioni di gas a effetto serra". Il *Panel* climatico ha effettivamente consegnato il suo Rapporto speciale SR15[35] nell'autunno del 2018. Il Rapporto non lascia spazio ad ipotesi o fraintendimenti e prescrive un abbattimento rapido delle emissioni serra con un azzeramento del bilancio tra emissioni ed assorbimenti intorno alla metà del secolo. Dopo la sua presentazione l'andamento lento delle politiche per contrastare il cambiamento climatico è diventato affannoso, anche sotto la spinta in molti paesi dei movimenti giovanili di massa come *Friday for future* della svedese Greta Thunberg o la *Extinction Rebellion* inglese e altri. Si è tornati nei media a parlare di un rischio imminente di estinzione della specie umana a causa del clima. Lo SR15 impone il passo della mitigazione e detta i *target* che mancavano nell'Accordo di Parigi: decarbonizzazione netta a metà secolo. Nel mondo e in Europa molti governi proclamano una *emergenza climatica*. L'Italia non si allinea, tuttavia è tra i 24 paesi dell'Unione che, in un Summit dei capi di Stato e di Governo del 20 giugno 2019, lanciano l'obiettivo della decarbonizzazione al 2050. Non sarà però questa la proposta che l'Unione a 28 porterà all'ONU nel settembre 2019 perché l'unanimità è venuta meno

[34] Il numero 2.6 si riferisce al valore medio globale del *Radiative forcing* di tutte le forzanti climatiche che comprendono fattori naturali ed artificiali ad esclusione del vapor d'acqua, quindi anche tutti i GHG, un indicatore dell'alterazione degli equilibri termici tra energia radiante entrante dal sole ed uscente dalla terra al di sopra dell'atmosfera, alla tropopausa, calcolato rispetto all'anno 1750. Tale valore non deve essere superato a fine secolo qualunque sia stato il percorso delle emissioni, anche nel caso di *overshoot* termico in itinere, cioè di superamento transitorio dell'anomalia dei 2° C nel corso del secolo, per avere una determinata probabilità di conseguimento dell'obiettivo dei 2°C a fine secolo. Si consideri che nella stima dell'IPCC AR5 il *Radiative forcing* globale nel 2011 valeva già 2,29 soprattutto per l'effetto dell'aumento della concentrazione della CO_2 che da sola aveva un *Radiative Forcing* di 1,68 (cfr. IPCC AR5 WG 1 SPM fig. SPM 5)

[35] *https://www.ipcc.ch/sr15/*

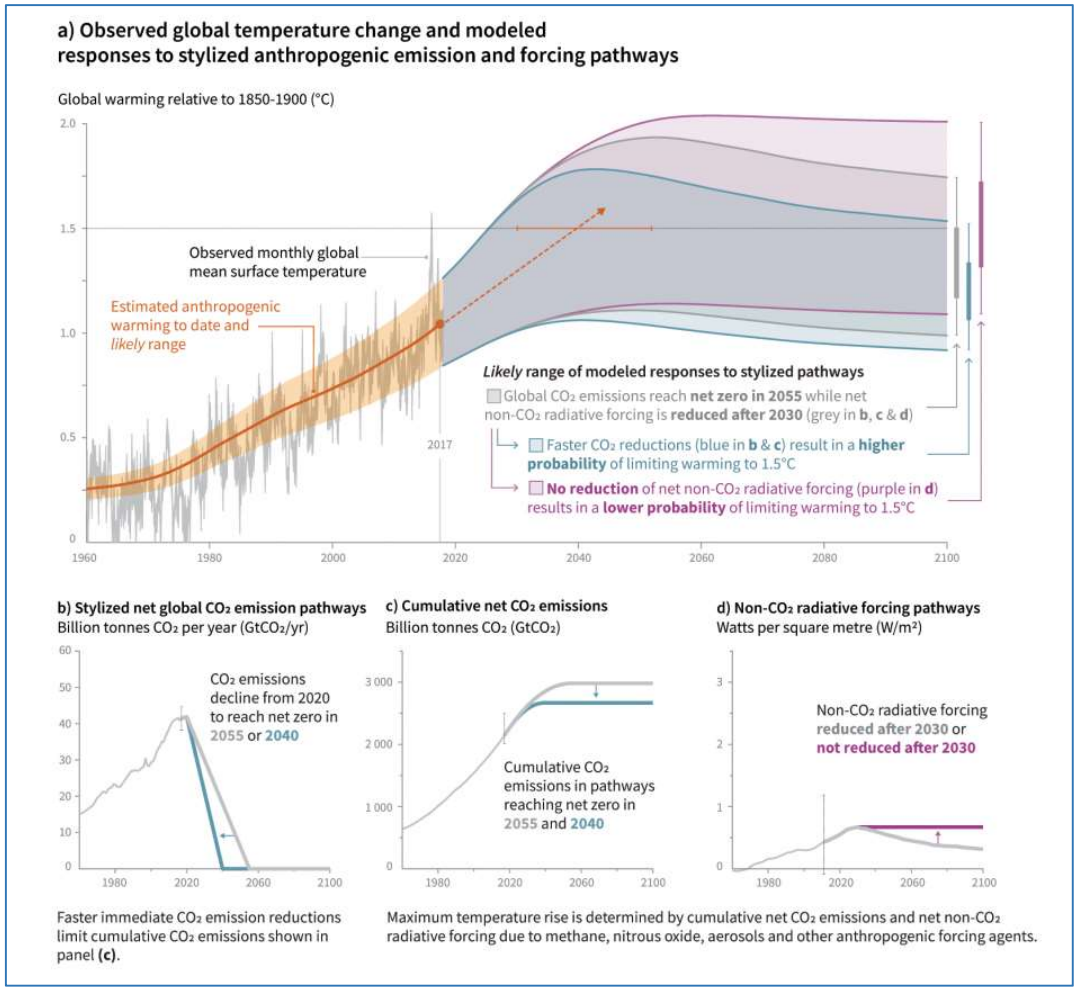
per l'opposizione di tre paesi di Visegrad su quattro, Polonia, Repubblica Ceca e Ungheria e dell'Estonia.

L'opposizione di Stati Uniti, Paesi del golfo, Iran e Federazione Russa impedisce alla COP 24 di Katowice di acquisire i risultati dello SR15 dell'IPCC come riferimento scientifico per il negoziato internazionale. Alla Conferenza sul clima di Bonn del giugno 2019 si raggiunge un compromesso al ribasso, lo SR15 è riconosciuto come "buona scienza" ma viene definitivamente tolto dal negoziato. È nella logica delle Nazioni Unite procedere solo su percorsi condivisi, ma questa separazione dalle conclusioni dell'IPCC è destinata a scavare un solco tra la maggioranza dei Paesi e un gruppo che comprende gli Stati Uniti, che a fine anno saranno fuori dall'Accordo, ed i Paesi che non nascondono il loro interesse prevalente di vendere combustibili fossili al mondo intero.

La Fig. 3.2 rappresenta senza circonvoluzioni tutta la severità dei percorsi di mitigazione tracciati dallo SR15.

Figura 3.2. Emissioni cumulative di CO_2 e delle altre forzanti non CO_2 che determinano la probabilità di conseguimento dell'obiettivo di 1,5 °C di anomalia a fine secolo (fonte: IPCC SR15 (cit.))

[Figura ricavata dalla SPM 1 dello SR15 IPCC in: https://www.ipcc.ch/sr15/graphics/#cid_603]



Nel pannello a) la figura riporta la media mensile osservata della temperatura superficiale media, GMST, (linea grigia) e quella stimata per interpolazione del riscaldamento globale antropogenico (linea arancione continua fino al 2017, con ombreggiatura arancione che indica la variabilità delle stime). La freccia tratteggiata arancione e la barra di errore orizzontale arancione mostrano rispettivamente la stima centrale e il probabile intervallo di tempo nel quale verranno raggiunti gli 1,5 °C se il tasso di riscaldamento corrente continua. Il pennacchio grigio sulla destra del riquadro a) mostra la probabile gamma di variazione dell'anomalia termica, calcolata a partire dalle concentrazioni GHG con un semplice modello climatico, se viene intrapreso il percorso di mitigazione (futuro ipotetico) in cui le emissioni nette di CO_2 (linea grigia nei pannelli b) e c)) diminuiscono in linea retta dal 2020 per raggiungere lo zero netto nel 2055. Si suppone anche che il forzante radiativo netto non CO_2 (linea grigia nel pannello d)) aumenti fino al 2030 e poi diminuisca.

Il pennacchio blu nel pannello a) mostra la risposta alle riduzioni più rapide delle emissioni di CO_2 (linea blu nel pannello b), che raggiungono il punto zero nel 2040, riducendo le emissioni cumulative di CO_2 (riquadro c). Il pennacchio viola mostra la risposta alle emissioni nette di CO_2 che decrescono fino a zero nel 2055, con la forzante netta non CO_2 che rimane costante dopo il 2030. Le barre verticali di errore sulla destra del pannello a) mostrano gli intervalli probabili (linee sottili) e i terzili centrali (33 - 66 ° percentile, linee spesse) della distribuzione stimata del riscaldamento nel 2100 sotto questi tre percorsi di mitigazione. Le barre verticali di errore tratteggiate nei pannelli b), c) e d) mostrano la probabile gamma di emissioni annue globali e cumulative globali di CO_2 nel 2017 (dati dal *Global Carbon Project*) e delle forzanti radiative nette non CO_2 nel 2011 (da AR5), rispettivamente. Gli assi verticali nei pannelli c) e d) sono ridimensionati per rappresentare approssimativamente effetti confrontabili in termini di GMST.

In questo modo la strada dell'obiettivo massimo di Parigi è tracciata per tutti in modo inequivoco. La distanza dalle politiche di mitigazione in atto è oggettivamente enorme.

3.1. Le emissioni di gas serra non accennano a fermarsi

La CO_2 è l'indiscussa protagonista del riscaldamento globale. La combustione dei fossili e la produzione di cemento causano il 90% di tutte le emissioni antropogeniche di CO_2. Dopo una pausa di tre anni con emissioni globali stabili[36], le emissioni di CO_2 sono cresciute dell'1,6% nel 2017 a 36,2 Gt, con un ulteriore aumento del 2,7% nel 2018 fino a un record di 37,1 ± 2 Gt (Fig. 3.3). Sembrano verosimili ulteriori aumenti nel 2019 a

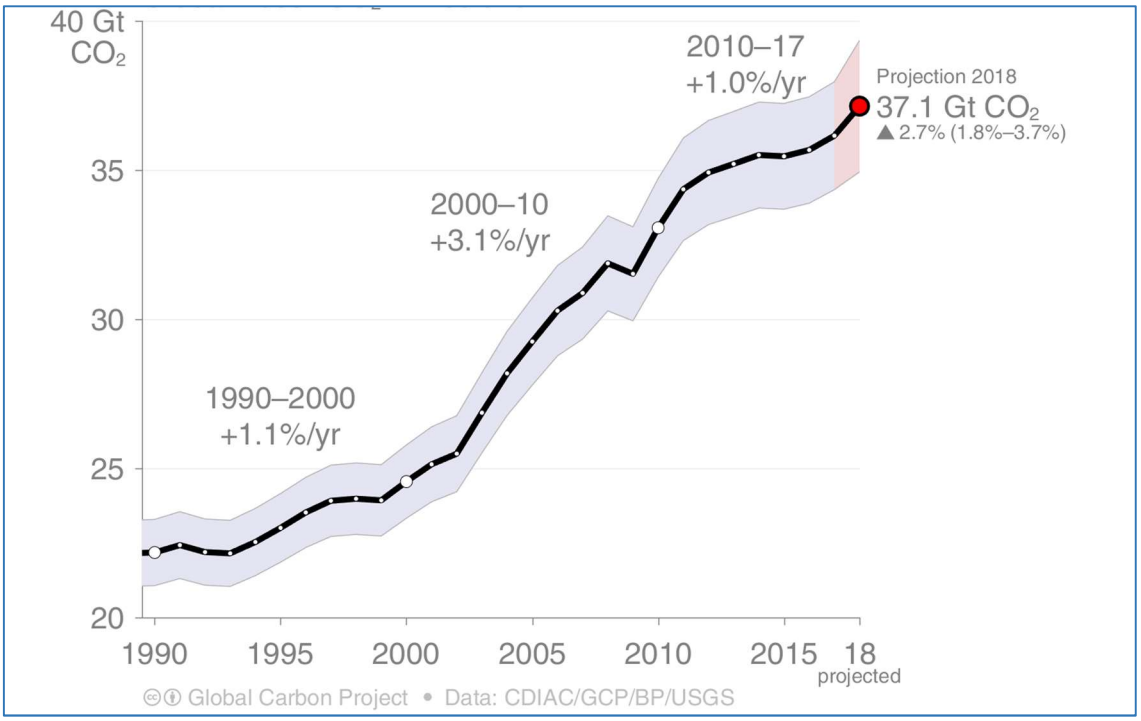
[36] Le Quéré C. et al, 2018, Global *Carbon Budget 2018*, Earth Syst. Sci. Data accepted, *https://doi.org/10.5194/essd-2018-120*

causa della crescita persistente nel consumo di petrolio e gas naturale e della forte crescita prevista per l'economia globale.

Nonostante i progressi positivi registrati in 19 paesi le cui economie sono cresciute negli ultimi dieci anni e le cui emissioni sono diminuite, la crescita dell'uso dell'energia da combustibili fossili è ancora superiore all'aumento di fonti energetiche a basse emissioni di carbonio. Una economia globale in espansione, le riduzioni delle emissioni insufficienti nei paesi sviluppati e la necessità di un maggiore uso di energia nei paesi in via di sviluppo, in cui le emissioni pro capite rimangono molto al di sotto di quelle delle nazioni più ricche, continueranno a esercitare pressioni al rialzo sulle emissioni di CO_2[37]. L'uso del carbone è notevolmente diminuito negli ultimi anni, si potrebbe trattare dell'auspicato picco, ma la sua traiettoria futura rimane incerta.

Figura 3.3. Emissioni globali di CO_2 (fonte: Global Carbon Project[38])

[La figura si trova nel database grafico GCP come *s09_2018_FossilFuel_and_Cement_emissions_1990.png*]



Sulla base dei dati disponibili a fine 2018, il GCP, come abbiamo visto, prevede un aumento delle emissioni globali di CO_2 fossile per il 2018 del 2,7% (*range* da 1,8 a 3,7%)[39]. Sulla base di queste stime le emissioni globali di carbonio, che come è noto

[37] R.B. Jackson, C. Le Quéré et al., 2018, *Global energy growth is outpacing decarbonization*, Environ. Res. Lett. 13 (2018) 120401, *https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf303*

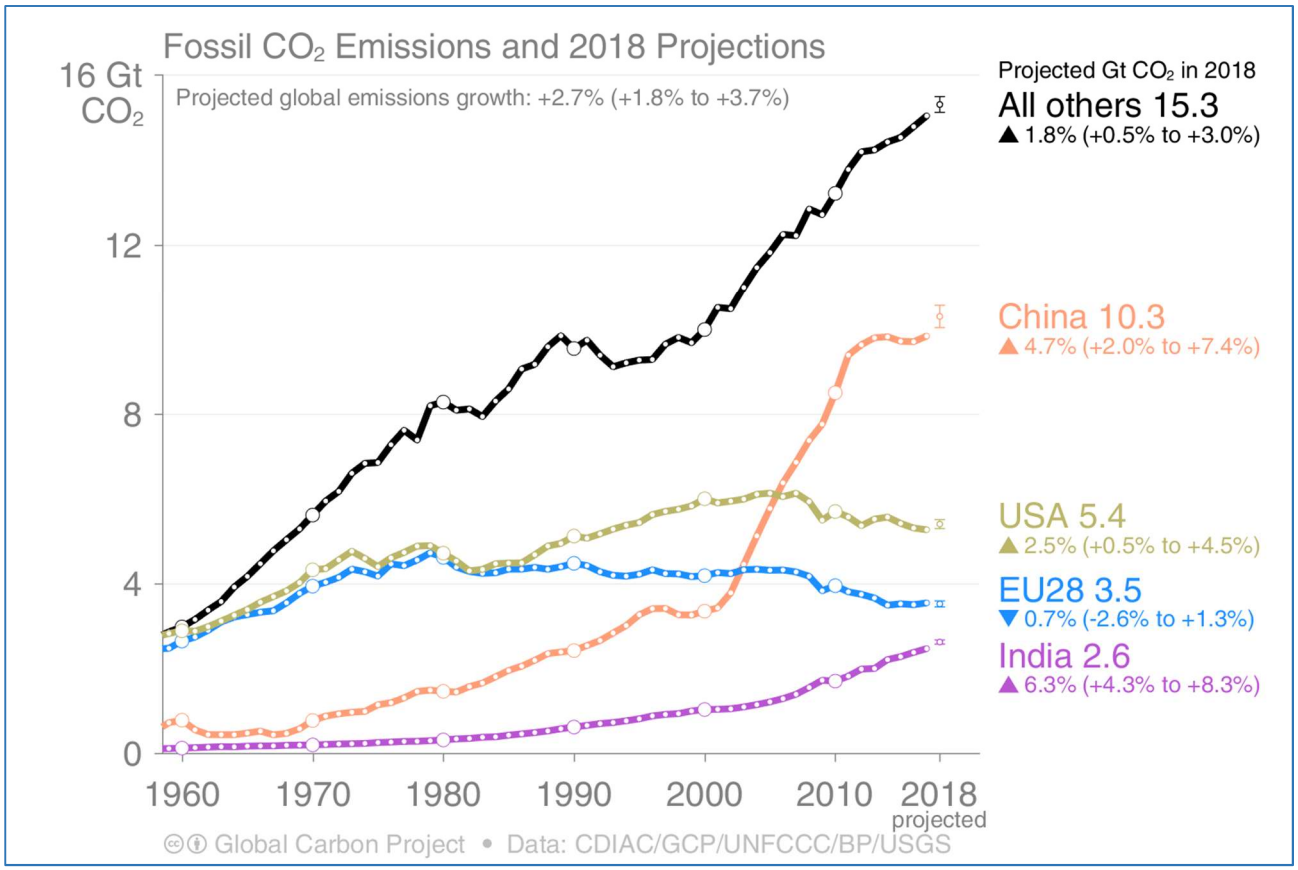
[38] Global Carbon Project, 2019, *Carbon budget and trends 2018*, pubblicato il 5 dicembre 2018 e disponibile in: *www.globalcarbonproject.org/carbonbudget*

[39] Corinne Le Quéré et al., 2018, *Global Carbon Budget 2018*, Earth Syst. Sci. Data, 10, 2141–2194, 2018, *https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018*

danno luogo ad un peso in CO_2 superiore di 3,664 volte, sarebbero pari a 10,1 ± 0,5 GtC (37,1 ± 1,8 $GtCO_2$) nel 2018 (Jackson, 2018, cit.).

Per la Cina, il cambiamento previsto delle emissioni è in aumento del 4,7% (tra 2 e 7,4%) nel 2018 rispetto al 2017 (Fig. 3.4). La stima è basata sulla crescita del 4,5% dell'uso del carbone, la principale fonte di combustibile in Cina, del 3,6% del petrolio, del 17,7% del gas naturale e dell'1% della produzione di cemento[40]. Per gli Stati Uniti, la proiezione delle emissioni per il 2018, combinata con i dati sul cemento, registra un aumento del 2,5% (tra 0,5 e 4,5%) rispetto al 2017. Per l'Unione europea, GCP stima per il 2018 una diminuzione dello 0,7% (tra -2,6 e 1,3%) rispetto al 2017 che si basa su stime per il carbone del -1,2%, del +1,2% per il petrolio, del +2,9% per il gas naturale con emissioni stabili per il cemento. L'India aumenterebbe le sue emissioni del 6,3% (tra 4,3% a 8,3%) rispetto al 2017 per effetto di un +7,1% di carbone, +3% circa di petrolio, +6% di gas naturale e +13,4% di cemento. Per il resto del mondo, la crescita prevista per il 2018 è dell'1,8% (tra 0,5 e 3%).

Figura 3.4. I principali paesi emettitori di CO_2 a fine 2018 (fonte: Global Carbon Project (cit.))
[La figura si trova nel database grafico GCP come *s11_2018_Projections.png*]

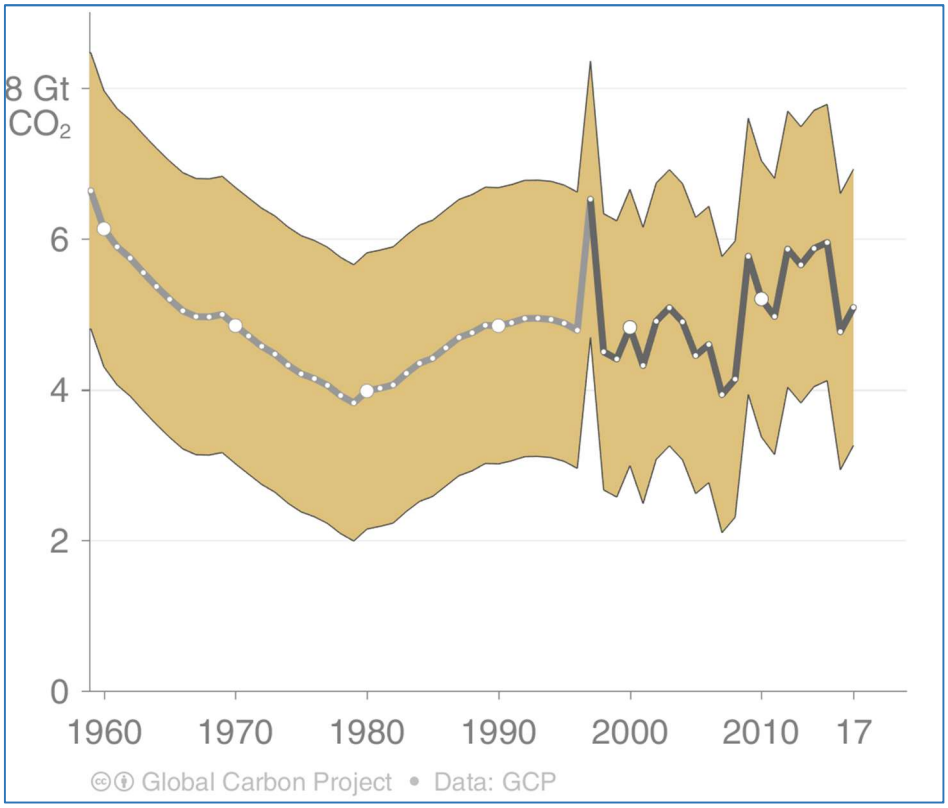


[40] Liu, Z. et al., 2018, *New dynamics of energy use and CO_2 emissions in China*, Nature, in: *https://arxiv.org/abs/1811.09475*

L'aumento del 2018 nella concentrazione di CO_2 atmosferica è in proiezione di 2,3 ± 0,3 ppm, pari ad un contenuto carbonico aggiuntivo in atmosfera di 4,9 ± 0,7 GtC, ricavato dalle osservazioni di Mauna Loa fino alla fine di ottobre 2018, che portano la concentrazione atmosferica di CO_2 ad un livello di 407 ppm in media nell'anno 2018. Le osservazioni più recenti di Mauna Loa danno al mese di maggio 2019 un valore di 414,66 ppm in media mensile, + 3,42 ppm rispetto a dodici mesi prima[41]. Combinando i dati si ricava un assorbimento totale di terra e oceano di circa 6,5 GtC per il 2018. Sebbene ciascun termine abbia grande incertezza, il *sink* oceanico ha generalmente una bassa variabilità interannuale ed è probabile che rimanga vicino al suo valore del 2017 di circa 2,5 GtC, lasciando un residuo approssimativo di assorbimento terrestre di circa 4,0 GtC. Si tratterebbe di uno tra i maggiori valori di assorbimento di carbonio terrestre nel periodo storico.

Figura 3.5. Emissioni globali su base annua imputabili al cambiamento di uso di suolo (fonte: Global Carbon Project (cit.))

[La figura si trova nel database grafico GCP come *s62_2018_LandUse_Change_emissions.png*]



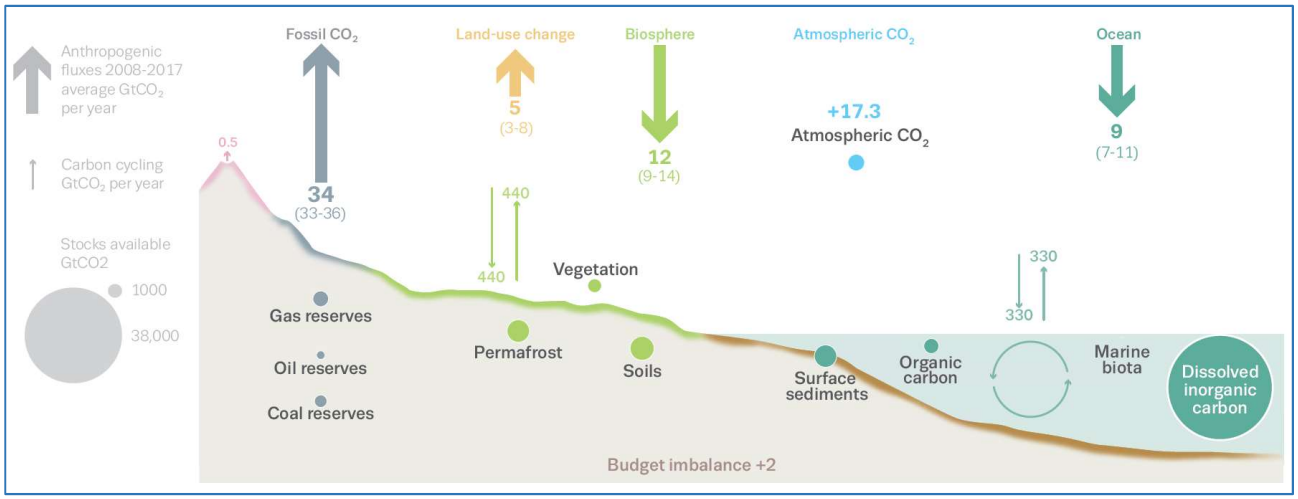
Al di là dei flussi delle emissioni annuali si fa sempre più spesso ricorso ad altri dati, pur se strettamente collegati ai flussi. Il primo riguarda le emissioni storiche di CO_2, indice dell'avvelenamento dell'atmosfera attribuibile a ciascun paese per effetto della lunga

[41] Global Greenhouse Gas Reference Network, 2019, *Trends in Atmospheric Carbon dioxide, https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/*

persistenza della CO_2 in aria. Le emissioni di carbonio da fonti fossili per il periodo 1870-2017 erano di 425 ± 20 GtC e più incerte, di 190 ± 75 GtC, per i cambiamenti di uso di suolo, per un totale di 615 ± 80 GtC (Fig. 3.5). Queste stime sono coerenti con quanto risulta dalle osservazioni sulla biomassa vegetale[42].

Figura 3.6. Perturbazione del ciclo globale del carbonio causata da attività antropogeniche per il decennio 2008-2017 (fonte: Global Carbon Project (cit.))

[La figura si trova nel database grafico GCP come *s07_2018_global_perturbation.png*]



Gli *stock* sono stati ripartiti tra atmosfera (250 ± 5 GtC), oceani (150 ± 20 GtC) e terra (190 ± 50 GtC). L'uso di stime quasi indipendenti per individuare questi termini mostra uno squilibrio del bilancio cumulativo di 25 GtC nel periodo 1870-2017 (Fig. 3.6), che, se corretto, suggerisce che le emissioni sono tutte troppo alte nella stessa misura o i *sink* terrestri o oceanici sono sottostimati. La maggior parte dello squilibrio è probabile provenga in gran parte dai grandi cambi di uso di suolo tra la metà degli anni '20 e la metà degli anni '60, che non ha eguali in fatto di crescita della concentrazione atmosferica di CO_2, così come rivelano le carote di ghiaccio. Le emissioni cumulative fino all'anno 2018 aumentano a 625 ± 80 GtC (2290 ± 290 $GtCO_2$), con un contributo di circa il 70% dalle fonti fossili e del 30% dai cambi di uso di suolo. Date le grandi e persistenti incertezze sulle emissioni cumulative, occorre estrema cautela se si utilizzano queste stime di emissione per determinare il *budget* di carbonio residuo per rimanere al di sotto del limite di anomalia termica di Parigi[43] tanto che vengono prodotte altre nuove ed autorevoli stime con nuovi dati e nuove ipotesi[44,45], al di là della stima prodotta

[42] Li, W. Et al., 2017, *Land-use and land-cover change carbon emissions between 1901 and 2012 constrained by biomass observations*, Biogeosciences, 14, 5053–5067, in: *https://doi.org/10.5194/bg-14-5053-2017, 2017*

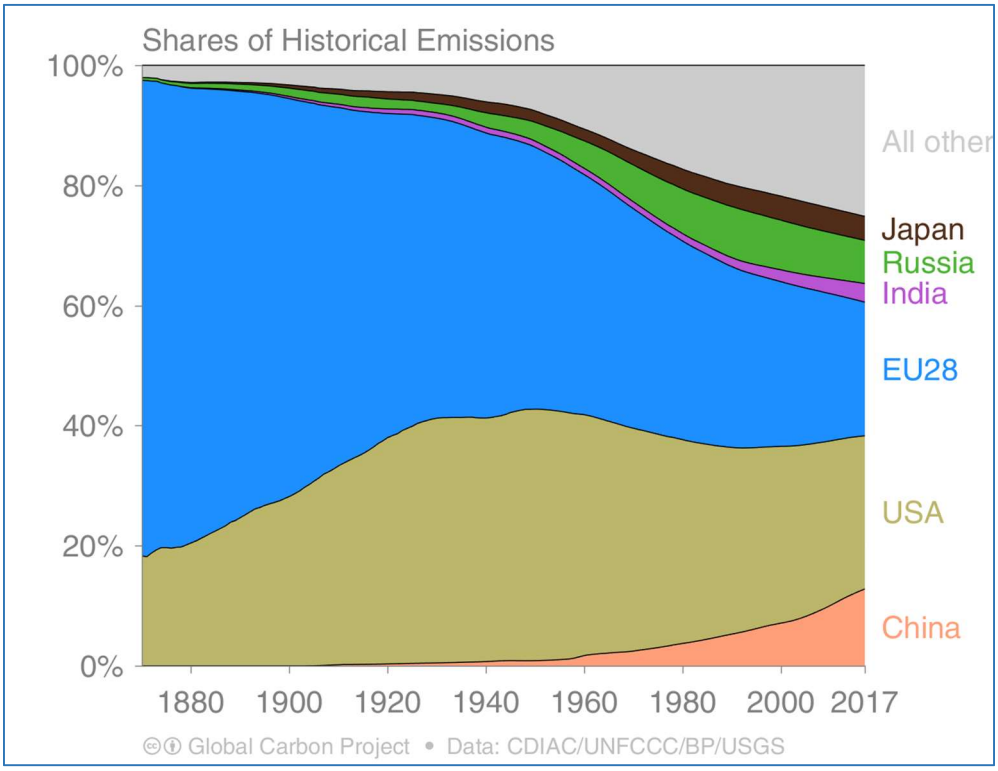
[43] Rogelj, J. et al., 2016, Differences *between carbon budget estimates unravelled*, Nat. Clim. Change, 6, 245–252, *https://doi.org/10.1038/NClimate2868, 2016*

[44] Millar, R. J. et al., 2017, *Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5 degrees C,* Nat. Geosci., 10, 741–747, *https://doi.org/10.1038/NGEO3031, 2017*

dall'IPCC AR5 che era pari a 1000 GtC. Gli autori di questi studi sono gli stessi che hanno contribuito al Rapporto speciale SR15 per l'IPCC[46]: taluni di loro arrivano a raddoppiare il *Carbon budget* rispetto alla stima dell'IPCC, altri lo riducono di molto.

La ripartizione delle emissioni cumulative tra i grandi emettitori ha invece un fine diverso che attiene alla definizione delle responsabilità storiche di ciascuna delle parti della Convenzione climatica. Lo stato delle emissioni cumulative, su un asse dei tempi di oltre cento anni, approssimativamente pari alla permanenza in atmosfera della CO_2, è in Fig. 3.7. Il recente *boom* delle emissioni cinesi non è ancora tale da togliere all'Europa, che ha dato origine alla rivoluzione industriale, ed agli USA che l'hanno portata ai massimi livelli, il primato storico che lascia sulle coscienze dei Paesi sviluppati la responsabilità dei cambiamenti climatici per ancora molto tempo.

Figura 3.7. Emissioni cumulative percentuali globali (fonte: Global Carbon Project (cit.))
[La figura si trova nel database grafico GCP come *s19_2018_Cumulative_by_country.png*]



Tuttavia, nel negoziato internazionale, la valutazione delle responsabilità dei singoli paesi viene valutata mediante un numero maggiore di parametri che rappresentiamo nelle Figg.

[45] Scientific American, 2018, *How the "Carbon Budget" is causing problems. Confusion over how much CO_2 can be emitted could undermine global climate action,* Pubblicato il 22 maggio 2018, cita le fonti principali dei lavori scientifici sul *Carbon Budget* tra cui: AA.VV., 2018, *Global Carbon Budget 2017,* Earth Syst. Sci. Data, 10, pp. 405–448, 2018

[46] IPCC, 2018, *Draft SR15 Summary for policymakers*, pubblicato in forma non ufficiale il 20 gennaio 2018, recentemente aggiornato in una versione del 4 giugno, documentato in: http://www.comitatoscientifico.org/temi%20CG/documents/ipccspm1,50218.pdf

3.8 e 3.9: le emissioni storiche, la produzione, il consumo, il PIL e la popolazione. È importante anche la produzione di CO_2 pro capite che, sia pure in forma di rapporti tra un flusso e uno *stock* demografico, mette molto bene in luce problemi come l'uso efficiente dell'energia, il corretto uso dei *sink* forestali e, soprattutto, il forte divario in termini di giustizia distributiva tra Nord e Sud del mondo, ma anche all'interno di ciascun Paese.

Figura 3.8. Emissioni cumulative percentuali globali. Il PIL è dato in Market Exchange Rates (MER) e Purchasing Power Parity (fonte: Global Carbon Project (cit.))

[La figura si trova nel ppt GCP come *slide 15*]

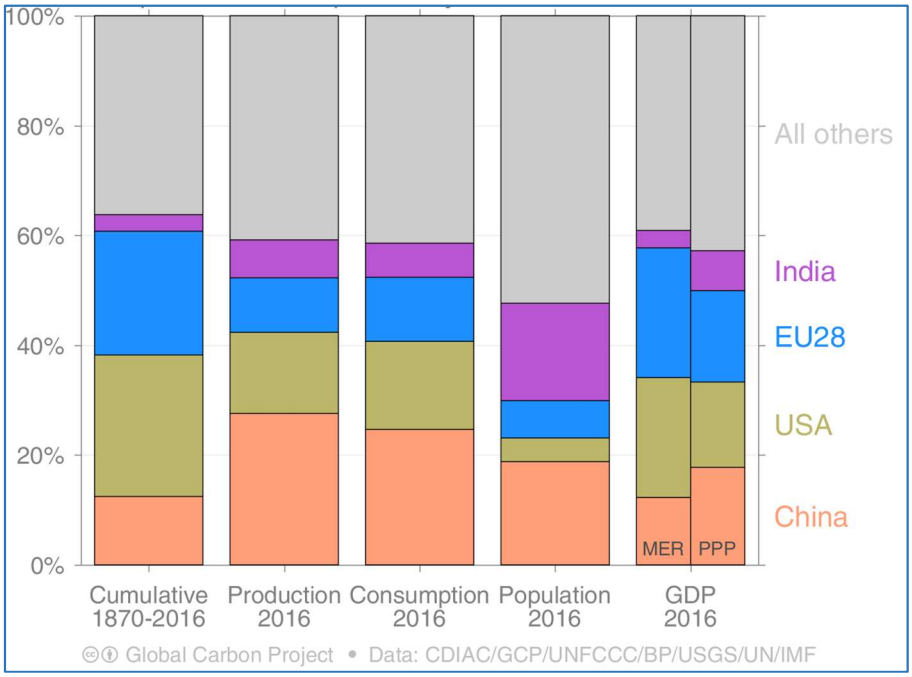
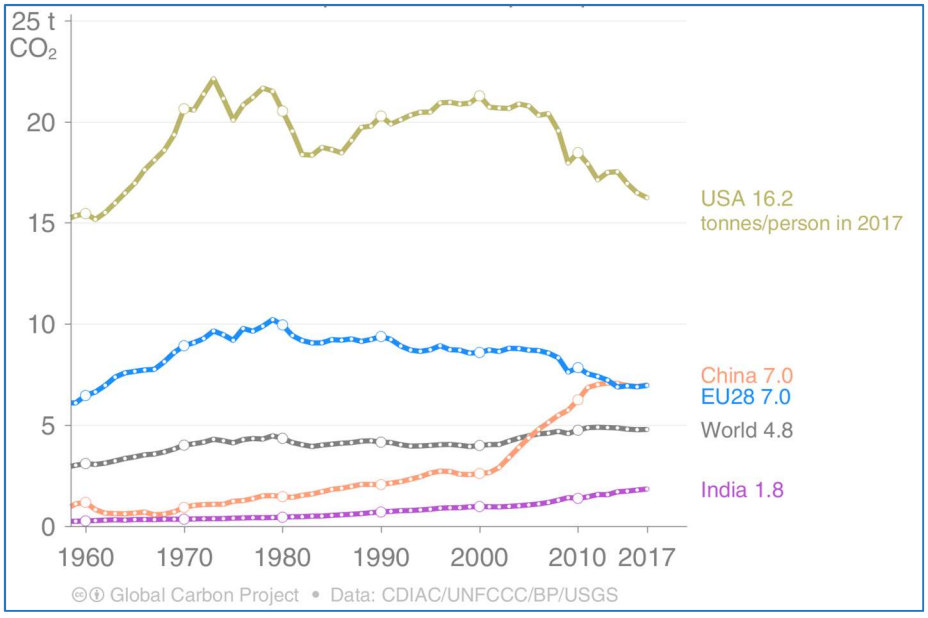


Figura 3.9. Emissioni pro-capite dei principali emettitori (fonte: Global Carbon Project (cit.))

[La figura si trova nel database grafico GCP come *s13_2018_Top_FF_Emitters_percapita.png*]



3.2. Produttività ed intensità carboniche globali

Il parametro di controllo adottato dall'OECD per l'*assessment* della *green economy* è la produttività carbonica cioè il PIL prodotto per ogni unità in peso di CO_2 generata. Si tratta di un rapporto tra due flussi su base annuale per il quale risulta interessante seguire l'andamento delle serie storiche. Il dato è calcolabile a livello mondiale e separatamente per ogni paese.

Più comune è la rappresentazione del rapporto inverso, l'intensità carbonica, cioè l'importo di CO_2 in peso che viene generato per ogni unità monetaria di PIL prodotta, che la Fig. x.y. rappresenta in *Purchasing Power Parity* (PPP) in dollari US 2010, per assicurare la correttezza nella comparazione dei dati nazionali. Di questa grandezza ci si attende una rapida decrescita in funzione della decarbonizzazione dell'economia. Il dato globale è in Fig. 3.10. L'intensità carbonica decresce rapidamente non per effetto dell'abbattimento delle emissioni ma per la rapida crescita del PIL. Simmetricamente abbiamo una crescita rapida globale della produttività carbonica.

Il dato globale è una combinazione normalizzata delle intensità (produttività) dei vari paesi. È quindi del massimo interesse confrontare i dati nazionali (Fig. 3.11). Prevale la Cina che, seppure in rapido miglioramento, evidenzia la ancora limitata efficienza del suo sistema industriale.

Figura 3.10. Intensità carbonica e andamento delle emissioni (fonte: Global Carbon Project (cit.))

[La figura si trova nel database grafico GCP come *s23_2018_carbon_intensity_of_economy.png*

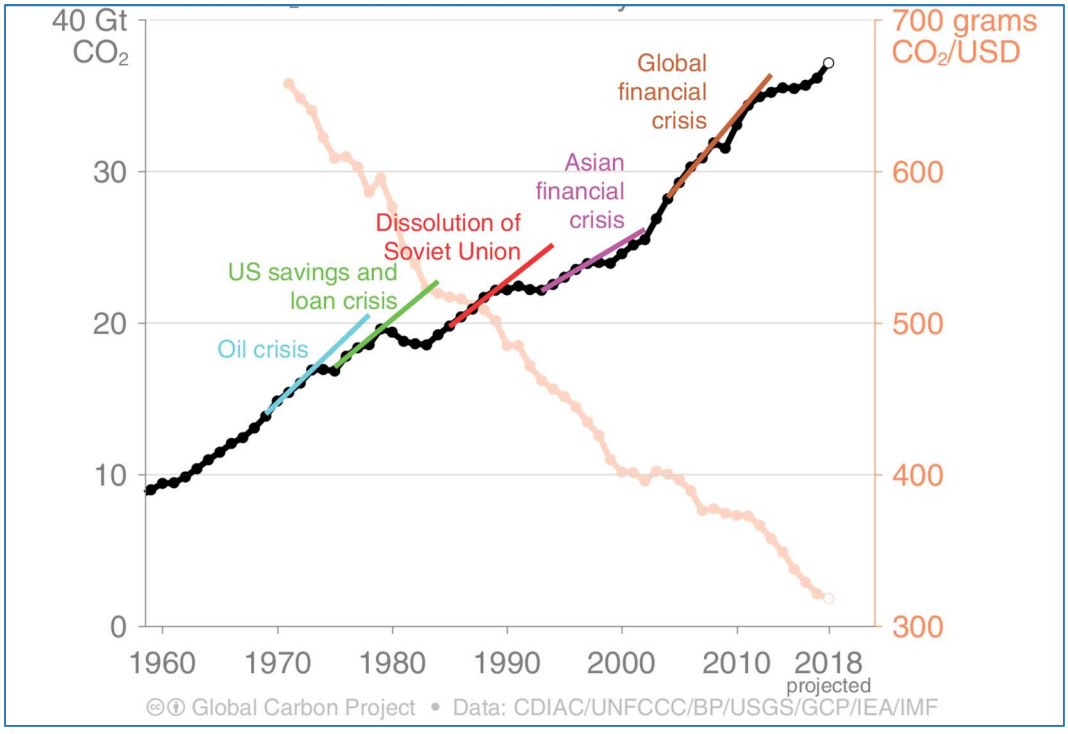
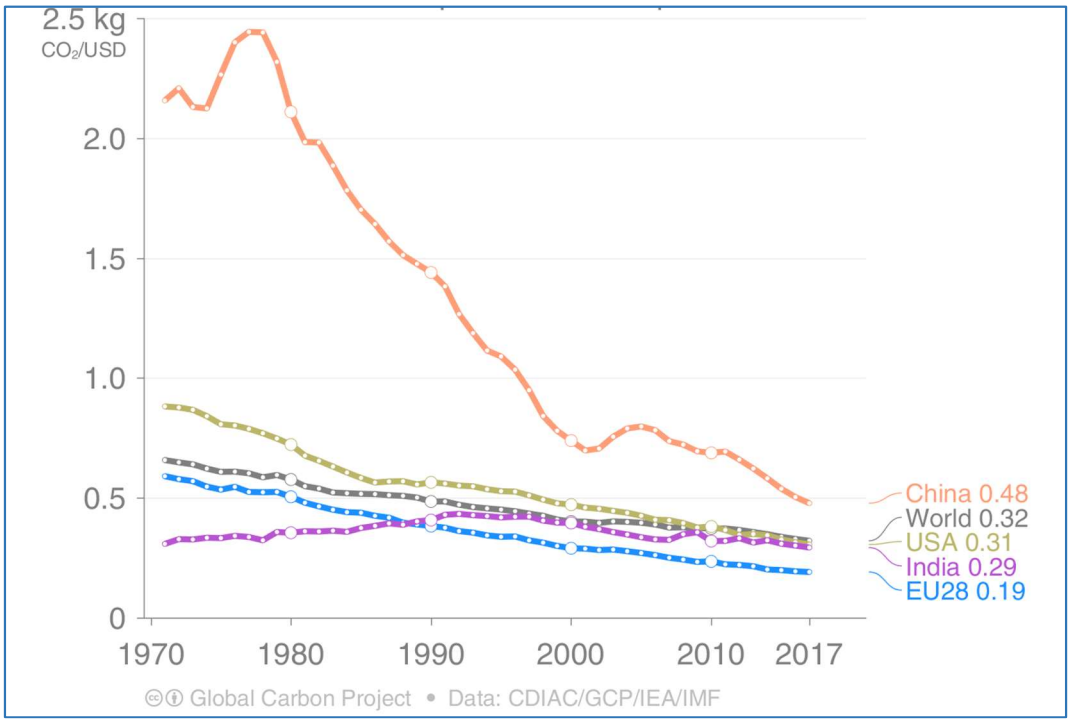


Figura 3.11. Intensità carbonica dei maggiori emettitori (fonte: Global Carbon Project (cit.))

[La figura si trova nel database grafico GCP come *s14_2018_Top_FF_Emitters_perGDP.png*]



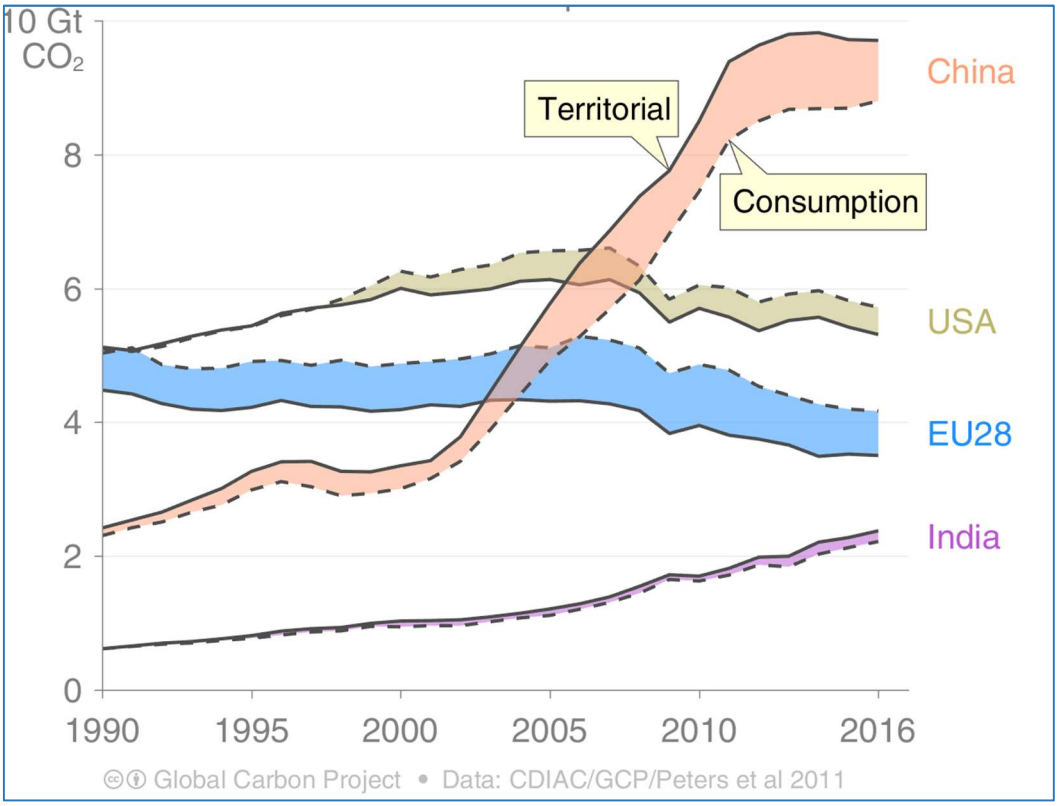
Tuttavia il dato evidenzia una delle maggiori iniquità che si manifesta nei rapporti internazionali in fatto di clima. La produttività carbonica di paesi come la Cina è bassa anche per effetto del cosiddetto *carbon leakage*. La Cina si fa carico della produzione di merci di cui beneficiano altri paesi. Questi ultimi scaricano corrispondenti quote dal conto delle loro produzioni di CO_2 ed appaiono più virtuosi di quanto non siano effettivamente. Il conto del cosiddetto BEET, *Balance of Emissions (carbon) Embodied in Trade*[47], torna se spostiamo il calcolo dal lato della produzione delle merci, che comprende le merci esportate, a quello del loro consumo e del relativo fardello di CO_2. Il risultato è in Fig. 3.12.

La Cina ha una produzione territoriale (linea continua) superiore al suo consumo, ovvero alla sua cosiddetta impronta carbonica (linea tratteggiata). Lo stesso vale per l'India, mentre i paesi occidentali rappresentati in figura godono di una situazione opposta, Europa compresa. L'allocazione delle emissioni di CO_2 di origine fossile al consumo fornisce una prospettiva diversa di lettura dei rapporti commerciali, degli effetti della globalizzazione e dei fenomeni come la delocalizzazione delle produzioni industriali più inquinanti, a più bassa produttività carbonica. Gli Stati Uniti e l'UE28 sono importatori netti di emissioni incorporate nelle merci, mentre la Cina e l'India sono esportatori netti

[47] IISD, 2008, *Embodied Carbon in Traded Goods*, Trade and Climate Change Seminar June 18–20, 2008 Copenhagen, Denmark

Figura 3.12. Intensità carbonica dei maggiori emettitori (fonte: Global Carbon Project (cit.))

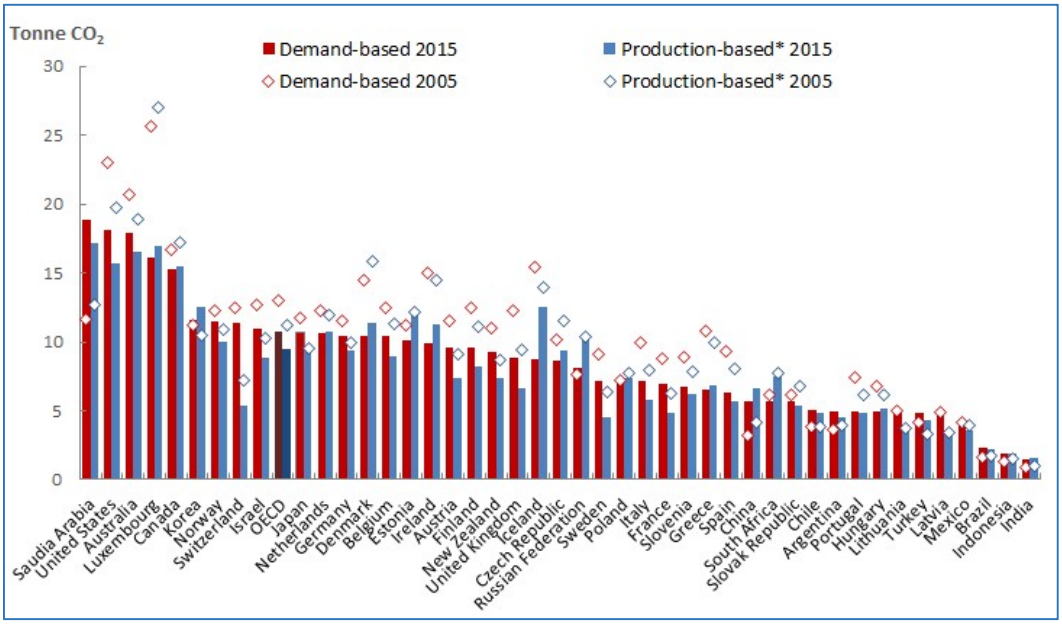
[La figura si trova nel database grafico GCP come *s56_2018_prodcons_top4.png*]



L'OECD fornisce il dato su scala mondiale rappresentato in funzione delle emissioni di CO_2 pro capite per il gruppo dei paesi più attivi negli scambi internazionali (Fig. 3.13)[48].

Figura 3.13. Paesi esportatori ed importatori di emissioni di CO_2 (fonte OECD, 2019)

[La figura si trova in: OECD, 2019 cit.]

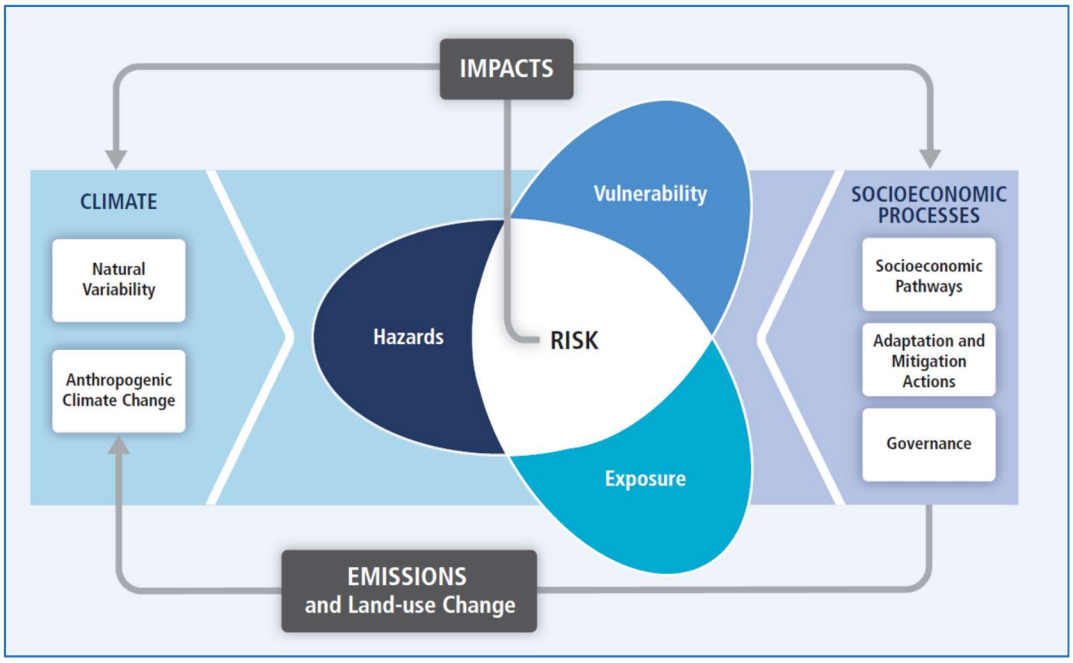


[48] OECD, 2019, *Carbon dioxide embodied in international trade*, OECD Structural Analysis Statistics: Input-Output database in: *http://www.oecd.org/sti/ind/carbondioxideemissionsembodiedininternationaltrade.htm*

4. FOCUS: GLI IMPATTI ECOSISTEMICI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Le definizioni di principio per la valutazione degli impatti del cambiamento climatico sono contenute nel contributo che il secondo gruppo di lavoro ha preparato per il quinto *Assessment Report* dell'IPCC del 2014[49]. Nella figura 4.1 l'IPCC illustra lo schema concettuale sistemico che è stato adottato dal gruppo di lavoro.

Figura 4.1. Lo schema concettuale di generazione degli impatti climatici (fonte, IPCC, 2014 (cit.))



Vengono accreditate le seguenti definizioni:

- Pericolo (*hazard*): il potenziale verificarsi di un evento fisico o di una tendenza fisica o umana o di un impatto fisico che può causare la perdita di vita, ferite o altri impatti sulla salute, nonché danni e perdita di proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, fornitura di servizi ecosistemici e risorse ambientali.
- Esposizione: presenza di persone, mezzi di sostentamento, specie o ecosistemi, funzioni, servizi e risorse ambientali, infrastrutture o beni economici, sociali o culturali in luoghi e ambienti che potrebbero essere influenzati negativamente.

[49] I materiali da consultare sono i seguenti: IPCC AR5 WG II, 2014, AR5 Climate Change 2014:

- *Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Full Report, Part A, in: *https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/wgiiar5-parta_final.pdf;*
- *Summary for Policymakers,* in italiano in: *http://www.comitatoscientifico.org/temi%20cg/documents/ipcc%20ar5%20wgii%20spm%20ita.pdf*
- *Technical Summary*, in: *https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/wgiiar5-ts_final.pdf*

- Vulnerabilità: la propensione o predisposizione agli effetti negativi degli impatti. Comprende la sensibilità o la suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte e adattarsi.
- Impatti: effetti sui sistemi naturali e umani, su vite, sostentamento, salute, ecosistemi, economie, società, culture, servizi e infrastrutture dovuti ai cambiamenti climatici o agli eventi climatici pericolosi.
- Rischi: il potenziale di conseguenze in cui è in gioco qualcosa di valore e dove il risultato è incerto, riconoscendo la diversità dei valori tra comunità e territori diversi. Il rischio è spesso rappresentato come probabilità di accadimento di eventi o tendenze pericolosi moltiplicata per gli impatti se questi eventi o tendenze si verificano.

Negli ultimi decenni, i cambiamenti climatici hanno causato impatti sui sistemi naturali e umani in tutti i continenti. Allo stato delle conoscenze l'evidenza dell'impatto dei cambiamenti climatici è più forte e completa per i sistemi naturali. Alcuni impatti sui sistemi umani sono stati attribuiti ai cambiamenti climatici, con un contributo più o meno distinguibile da altre influenze.

In molte regioni, il cambiamento del regime delle precipitazioni o lo scioglimento della neve e del ghiaccio stanno alterando i sistemi idrologici, influenzando le risorse idriche in termini di quantità e qualità. I ghiacciai continuano a ridursi quasi in tutto il mondo a causa dei cambiamenti climatici, influenzando il deflusso delle risorse idriche a valle. Il cambiamento climatico sta causando il riscaldamento e lo scongelamento del permafrost in regioni ad alta latitudine e ad alta quota.

Molte specie terrestri, di acqua dolce e marine, hanno modificato in risposta ai cambiamenti climatici la loro distribuzione geografica, le attività stagionali, i modelli di migrazione, la loro numerosità e le interazioni tra le specie. Anche se solo poche recenti estinzioni di specie sono state finora attribuite ai cambiamenti climatici, si deve osservare che, negli ultimi milioni di anni, cambiamenti climatici globali naturali più lenti di quelli attuali hanno causato cambiamenti significativi nell'ecosistema ed estinzioni di specie.

Gli impatti negativi dei cambiamenti climatici sui raccolti sono stati maggiori degli impatti positivi ed hanno influito negativamente sui raccolti di frumento e granoturco per molte regioni e nell'aggregato globale. Sulla resa del riso, che è un altro alimento di importanza globale, gli effetti sono inferiori rispetto alle altre colture. Gli impatti osservati riguardano principalmente gli aspetti produttivi della sicurezza alimentare. Diversi recenti rapidi aumenti dei prezzi alimentari, conseguenti ad eventi climatici

estremi nelle principali regioni produttrici, indicano una sensibilità dei mercati a tali eventi.

Fortunatamente i danni alla salute umana causati dai cambiamenti climatici sono relativamente ridotti rispetto ad altri fattori di *stress,* anche se non sono ben quantificati. Tuttavia, c'è stata una maggiore mortalità correlata alle ondate di calore e una diminuzione della mortalità attribuita al freddo in alcune regioni. I cambiamenti locali della temperatura e delle piogge hanno alterato la distribuzione di alcuni vettori acquatici di malattie. Le differenze di vulnerabilità e di esposizione derivano da fattori non climatici, socioeconomici e demografici, e da disuguaglianze multifattoriali prodotte da processi di sviluppo irregolari. Le persone socialmente, economicamente, culturalmente, politicamente, istituzionalmente o altrimenti emarginate sono particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici e si segnalano anche pericoli derivanti da alcune delle risposte di adattamento e mitigazione. Tali processi sociali comprendono la discriminazione di genere, di classe, di etnia, di età e di disabilità.

Gli impatti di recenti eventi climatici estremi, come ondate di calore, siccità, inondazioni, cicloni e incendi, rivelano vulnerabilità ed esposizioni di alcuni ecosistemi e di molte comunità umane all'attuale variabilità climatica. Gli impatti di tali estremi legati al clima comprendono l'alterazione degli ecosistemi, l'interruzione della produzione alimentare e dell'approvvigionamento idrico, danni alle infrastrutture e agli insediamenti, morbilità, mortalità e conseguenze per la salute mentale e il benessere umano. Questi impatti sono più gravi per effetto di una significativa mancanza di preparazione per i rischi generati dall'attuale variabilità climatica. I pericoli legati al clima esacerbano altri fattori di *stress*, spesso con esiti negativi per i mezzi di sussistenza, specialmente per le persone che vivono in povertà. I pericoli legati al clima influenzano la vita delle persone povere direttamente attraverso l'impatto sui mezzi di sostentamento, la riduzione dei raccolti o la distruzione delle case e indirettamente, ad esempio, attraverso l'aumento dei prezzi dei prodotti alimentari e l'insicurezza alimentare. Anche i conflitti violenti aumentano la vulnerabilità ai cambiamenti climatici. Conflitti violenti su larga scala danneggiano le risorse che facilitano l'adattamento, comprese le infrastrutture, le istituzioni, le risorse naturali, il capitale sociale e le opportunità di sostentamento.

I dati dimostrano che gli eventi estremi hanno sviluppato negli ultimi decenni una tendenza a gravare sulla collettività con costi crescenti. Secondo Figueres[50], Segretario della UNFCC a Parigi 2015, i disastri innescati dal clima nel 2017 sono costati

[50] C. Figueres et al., 2018, *Emissions are still rising: ramp up the cuts*, Nature 564, 27-30 (2018), in: *https://www.nature.com/articles/d41586-018-07585-6/*

all'economia globale 320 GUS$ e circa 10.000 vite perdute[51]. I costi totali dei disastri del 2018, inclusi i tifoni, gli uragani, le ondate di caldo e gli incendi che hanno devastato l'Europa e gli Stati Uniti, sono fortunatamente inferiori. È probabile che questi eventi contribuiscano a un aumento esponenziale dei danni, stimabili a circa 2.200 GUS$ negli ultimi due decenni[52]. Il recente Rapporto speciale dell'IPCC SR15 (cit.) prevede impatti devastanti anche solo con un'anomalia di 2 °C a fine secolo. Si tratterebbe della perdita in quasi tutto il mondo delle barriere coralline e di ondate di calore estreme che metterebbero in pericolo la vita di più di un terzo della popolazione mondiale.

Il clima è anche la principale causa di spostamenti: gli ultimi dati mostrano che il 76% dei 31,1 milioni di sfollati durante il 2016 sono stati costretti lontano dalle loro case a seguito di eventi climatici.

Secondo il WHO l'inquinamento dell'aria *indoor* e *outdoor*, è causa del 10% dei decessi a livello mondiale. Le morti sono concentrate in modo schiacciante nei paesi a basso e medio reddito. L'inquinamento dell'acqua causa perdite umane pari a non meno della metà di quelle dell'aria[53]. Solo in questo ultimo anno l'attenzione dei media è stata richiamata sul grave inquinamento da microplastiche nel mare e negli alimenti e, in piena emergenza, nessuno sembra in grado di affrontare questa drammatica distopia per tutte le specie viventi.

Lo sforzo di ricerca maggiore è oggi dedicato alla previsione di quello che succederà con il progredire del riscaldamento terrestre. I conti economici sono difficili e differenziati a seconda dell'evoluzione dei modelli di sviluppo e la distribuzione del danno sarà inevitabilmente ineguale e forzatamente iniqua. Secondo alcuni scenari, gli impatti e i costi saranno molto più gravi di quanto non potrebbe sembrare dalle differenze, apparentemente piccole, di gradi o frazioni di grado centigrado, delle anomalie termiche a fine secolo. A 2 °C, le calotte polari inizieranno a disfarsi, portando, nel corso dei secoli a decine di metri di innalzamento del livello del mare. Altri 400 milioni di persone soffriranno di scarsità d'acqua, le grandi città della fascia equatoriale del pianeta diventeranno invivibili e anche nelle latitudini settentrionali le ondate termiche uccideranno migliaia di persone ogni estate. Ci sarebbero 32 volte più ondate di calore

[51] Petra Low, 2018, *Hurricanes cause record losses in 2017 - The year in figures*, in: *https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/natural-disasters/2017-year-in-figures.html*

[52] UN ISDR; 2018, *Economic Losses, Poverty and Disasters 1998-2017*, in: *https://www.unisdr.org/files/61119_credeconomiclosses.pdf*

[53] AA.VV., 2017, *The Lancet Commission on Pollution and Health*, in: *http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(17)32345-0.pdf*

estreme in India, ognuna di durata cinque volte più alta, cui sarebbero esposte 93 volte più persone rispetto ad oggi.

A 3 °C, l'Europa meridionale sarebbe in condizioni di siccità permanente e la siccità media in America centrale durerebbe 19 mesi in più. Nell'Africa settentrionale, la cifra è di 60 mesi in più: cinque anni.

A 4 °C, ci sarebbero 8 milioni di casi in più di febbre dengue ogni anno nella sola America Latina e andremmo a rischio di crisi alimentari globali ogni anno. I danni provocati dalle inondazioni dei fiumi sarebbero cresciuti trenta volte in Bangladesh, venti in India e fino a sessanta nel Regno Unito. A livello globale, i danni provocati dai disastri naturali legati al clima potrebbero superare di più del doppio la ricchezza che esiste oggi nel mondo. Conflitti interetnici e guerre per le risorse potrebbero raddoppiare questa stima[54].

4.1. La strategia di Sendai 2015-2030

Per la riduzione dei rischi di catastrofi, non solo climatiche, è stato adottato il 18 marzo 2015 il *Sendai Framework 2015-2030*[55]. È lo strumento che succede allo *Hyogo Framework 2005-2015*. Il suo obiettivo è costruire la resilienza delle nazioni e delle comunità ai disastri. Per la valutazione dei progressi globali nel raggiungimento del risultato sono stati concordati sette obiettivi globali:

1. Ridurre sostanzialmente la mortalità per disastri globali entro il 2030.
2. Ridurre sostanzialmente il numero di persone colpite a livello globale entro il 2030.
3. Ridurre la perdita economica diretta del disastro in relazione al PIL globale entro il 2030.
4. Ridurre sostanzialmente i danni alle infrastrutture critiche e l'interruzione dei servizi di base tra cui le strutture sanitarie ed educative.
5. Aumentare sostanzialmente il numero di paesi con strategie di riduzione del rischio di catastrofi nazionali e locali entro il 2020.
6. Migliorare sostanzialmente la cooperazione internazionale con i paesi in via di sviluppo attraverso adeguati sostegni ad integrazione delle loro attività nazionali.
7. Aumentare sostanzialmente la disponibilità e l'accesso ai sistemi di allarme rapido per pericoli di qualsiasi origine, le informazioni per le persone e le valutazioni sul rischio di catastrofi.

[54] David Wallace-Wells, 2019, *The Uninhabitable Earth: A Story of the Future*, Allen Lane
[55] UN, 2015, Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, in: *https://www.unisdr.org/we/coordinate/sendai-framework*

4.2. Impatti economici dei cambiamenti climatici

Il cambiamento climatico impatta ogni territorio in ogni paese in ogni continente. Sta già costando alle economie nazionali e influenzando le vite delle persone e delle comunità, e ancor più costerà domani. *Nature*[56] stima che, se le temperature aumentassero di soli 2 °C, il Prodotto Interno Lordo globale scenderebbe del 15% a fine secolo. A +3 °C, il PIL globale scenderebbe del 25%. Se non si fa nulla, le temperature saliranno di 4 °C entro il 2100 e il PIL mondiale si ridurrà di oltre il 30% rispetto ai livelli del 2010. È peggio della Grande depressione del secolo scorso, dove il commercio globale è diminuito del 25% ma, questa volta, il danno sarebbe permanente.

La *International labour Organization*, ILO, stima che il cambiamento climatico minaccia 1,2 miliardi di posti di lavoro nel mondo[57].

I modelli meteorologici stanno cambiando, i livelli del mare stanno aumentando, gli eventi meteorologici stanno diventando più estremi e le emissioni di gas serra sono ora ai massimi livelli nella storia. Allo stato attuale degli impegni di mitigazione, la temperatura superficiale media mondiale dovrebbe superare i 3 °C entro questo secolo. Anche se è ormai certo che le persone più povere e vulnerabili saranno maggiormente colpite, nessuno verrà risparmiato.

I danni provocati dai cambiamenti climatici si vanno accumulando in maniera preoccupante e le economie più sviluppate ne stanno già pagando le spese. Ci sono indiscusse evidenze che indicano che il cambiamento climatico ha già provocato eventi con gravi o gravissime conseguenze economiche, come i fenomeni meteorologici estremi o gli aumenti di livello del mare, senza tacere delle preoccupanti minacce alla produzione agricola in molte parti del mondo.

Gli impatti economici dei cambiamenti climatici su scala globale si andranno manifestando in funzione dei percorsi che verranno intrapresi nel mondo per reagire all'imperativo doppio ed interdipendente della mitigazione delle emissioni e dell'adattamento agli impatti del riscaldamento globale. Le prime stime degli economisti sugli impatti economici dei cambiamenti climatici sono state piuttosto incerte e variabili[58,59] ma calcoli più recenti hanno avvertito che i modelli economici correnti

---

[56] Nature, 2018, *Large potential reduction in economic damages under UN mitigation targets*, in: *https://web.stanford.edu/~mburke/papers/BurkeDavisDiffenbaugh2018.pdf*

[57] UN ILO, 2018, *World Employment and Social Outlook*, in: *https://www.ilo.org/weso-greening/#Intro-1*

[58] Nordhaus W. D., 2007, *A review of the Stern review on the economics of climate change*, Journal of Economic Literature, 101(407), pp. 920–37

[59] Tol R. S., 2012, *On the uncertainty about the total economic impact of climate change*, Environmental and Resource Economics, 53, pp. 97–116.

potrebbero sottostimare seriamente gli impatti potenzialmente catastrofici dei cambiamenti climatici [60].

In effetti, ci sono stati relativamente pochi tentativi di esaminare l'intero globale, disaggregato e intertemporale impatto del cambiamento climatico sull'economia globale utilizzando modelli economici su larga scala, capaci di tener conto degli scambi internazionali, degli effetti di *feedback* e delle interazioni tra paesi. Ad oggi, data la complessità computazionale, ci si è in gran parte concentrati sui singoli effetti nazionali nei grandi paesi o regioni, senza utilizzare previsioni dell'andamento nel tempo dei prezzi al di là del dato sui valori attuali e passati, ampiamente incongruente con gli effetti attesi dei cambiamenti climatici e degli effetti commerciali risultanti[61].

Le previsioni sugli impatti futuri dei cambiamenti climatici sull'economia sono altrettanto numerose quanto gli autori delle medesime. Riportiamo i risultati di un recente studio che calcola gli impatti economici in funzione degli effetti sulla crescita del danno complessivo evitato, al netto della spesa per la mitigazione e l'adattamento. Lo studio ha il pregio di rapportarsi agli scenari RCP dell'IPCC AR5 (cit.), che disegnano i profili delle emissioni di gas serra da ora alla fine del secolo in funzione dell'anomalia termica fissata per la fine del secolo[62]. Calcola inoltre i vantaggi dell'applicazione degli Accordi di Parigi che, se si riuscirà a tenere l'anomalia termica media entro i 2 °C a fine secolo, e assumendo come linea base di riferimento lo scenario RCP 8.5 che ci porterebbe a fine secolo a 4 °C di anomalia termica. La realizzazione degli Accordi consentirà un risparmio globale al 2100 di circa 17.500 GUS$. Nel caso di violazione del limite di Parigi, il modello prevede che i danni più gravi saranno a carico dell'Africa sub-sahariana e del Sud Est asiatico.

I dati presentati di seguito in Fig. 4.2 sono stati calcolati con riferimento ad un percorso delle emissioni che rispecchia lo scenario RCP 6.0 dell'IPCC AR5 e porta a fine secolo a + 3 °C di anomalia termica, all'incirca quanto accadrebbe se gli impegni attuali di mitigazione, gli NDC dell'Accordo di Parigi, non venissero aumentati quanto è necessario. Il modello consente di calcolare gli impatti su base territoriale per ogni paese e per le principali macroregioni (Tab. x.y.). Le elaborazioni dello studio qui presentato, basate su una serie di ipotesi e sulla formulazione di letteratura dei danni provocati

[60] Stern N., 2016, *Economics: Current climate models are grossly misleading*, Nature, 530, pp. 407–409, in: *https://doi.org/10.1038/530407a*

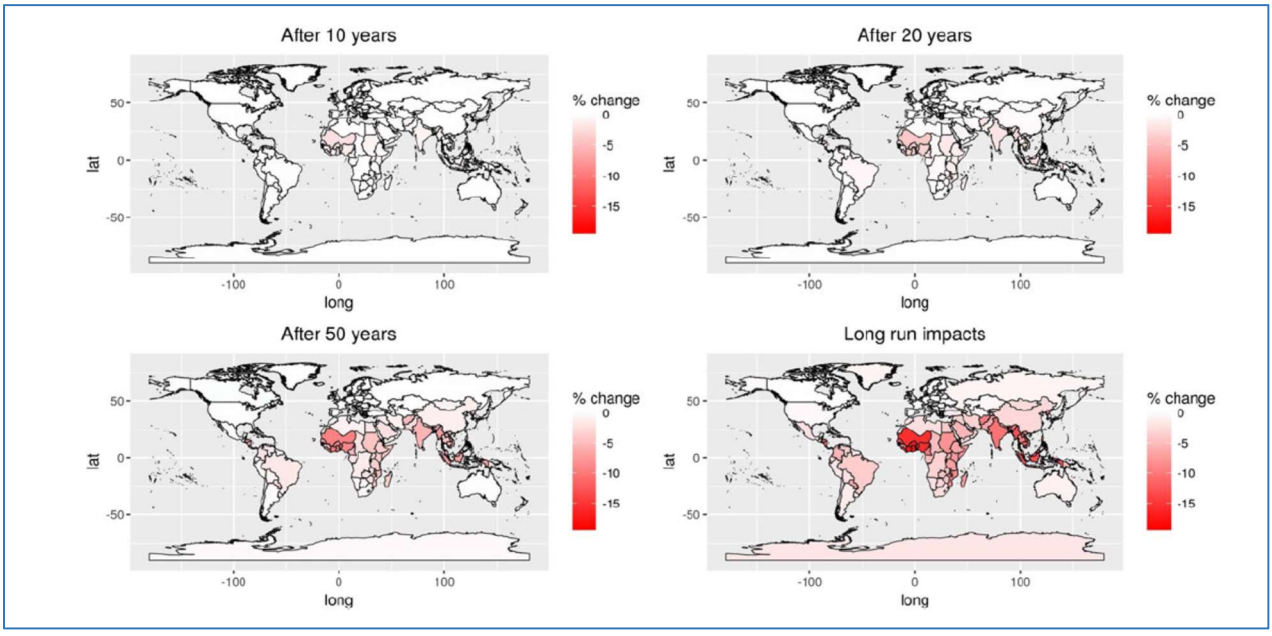
[61] Kompas T. e Ha P. V., 2017, *The effects of climate change and trade barriers in large dimensional Modelling*, 3rd International Workshop on Financial Markets and nonlinear Dynamics, Paris, in: *http://www.fmnd.fr/10/program.html, Accessible at: https://ssrn.com/abstract=3222092*

[62] Kompas T. et al., 2018, *The effects of climate change on GDP by country and the global economic gains from complying with the Paris Climate Accord*, Earth's Future, 6, pp. 1153–1173, in: *https://doi.org/10.1029/2018EF000922*

localmente dal riscaldamento terrestre[63], mostrano chiaramente che gli effetti del riscaldamento globale variano a seconda del tempo, della regione e dei settori economici, ma tendono ad aumentare nel tempo e peggiorano molto nei paesi africani e asiatici relativamente poveri, dove è più grave la perdita di PIL, come del resto in tutti i paesi vicini all'equatore. A conti fatti, a medio termine, nonostante alcuni vantaggi minori in alcuni paesi europei, con il riscaldamento globale a 3 °C le perdite dominano in gran parte del mondo.

Figura 4.2. Effetti del Global warming a 3°C sulla crescita annua del PIL (fonte: Earth's Future, 2018)

[da Figura 1della fonte citata]



Utilizzando il valore del PIL nel 2017 (dato IMF) come anno base, la perdita potenziale approssimativa globale è stimata in 9.594 GUS$ per anno, pari a circa il 3% del PIL globale per il riscaldamento a 3 °C. A 4 ° C, le perdite aumentano significativamente, a 23.149 GUS$ per anno. Le maggiori perdite economiche, in tutti i casi e per tutti gli aumenti di temperatura, si verificano nell'Africa sub-sahariana, in India e nel Sud-Est asiatico (Tab. 4.1).

È bene tener conto del fatto che in queste previsioni non è possibile includere gli effetti dei disastri naturali o degli eventi meteorologici estremi che si verificano di anno in anno. I costi di questi eventi possono essere considerevoli, come già si vede dai consuntivi di quanto è accaduto finora. I modelli calcolano invece gli impatti del sollevamento del livello del mare, dei cambiamenti nella produttività agricola e dei principali impatti sulla salute umana. In effetti, non sono calcolati alcuni impatti significativi del riscaldamento

[63] Roson R. et al., 2012, *Climate change and economic growth: Impacts and interactions*, International Journal of Sustainable Economy, 4, pp. 270–285.

globale come l'inquinamento atmosferico, le perdite di biodiversità, la diffusione di specie invasive, i cambiamenti nel mix energetico né i costi dei principali flussi migratori attribuibili alla crisi climatica.

Questo tipo di difficoltà è comune a gran parte dei tentativi di associare valori economici o monetari ai fattori *non-market* comuni a tutta la tematica ecologica e quindi anche ai cambiamenti climatici ed ai loro impatti. Soluzioni come quelle dei costi di riparazione del danno o della spesa assicurativa hanno la loro efficacia ma non sono sempre possibili né sempre esaurienti. Che dire infatti di eventi irreversibili come la perdita di vite umane, la scomparsa delle specie viventi o la migrazione di intere popolazioni a causa della siccità, della scarsità d'acqua, dell'indifendibilità degli insediamenti?

Ci deve peraltro preoccupare il fatto che, quanto non rappresentato in termini economici e monetari, non sembra capace di toccare la sensibilità dei decisori politici e che quindi, tutto quanto si riesce a fare per valorizzare economicamente i fattori *non-market*, se basato su considerazioni scientifiche serie e condivise, può risultare di grande aiuto.

Tabella 4.1. Effetti a lungo termine delle perdite economiche in GUS$/anno per le diverse anomalie termiche a fine secolo (fonte: Earth's Future, 2018)

[da Tabella A1 della fonte citata]

a) Macroregioni

	4°C	3°C	2°C
World total	−23,149.18	−9,593.71	−5,659.47
Sub-Saharan Africa	−8,073.68	−2,889.66	−1,927.78
India	−4,484.96	−2,070.06	−1,149.36
Southeast Asia	−4,158.88	−2,073.09	−1,166.23
China	−1,716.91	−701.75	−394.59
Latin America	−1,371.81	−576.65	−259.82
Rest of South Asia	−1,157.92	−469.98	−283.78
Middle East and North Africa	−1,032.27	−451.96	−241.12
United States of America	−697.77	−223.83	−168.48
Japan	−253.18	−54.43	−23.02
Mexico	−127.70	−55.79	−20.88
Australia	−117.42	−36.87	−23.72
South Korea	−81.44	−14.72	−7.86
Rest of Oceania	−39.65	−14.97	−6.96
Russian Federation	−24.49	−10.88	−6.53
Rest of Former Soviet Union	−9.93	−5.31	−3.85
EFTA	−8.72	−3.01	−2.16
New Zealand	−4.19	−0.77	−0.09
East Asia	−3.35	−1.27	−0.78
Rest of Eastern Europe	1.49	1.28	0.18
Rest of Europe	3.15	1.38	0.63

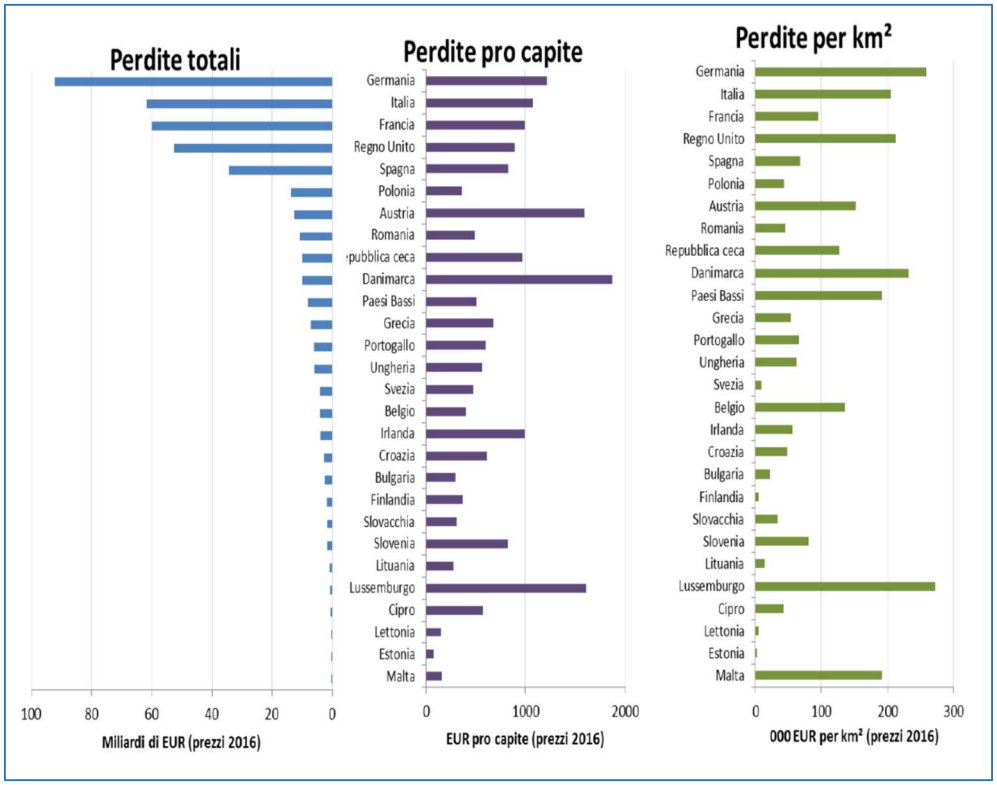
b) Paesi europei e Canada

	4°C	3°C	2°C
World total	−23,149.18	−9,593.71	−5,659.47
United Kingdom	17.78	4.06	0.35
Germany	23.85	5.38	2.46
France	26.92	7.11	1.80
Italy	32.42	12.20	7.26
Canada	45.29	11.40	5.20
Rest of EU25	64.19	18.47	9.68

Per la regione europea la Commissione ha prodotto una rendicontazione dei danni subiti nel periodo 1980 – 2016[64] che ammontano in totale a 436 G€, con l'avvertenza che si tratta di una stima per difetto perché spesso i dati dei singoli paesi non vengono comunicati né adeguatamente documentati. L'Italia è al secondo posto per il danno totale subito (Fig 4.3). Risulta inoltre che la gravità degli eventi estremi sia stata tale che il 70% delle perdite è stato causato da appena il 3% degli eventi[65].

Figura 4.3. Perdite totali e distribuzione del danno climatico pro-capite e per unità di superficie nei paesi europei tra 1980 e 2016 (fonte: EU EEA, 2019 cit.)

[prima figura del COM(2018) 738 final]

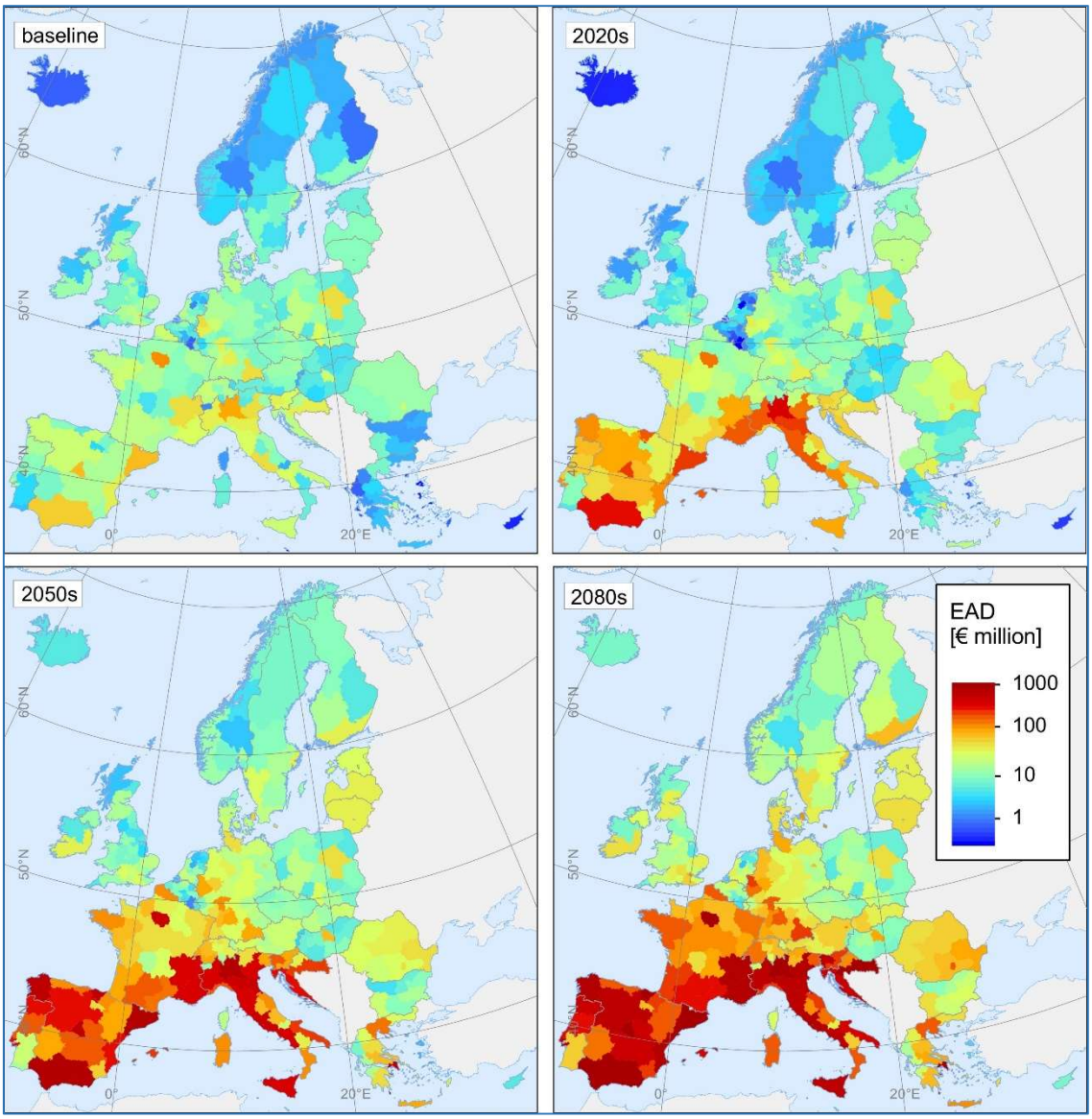


[64] EU EC, 2018, *Relazione al Parlamento Europeo e al Consiglio sull'attuazione della strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici*, COM(2018) 738 final

[65] EU EEA, 2019, *Impacts of extreme weather and climate related events in the EEA member countries (1980-2017)*, in: *https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/impacts-of-extreme-weather-and-1#tab-chart_2*

La Commissione europea valuta che, a politiche correnti, il prezzo da pagare ogni anno a causa dei cambiamenti climatici, calcolato solo per le infrastrutture critiche in Europa si decuplicherà entro la fine del secolo arrivando a 34 G€ con le maggiori perdite a carico dell'industria, dei trasporti e dell'energia[66]. Nessun paese europeo è immune dalle conseguenze dei cambiamenti climatici, come dimostrano le recenti ondate di calore e dagli incendi che hanno raggiunto la Svezia e la Federazione Russa. Tuttavia è inevitabile che il danno stimato sia fortemente correlato con la vulnerabilità dei territori (Fig.4.4).

Figura 4.4. Impatti attesi sulle infrastrutture critiche (EAD) a politiche invariate per ondate termiche estreme, alluvioni, siccità, incendi e tempeste di vento nel corso del secolo (fonte: EU JRC, 2018 cit.)
[Figura ad alta risoluzione disponibile in *https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0959378017304077-gr5_lrg.jpg*]



[66] EU JRC, 2018, *Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe*, Global Environmental Change 48, pp. 97–107, in: *https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/escalating-impacts-climate-extremes-critical-infrastructures-europe*

Per l'Europa nel suo insieme, il danno alle infrastrutture critiche per il benessere, la salute e la sicurezza, causato da ondate termiche estreme, alluvioni, siccità, incendi e tempeste di vento, espresso come percentuale degli investimenti fissi lordi a rischio, sale progressivamente dallo 0,12 attuale all'1,37% entro la fine secolo (Fig. x.y., cit.). Mentre nell'Europa settentrionale il danno climatico a fine secolo vale meno dell'1% degli investimenti annuali, nei paesi dell'Europa meridionale questo danno corrisponde a percentuali notevolmente superiori del capitale fisso annuale, in particolare per Italia (2,79%), Slovenia (3,01%), Portogallo (4,29%), Spagna (4,32%), Grecia (4,43%) e Croazia (5,21%).

Le conclusioni per l'Europa, accreditate da uno specifico progetto della Commissione, sono le seguenti:

- Le regioni mediterranee risentiranno degli impatti maggiori quali la mortalità umana dovuta al caldo, il *water shortage*, la perdita di habitat, la domanda di energia e gli incendi forestali.
- Le regioni costiere, per le anomalie tra 3,2 e 5,4 °C a fine secolo, potrebbero subire perdite di circa 39 G€ all'anno entro il 2050 e fino a 960 G€ all'anno alla fine del secolo[67].
- C'è il rischio di una consistente contrazione degli ecosistemi alpini anche entro i 2 ºC con danni al ciclo dell'acqua dolce, al turismo, alle comunità rurali e alle specie endemiche che hanno un habitat esclusivo in quegli ecosistemi.

Per quanto concerne gli impatti del clima sulle migrazioni verso l'Europa, uno studio americano conclude che le domande di asilo nell'UE sono storicamente correlate all'andamento delle temperature nei paesi d'origine[68]. Anche in uno scenario di emissioni moderate, come lo IPCC RCP 4.5, lo studio prevede che le domande di asilo aumenteranno del 30% a causa degli impatti climatici entro la fine del secolo, con un aumento medio di 100.000 domande all'anno.

L'Agenzia Europea per l'ambiente stima i costi economici, ambientali e sociali del mancato intervento contro i cambiamenti climatici in diversi settori dell'economia, in 100 G€ al 2020 e 250 G€ all'anno nel 2050, con aumenti pesanti entro gli anni '80 di questo

[67] EU EC, 2018, *Climatic and socioeconomic controls of future coastal flood risk in Europe*, in: *https://www.researchgate.net/publication/326996355_Climatic_and_socioeconomic_controls_of_future_coastal_flood_risk_in_Europe*

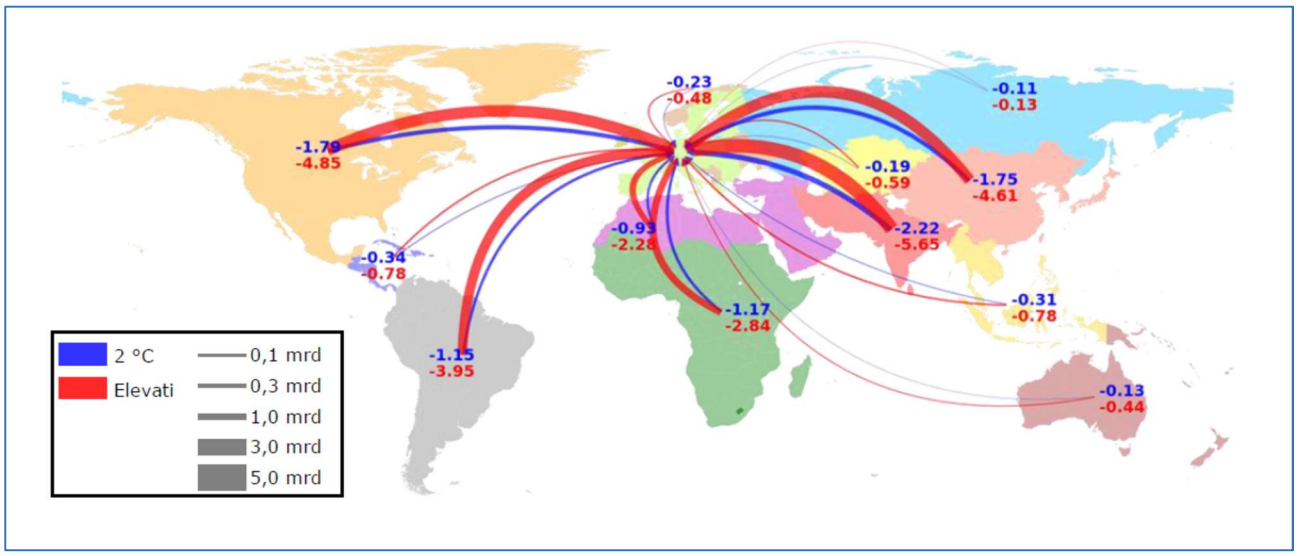
[68] Missirian A. et al., 2017, *Asylum applications respond to temperature fluctuations*, Science, Vol. 358, Issue 6370, pp. 1610-1614, in: *https://science.sciencemag.org/content/358/6370/1610.full*

secolo. Anche qui, come per i modelli economici degli impatti globali aggregati dei cambiamenti climatici a scala mondiale, non possono essere adeguatamente trattati gli impatti sull'ambiente fisico, sugli ecosistemi e i relativi servizi e sulla biodiversità. Incertezze e punti critici fanno sì che gli impatti futuri sono sicuramente sottostimati.

La Commissione ha infine raccolto una prima serie di dati su come gli impatti di natura climatica in altre parti del mondo possano influire sull'Europa attraverso gli scambi commerciali, le importazioni e le esportazioni. La mappa in Fig. 4.5 fornisce una valutazione delle perdite annue di PIL dell'UE dovute agli impatti di natura climatica nel resto del mondo, attraverso gli scambi internazionali. Le cifre inserite per le diverse regioni riflettono le perdite in uno scenario di emissioni elevate (in rosso) e in un mondo che rispetta il limite di 2 °C (in blu) entro la fine del secolo. La valutazione si riferisce solo a quattro tipi di impatto su produttività del lavoro, agricoltura, energia e alluvioni fluviali.

Figura 4.5. Effetti sul PIL annuo dell'UE (in G€) dovuti a impatti di natura climatica nel resto del mondo, attraverso gli scambi internazionali (fonte: EU EC, 2018cit.)

[Ricavata dalla fig. a pag 3 del Rapporto EU EC COM(2018) 738 final, citato]



Dalla mappa si evidenzia che l'Europa risentirebbe in misura più rilevante degli impatti nelle Americhe e in Asia meridionale. Dei quattro settori considerati quello che comporta i maggiori effetti transfrontalieri è l'agricoltura, seguito dalla produttività del lavoro. È evidente tuttavia che gli impatti potrebbero anche derivare da perturbazioni della catena di approvvigionamento nelle importazioni dell'UE, da danni ad altri settori e da altri cambiamenti strutturali non considerati.

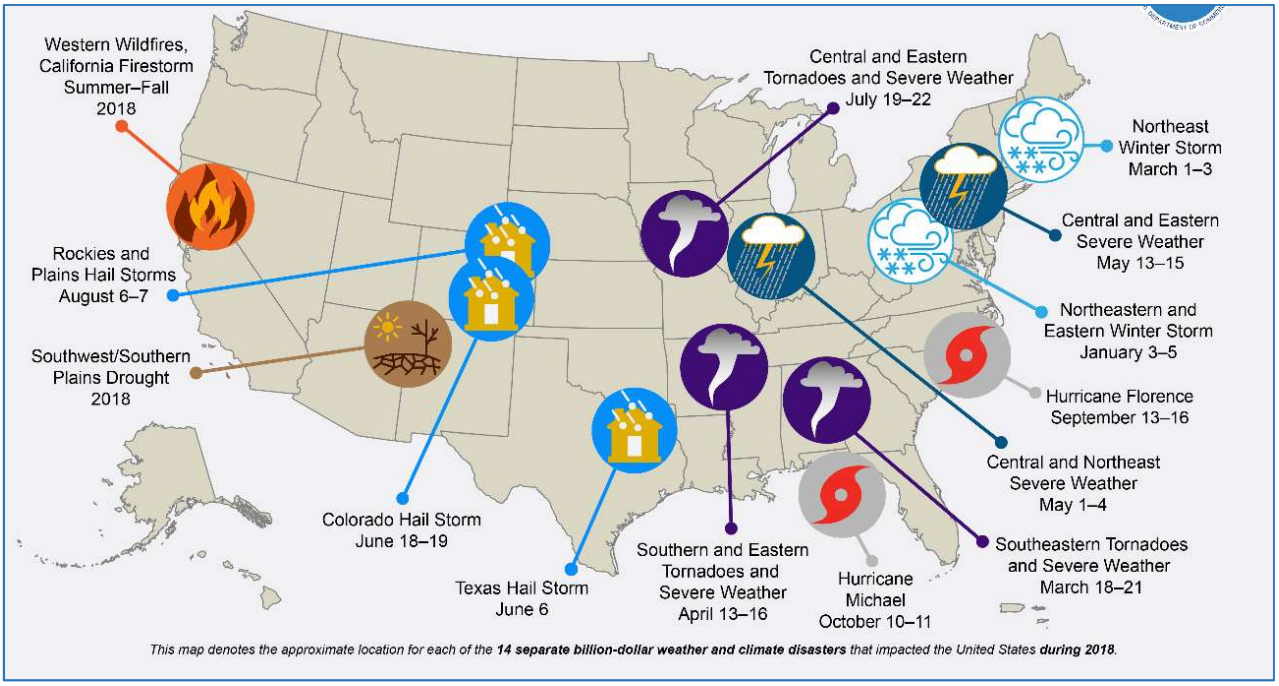
Ancor più numerosi sono gli studi sviluppati in questi anni per gli Stati Uniti e il Nord America. Apparentati con gli impatti sull'Europa forniscono un quadro esauriente degli effetti storici e di quelli attesi nel futuro per queste realtà geopolitiche avanzate, ma resta

chiaro che i danni nelle economie del resto del mondo saranno maggiori o molto maggiori. Una attendibile stima americana[69] afferma che dal 1980, gli eventi climatici estremi, censiti nel numero di 246, sono costati all'economia americana 1.600 GUS$[70]. La Fig 4.6 mappa i soli eventi subiti nel 2018 il cui danno stimato è di 91 GUS$.

La più grande azienda di riassicurazione del mondo, la Munich RE, ha comunicato che i cambiamenti climatici sono stati causa di 24 GUS$ di perdite negli incendi in California ed ha al contempo rivendicato che le compagnie di assicurazione dovranno aumentare i premi per coprire gli impatti delle condizioni meteorologiche estreme. Ciò potrebbe rendere l'assicurazione troppo costosa per la maggior parte delle persone.

Figura 4.6. Eventi climatici con impatto superiore a 1 GUS$ subiti dagli Stati Uniti nel 2018 (fonte: NOAA, 2019 cit.)

[Prima figura in https://www.ncdc.noaa.gov/billions/]



Una stima firmata dall'ex Presidente dell'IPCC, Watson[71], calcola che le perdite economiche causate dagli eventi atmosferici estremi prodotti dai cambiamenti climatici indotti dall'uomo e dai danni alla salute dovuti all'inquinamento atmosferico, causato dalla produzione di energia da combustibili fossili, equivalgono attualmente ad una perdita media di 240 GUS$ l'anno, ovvero circa il 40% dell'attuale crescita economica dell'economia statunitense. 360 GUS$ all'anno di perdite economiche, danni e costi

[69] Amadeo K., 2019, *Climate Change Facts and Effect on the Economy What Has Climate Change Cost Us? What's Being Done?*, in : *https://www.thebalance.com/economic-impact-of-climate-change-3305682*

[70] NOAA, 2019, *Billion-Dollar Weather and Climate Disasters: Overview*, in:

[71] Sir Robert Watson, 2017, *The economic case of climate action in the US*, Universal Ecological Fund, FEU-US, in: *https://feu-us.org/case-for-climate-action-us/*

sanitari, sono stimati dover impattare gli Stati Uniti entro il prossimo decennio, cioè circa la metà della crescita prevista dell'economia.

Gli impatti tra i vari settori possono essere aggregati in un'unica misura di danno economico complessivo per gli Stati Uniti[72]. Utilizzando per i costi *non-market* i valori correnti di monetizzazione forniti dalla US EPA, le stime pubblicate per il costo della criminalità e le valutazioni attuali di mercato ove possibile, si ottiene la distribuzione condizionale dei danni diretti totali in funzione del cambiamento della temperatura superficiale media terrestre. Le perdite annue previste aumentano dello 0,6% del PIL per grado centigrado a +1 °C, fino all'1,7% per grado centigrado a +5 °C di anomalia termica. L'incertezza combinata negli impatti aggregati cresce con il riscaldamento, quindi è molto probabile una perdita compresa tra -0,1 e 1,7% del PIL a 1,5 °C di riscaldamento, compresa tra 1,5 e 5,6% a 4 °C di riscaldamento e tra il 6,4 e il 15,7% del PIL a 8 °C di riscaldamento.

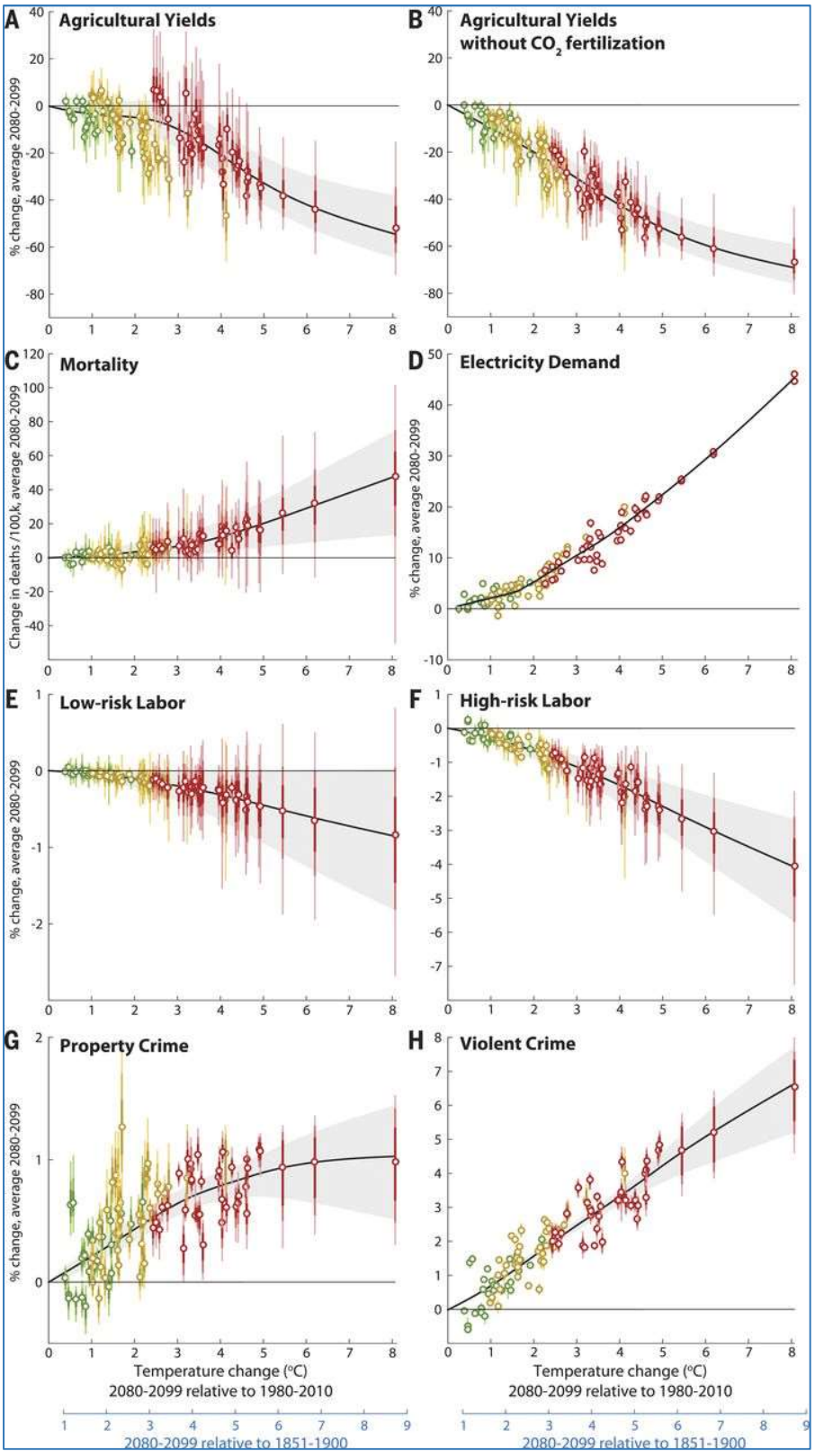
Andando ai principali fattori di impatto, l'aumento livello del mare amplifica i danni sulle coste prodotti dai cicloni tropicali e dalle maree cicloniche extratropicali e, come è stato dimostrato, dall'alterazione della frequenza, della distribuzione e dell'intensità di questi fenomeni. L'aumento del livello del mare aumenta l'altezza delle mareggiate e la estensione alluvionale durante i cicloni. Gli impatti costieri sono distribuiti in modo altamente diseguale, con impatti acuti per gli Stati costieri orientali con città e territori poco rilevati: l'aumento del livello marino medio tra tutti gli scenari, calcolato dall'IPCC AR5, aggrava il danno economico annuo diretto atteso dallo 0,6 all'1,3% del PIL nella Carolina del Sud, la Louisiana e la Florida e dallo 0,7 al 2,3% per l'innalzamento del mare nello scenario estremo RCP 8.5. L'aumento del livello del mare aumenterebbe i danni attesi su base annua per l'intero paese di circa lo 0,0014% del PIL per centimetro a parità di frequenza dei fenomeni. Se si tiene conto dell'aumento previsto dei fenomeni estremi, il danno approssimativamente raddoppia apportando costi complessivi addizionali stimati pari allo 0,5% del PIL annuo nel 2100.

Lo studio citato produce i dati settore per settore (Fig. 4.7) in funzione dell'anomalia termica a fine secolo. Ancora altri studi riportano che le attività industriali più a rischio risultano essere quelle più legate allo stato del capitale naturale: l'agricoltura, la pesca e la silvicoltura. I disastri naturali sono già costati 23 milioni di anni di vita lavorativa a partire dal 2000.

[72] Hsiang S. et al., 2017, *Estimating economic damage from climate change in the United States*, Science, Vol. 356, Issue 6345, pp. 1362-1369, in: *https://science.sciencemag.org/content/356/6345/1362.full*

Figura 4.7. Stime degli impatti attesi per settore negli Stati Uniti in funzione dell'anomalia termica a fine secolo (fonte: Science, 2017 cit.)

[Hi res image scaricata da *https://science.sciencemag.org/content/sci/356/6345/1362/F3.large.jpg?download=true*]



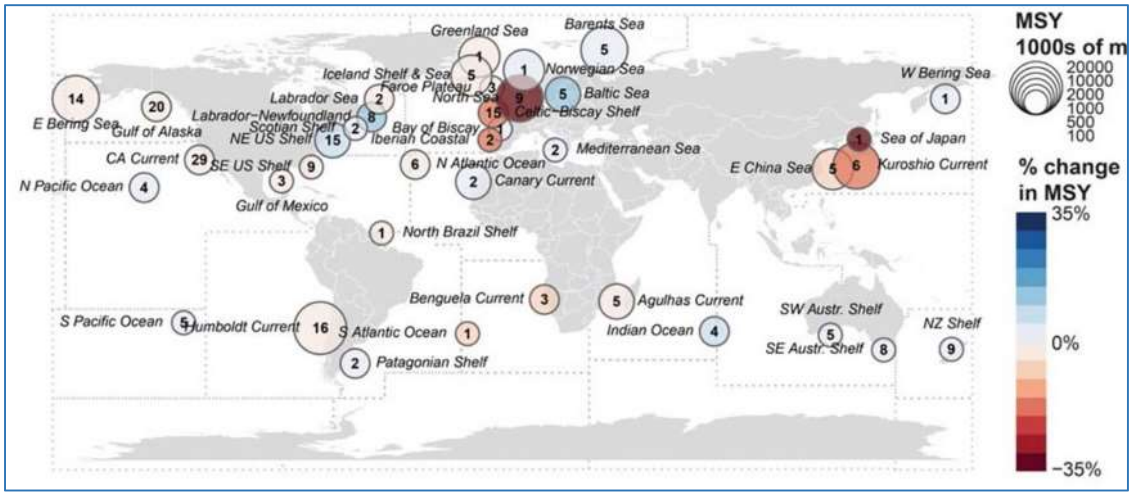
Le ondate di calore negli USA impattano i prezzi alimentari. I raccolti di mais e soia negli Stati Uniti precipitano quando le temperature salgono sopra i 29 °C. Queste colture sono

a loro volta necessarie per la zootecnia e sono responsabili dei picchi nei prezzi della carne bovina, del latte e del pollame. La produttività dei lavoratori, inoltre, diminuisce drasticamente, in particolare per i lavori all'aperto, ed è ulteriore causa dell'aumento dei prezzi alimentari[73]. Gli Stati Uniti producono il 41% del mais e il 38% della soia nel mondo, due delle quattro maggiori fonti di energia calorica prodotta, che sono quindi fondamentali per l'approvvigionamento alimentare mondiale. Le rese colturali aumentano fino a 29 °C per il mais, 30 °C per la soia e 32 °C per il cotone, ma, al di là di queste temperature la pendenza del declino è molto accentuata. Si prevede che i rendimenti medi ponderati per area diminuiranno dal 30 al 46% entro la fine del secolo nello scenario di riscaldamento moderato e diminuiranno dal 63 all'82% nello scenario peggiore dell'IPCC AR5.

Uno studio del 2019[74] ha rilevato che il riscaldamento oceanico ha ridotto i rendimenti globali della pesca del 4% dal 1920, per un importo pari a 1,4 milioni di tonnellate di prodotto ittico. Risulta molto maggiore l'impatto nel Nord Atlantico e nel Mar del Giappone, dove tale calo è del 35% (Fig. 4.8). Molte specie ittiche sono a rischio di estinzione. A scala mondiale la crisi della pesca colpisce i 3 miliardi di persone che si affidano al pesce come la loro principale fonte di proteine e colpisce anche l'industria globale della pesca che vale 100 GUS$, i 56 milioni di persone impiegate nel mondo e, in particolare, gli Stati Uniti, che importano il 90% del loro consumo di pescato.

Figura 4.8. Variazione % in termini di Maximum Sustainable Yield in media decennale tra 1940 e 2010 nelle varie regioni e nelle aree di pesca FAO (tratteggiate; fonte: Endicott, 2019, cit.)

[Figura 4 di Endicott, cit.]



[73] Schlenker W. et al., 2009, *Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change*, Department of Economics and School of International and Public Affairs, Columbia University, in: *https://www.pnas.org/content/pnas/106/37/15594.full.pdf*

[74] Endicott M., 2019, *Warming oceans have already harmed the world's fish supply,* GRIST, in: *https://grist.org/article/warming-oceans-have-already-harmed-the-worlds-fish-supply/*

4.3. Impatti sulla biodiversità

La biodiversità è definita come la variabilità tra gli organismi viventi, tra cui gli ecosistemi acquatici terrestri, marini e i complessi ecologici di cui fanno parte. Comprende la diversità interna alle specie, tra le specie e degli ecosistemi. Per risorse biologiche si intendono le risorse genetiche, organismi o loro parti, popolazioni o qualsiasi altro componente biotico di ecosistemi con uso o valore effettivo o potenziale per l'umanità. La Convenzione di Rio sulla diversità biologica, UN CBD, si propone la conservazione della diversità biologica, l'uso sostenibile dei suoi componenti e la giusta ed equa condivisione dei benefici derivanti dall'uso delle risorse genetiche[75].

Il 2019 è l'anno della pubblicazione del *Global Assessment* dell'IPBES[76], un Rapporto di tale vastità e portata da segnare un salto di qualità nella conoscenza della crisi globale della biodiversità e delle sue cause. Il Rapporto definisce il cambiamento climatico come un fattore diretto della perdita di biodiversità che progressivamente aggrava l'impatto degli altri fattori e produce una analisi profonda e puntuale delle interrelazioni tra clima e sistemi naturali[77]. L'analisi degli effetti attesi degli scenari di riscaldamento dell'IPCC sulla biodiversità stabilisce un solido legame tra gli obiettivi dell'Accordo di Parigi e le sorti di ogni possibile azione di conservazione delle risorse naturali, delle specie viventi e dei servizi ecosistemici. Il Rapporto mette però in guardia sugli effetti che talune pratiche di mitigazione stanno già producendo sulle popolazioni indigene e sui loro mezzi di sussistenza.

Secondo l'IPBES molto del patrimonio naturale mondiale è stato perso e quello che rimane continua a declinare. Più del 40% della superficie terrestre è coltivata o urbanizzata e meno del 23% è ancora classificata come area naturale. La perdita di foreste tropicali è triplicata in dieci anni; le foreste primarie continuano a diminuire, con l'eccezione della riforestazione attiva o conseguente all'abbandono dell'agricoltura e dei pascoli. Circa un milione di specie animali e vegetali è minacciato per sovrasfruttamento, inquinamento, specie aliene invasive e per il cambiamento climatico. Il ritmo di estinzione è da 10 a 100 volte maggiore della media degli ultimi 10 milioni di anni. Almeno 3000 specie di vertebrati e 40.000 specie di piante sono minacciate di estinzione per la perdita o il deterioramento degli habitat. 559 delle 6190 specie di mammiferi

[75] Biller D., 2007, *The Economics of Biodiversity Loss,* Copenhagen Business School

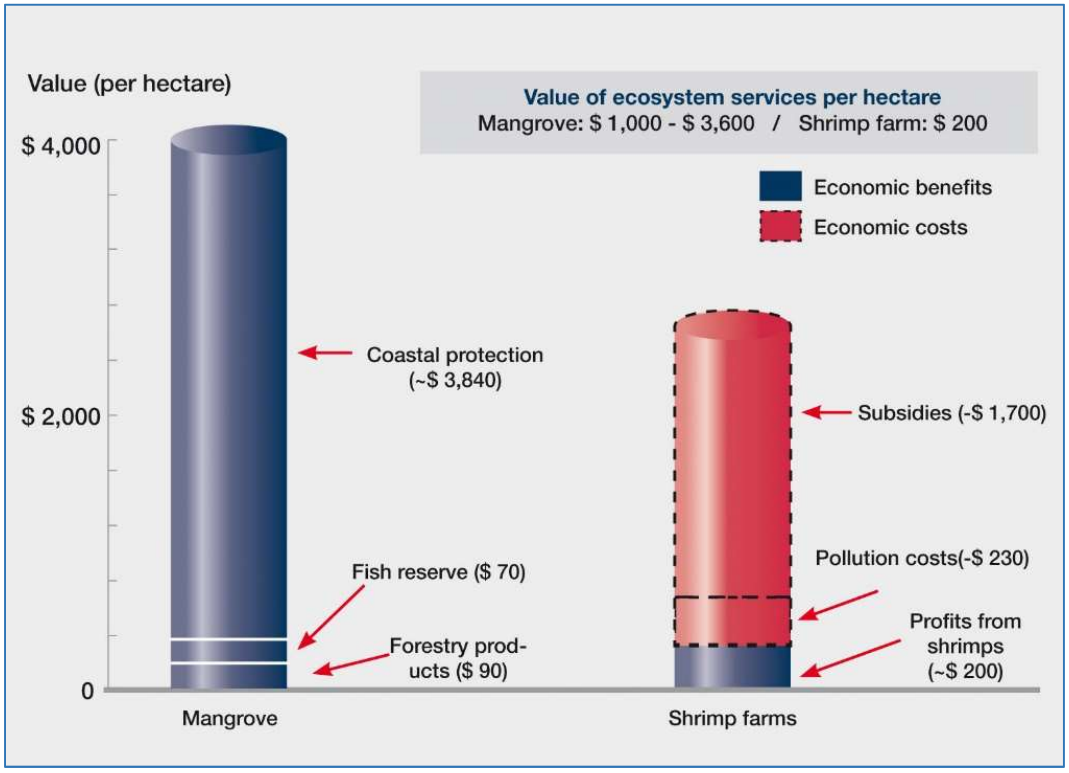
[76] IPBES, Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019, *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services,* disponible per capitoli in: *https://www.ipbes.net/global-assessment-report-biodiversity-ecosystem-services*

[77] Ronchi E., 2019, *La perdita di biodiversità mette a rischio lo sviluppo dell'intero pianeta*, Huffington Post Blog, in: *https://www.huffingtonpost.it/entry/la-perdita-di-biodiversita-mette-a-rischio-lo-sviluppo-dellintero-pianeta_it_5cfa35d8e4b06af8b506d4f3*

allevati dall'uomo si sono estinti e altre 1000 specie sono minacciate di estinzione. In media le comunità ecologiche terrestri hanno perso il 20% della loro originale biodiversità.

Già la IUCN aveva segnalato l'aumento della estinzione delle specie con un tasso tra 100 e 10.000 volte maggiore del tasso naturale. Sono in via di estinzione il 12% degli uccelli, il 23% dei mammiferi, il 32% degli anfibi e il 25% delle conifere. Negli ultimi decenni il 35% della superficie di mangrovie in tutto il mondo è stata persa (Fig. 4.9), il 20% delle barriere coralline del mondo è stato distrutto, il 24% è a rischio imminente di collasso e il 26% è sotto una minaccia di collasso a lungo termine. La perdita globale di foresta pluviale tropicale causata dall'intervento umano è di circa 15 Mha/anno e se i recenti tassi di perdita delle foreste tropicali continueranno per i prossimi 25 anni, si stima che il numero di specie viventi nelle foreste si ridurrà dal 4 all'8%. Solo pochi ecosistemi naturali in tutto il mondo non hanno sofferto dell'intervento umano.

Figura 4.9. Costi e benefici degli ecosistemi a mangrovie usati per la produzione di gamberi
[Figura 1 in: *http://www.fgcsic.es/lychnos/en_EN/articles/socioeconomic_costs_of_biodiversity_loss*]



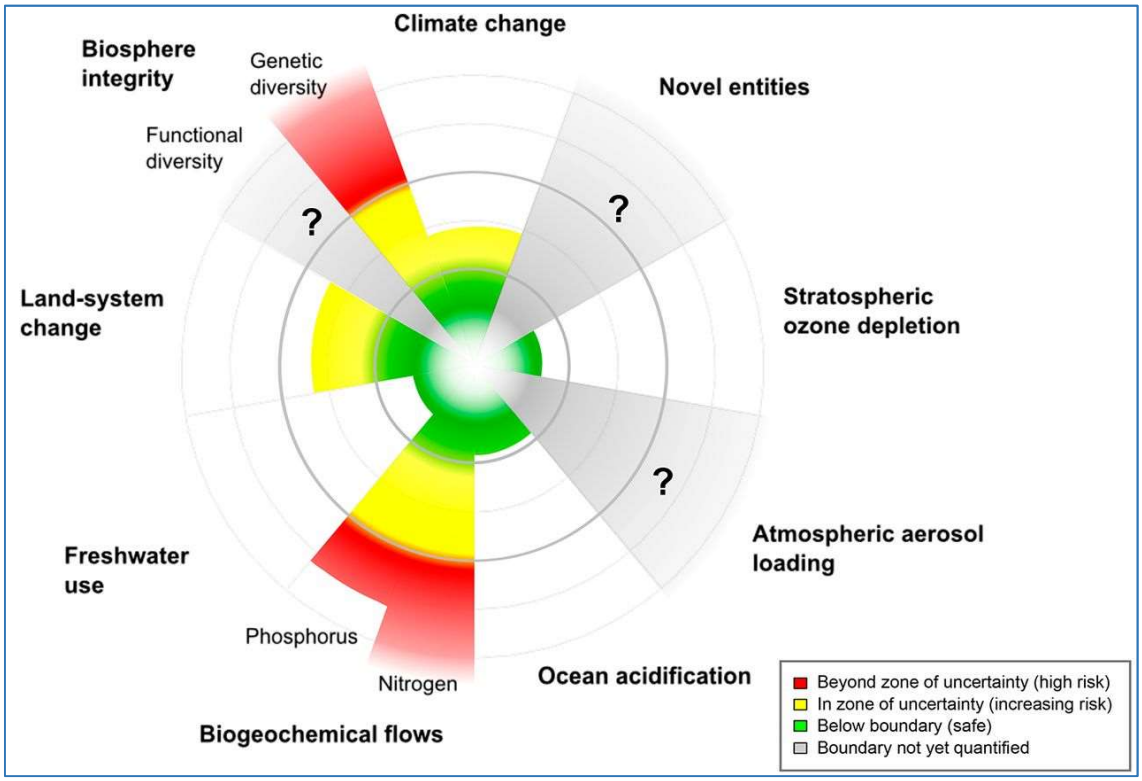
La scomparsa delle specie è un fenomeno inerente al processo evolutivo. Almeno cinque volte nella storia geologica ci sono stati episodi di estinzioni di massa, causate da fenomeni come meteoriti o glaciazioni. Nell'ultima grande estinzione, avvenuta 65 milioni di anni fa, circa il 75% di tutte le specie del pianeta scomparve in un colpo solo. Tuttavia, durante i periodi di decine di milioni di anni, che separano questi episodi, l'estinzione delle specie si è evoluta gradualmente ed è stata compensata da più alti tassi

di comparsa di nuove specie. Questo modello di estinzioni è cambiato bruscamente negli ultimi due secoli per effetto dell'alterazione antropogenica dei maggiori processi biofisici che determinano il funzionamento degli ecosistemi[78].

La contabilità finanziaria convenzionale non riesce a catturare l'economia e i costi sociali associati alla perdita di biodiversità, ma la perdita di biodiversità per tutte le cause, calcolata in unità fisiche, è ormai al di là dei limiti planetari (Fig. 4.10)[79].

Figura 4.10. La perdita di biodiversità supera largamente i limiti planetari (fonte: Stockholm Resilience Centre[80])

[Immagine ad alta risoluzione in Fig. 3 di: *https://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855.full*]



Si prevede un ulteriore degrado della biodiversità se i cambiamenti climatici continueranno al ritmo attuale[81]. Gli impatti includono cambiamenti negli habitat e nelle composizioni delle specie e conseguenti cambiamenti nel funzionamento degli ecosistemi. Forti impatti sono previsti sia per i mammiferi che per le piante con una

[78] TEEB, 2010, *The socio-economic costs of biodiversity loss*, in: *http://teebweb.org/wp-content/uploads/2013/04/D0-Chapter-5-The-economics-of-valuing-ecosystem-services-and-biodiversity.pdf*

[79] Johan Rockström et al., 2009, *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*, Stockholm Resilience Centre, in: *https://www.stockholmresilience.org/download/18.8615c78125078c8d3380002197/ES-2009-3180.pdf*

[80] Stockholm Resilience Centre, 2015, *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet Science,* Vol. 347, Issue 6223, 1259855, in: *https://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855.full*

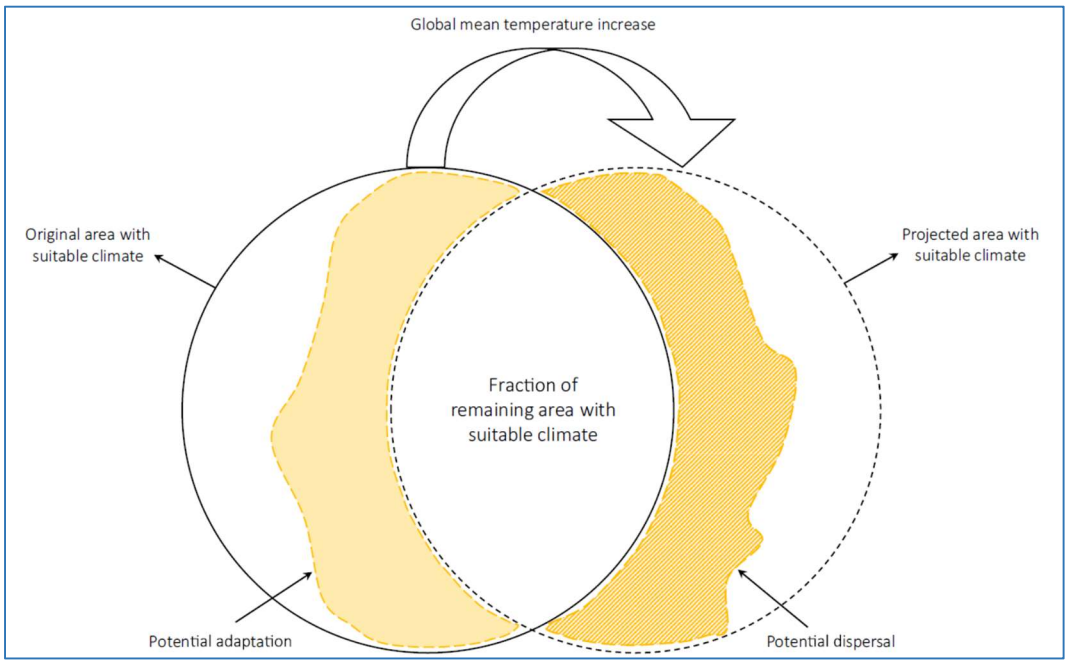
[81] Sarahi Nunez et al.,2019, *Assessing the impacts of climate change on biodiversity: is below 2 °C enough?,* Climatic Change, Volume 154, Issue 3–4, pp 351–365, Springer, in: *https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-019-02420-x*

riduzione del 19% della percentuale delle specie sopravviventi, FRS. La risposta al cambiamento climatico della biodiversità varia fortemente tra i gruppi tassonomici e i biomi. Per alcuni gruppi tassonomici la percentuale di area rimanente con un clima adatto alle specie, FRA (Fig. 4.11), declina fortemente oltre i 3 °C di anomalia termica. Già a livelli moderati, cioè 1 - 2 °C di anomalia si prevede una diminuzione significativa della biodiversità.

La biodiversità è sotto la crescente minaccia di molte pressioni antropogeniche tra le quali, in questo secolo, i cambiamenti climatici che influenzano la biodiversità perché le variabili climatiche determinano gli spazi di distribuzione geografica delle specie. Nelle aree in cui il clima non è più adatto, le specie spostano le loro distribuzioni geografiche a seconda delle loro capacità di dispersione e si estinguono localmente. Sono anche colpite le fasi di sviluppo e la fisiologia delle specie, le strutture della comunità e le funzioni dell'ecosistema[82].

Figura 4.11. Schema di adattamento e dispersione di una specie in risposta al cambiamento climatico (fonte: Nunes, 2019, cit.)

[Fig. 1 in *https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-019-02420-x*]



La temperatura media globale è aumentata di oltre 1 °C dal 1880 in parallelo al declino della biodiversità in tutto il mondo a causa della perdita in molti ecosistemi delle condizioni idonee per la sopravvivenza di alcune loro specie. Non è ancora chiaro, e

[82] Convention on Biological Diversity, CBD, 2019, *Biodiversity and the 2030 Agenda for sustainable development*. Technical note, Secretariat of the CBD, Montréal, in: *https://www.cbd.int/development/doc/biodiversity-2030-agenda-technical-note-en.pdf*

rappresenta una sfida fondamentale per la ricerca scientifica, in che modo la biodiversità risponderà a un aumento della temperatura media globale di 2 °C o oltre.

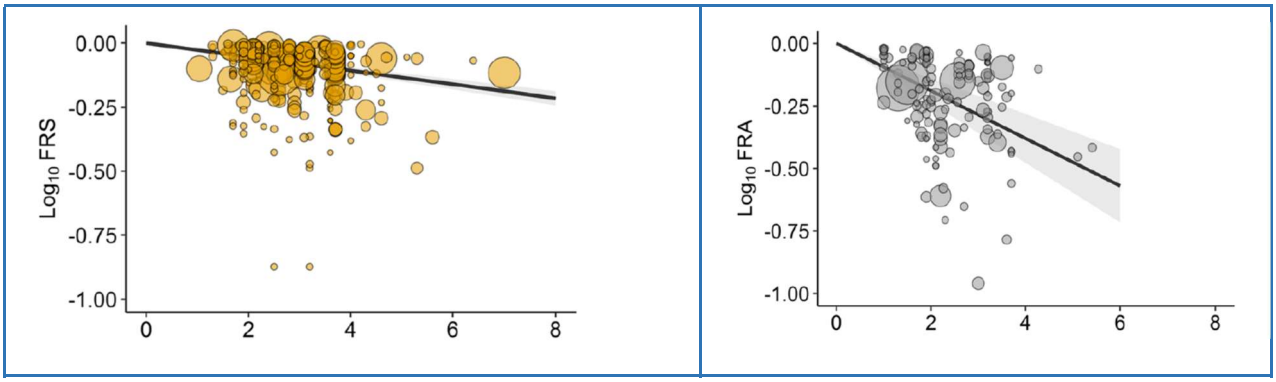
In Fig 4.12 vengono presentati gli impatti della variabile climatica guida che è la anomalia della temperatura media (sulle ascisse in °C), studiati fino a 6 °C. Le frazioni residue FR ed FA sono rappresentate in scala logaritmica dalle rette di regressione sui campioni la cui numerosità specifica è rappresentata dal diametro dei punti.

Nell' intervallo 1 - 2 °C l'impatto complessivo risulta in un FRS dell'86% e in un FRA del 65%, e quindi, con un aumento della temperatura media globale fino a 2 °C, gli ecosistemi terrestri potrebbero perdere in media il 14% delle loro attuali specie locali e il 35% della loro area climatica di adattamento. Gli intervalli 2 - 3 °C e 3 - 4 °C comportano riduzioni maggiori di FRS e FRA rispetto al primo intervallo: si prevede che FRS si riduca all'83% e, rispettivamente, al 78% e FRA al 50% e al 46%. Le maggiori riduzioni si verificano in presenza di un aumento della temperatura media globale oltre i 4 °C: solo il 68% delle specie locali attuali sopravviverebbe nella media degli ecosistemi terrestri e la loro l'area di adattamento residua sarebbe probabilmente ridotta a meno del 46% in media.

La perdita totale della ricchezza delle specie potrebbe essere compensata da nuove specie emergenti con eventualmente una migliore capacità di espandersi, ma questo tipo di modelli previsionali delle perdite di biodiversità non può fare previsioni sulla possibile vitalità delle specie emergenti.

Figura 4.12. Risultati modellistici delle frazioni di biodiversità di specie e di area residue al global warming (fonte: Nunes, 2019, cit.)

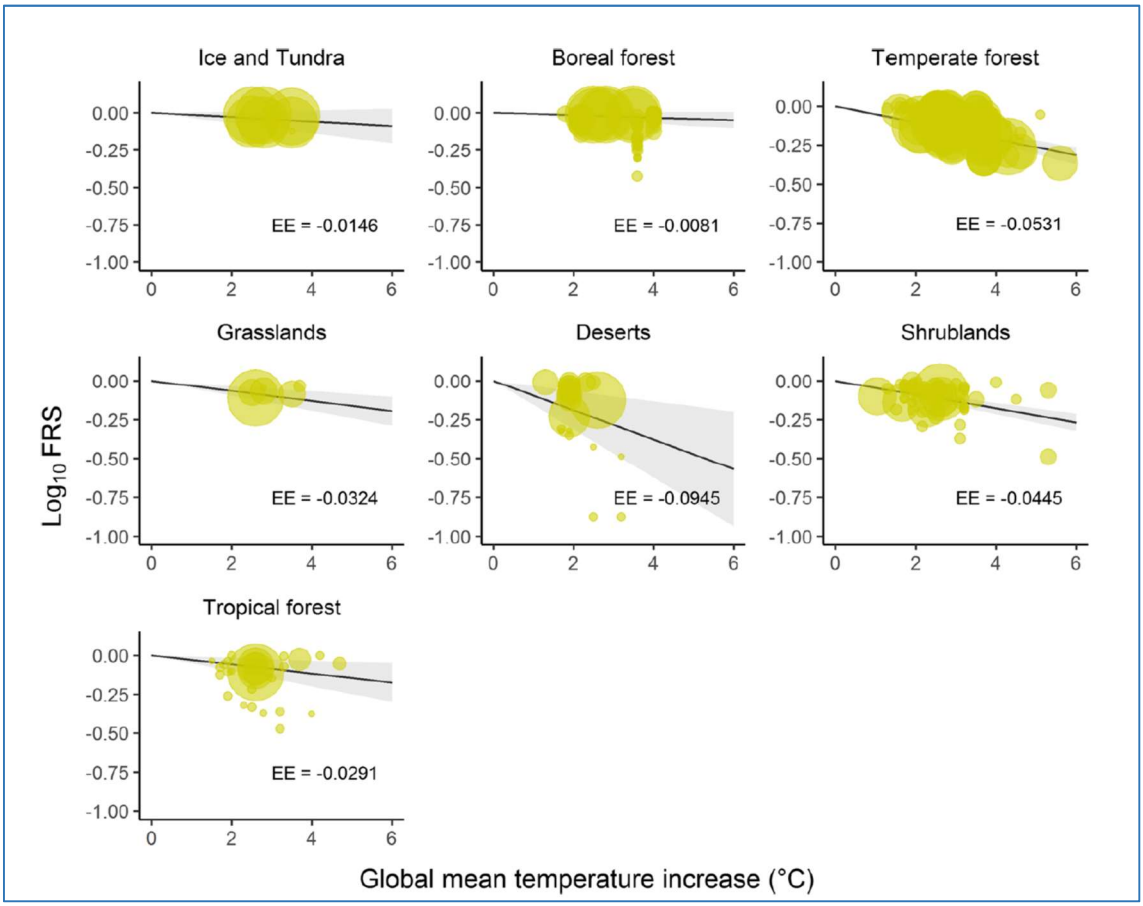
[Fig. 3 in *https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-019-02420-x*]



I dati dei residui FRS e FRA differiscono tra i gruppi tassonomici. La risposta delle specie di vertebrati all'aumento della temperatura media globale è una riduzione degli FRS, in media del 10% a +2 °C, e degli FRA, in media del 47% a +2 °C. All'interno del gruppo di vertebrati i mammiferi subiscono la maggiore riduzione nelle specie locali, il 22%, che declina rapidamente oltre i +2 °C. Per gli uccelli FRS e FRA si riducono in

misura maggiore in tutti gli intervalli. Per le specie vegetali, FRS e FRA diminuiscono del 18% e del 34%, rispettivamente, a +2 °C. La risposta FRS delle specie vegetali inferiori è affetta da una maggiore variabilità. Le stime di FRS e FRA possono anche essere usate per classificare i biomi e per indicarne la sensibilità al cambiamento climatico. Deserti, foreste temperate e arbustive sperimentano le maggiori riduzioni in FRS e le foreste tropicali e boreali in FRA (Fig 4.13).

Figura 4.13. Risultati modellistici delle frazioni di biodiversità di specie residue nei vari biomi in risposta al global warming. EE sono le pendenze delle regressioni. (fonte: Nunes, 2019, cit.)
[Fig. 3 in *https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-019-02420-x*]



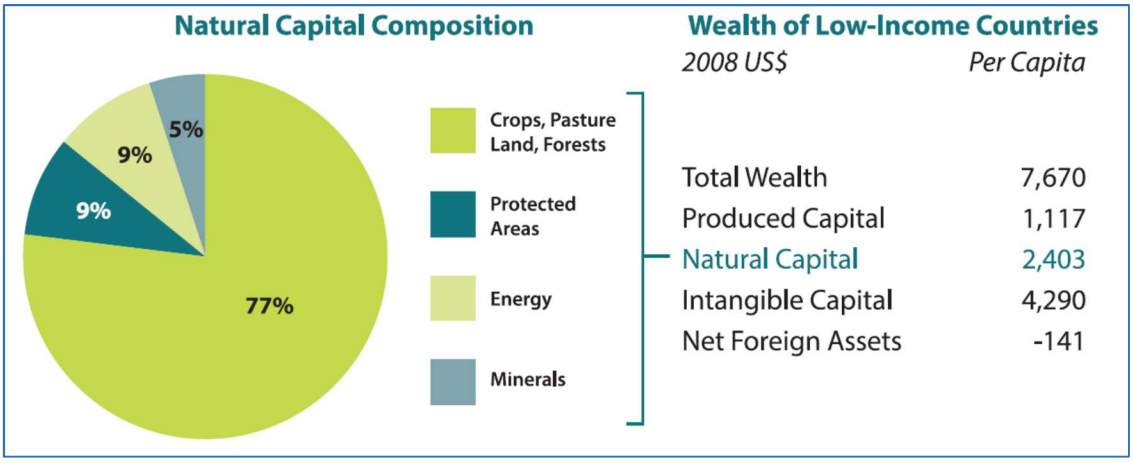
Contrariamente alla perdita immediata di biodiversità causata da alcuni fattori antropogenici non climatici, i cambiamenti climatici innescano effetti più graduali e a più lungo termine sulle specie. I risultati qui presentati supportano l'idea che temperature più elevate comportano impatti maggiori sulla biodiversità, ma non hanno una sensibilità sufficiente per dimostrare che l'obiettivo massimo di Parigi di mantenere la anomalia termica globale ben al di sotto dei 2 °C protegge maggiormente la biodiversità. Quello che è certo è che mantenere il cambiamento climatico al di sotto di 1,5 °C contribuisce in misura superiore a preservare le comunità locali e le loro aree di insediamento climaticamente idonee.

4.4. Impatti sul capitale naturale e sui servizi ecosistemici

Le funzioni dell'ecosistema, come sono il riciclaggio dei nutrienti nel suolo e i tempi e i volumi dei flussi idrici, diventano *servizi ecosistemici* quando gli esseri umani se ne servono nei loro processi industriali, agricoli o semplicemente per assicurare il proprio benessere. Il cambiamento climatico ha un impatto crescente sulla fornitura e sul valore dei servizi ecosistemici in tutto il mondo. Non diversamente dal caso della perdita della biodiversità, la difficoltà di quantificare economicamente i fenomeni di degrado si può estendere in generale al capitale naturale ed ai servizi ecosistemici, una difficoltà che aumenta ancor più quando si voglia separare l'impatto climatico dagli altri fattori. Il cambiamento climatico altera e continuerà comunque ad alterare le funzioni degli ecosistemi in tutti i contesti. Per i paesi che fanno essenzialmente conto sul capitale naturale per il loro benessere vale a titolo di esempio la quantificazione proposta dalla World Bank (Fig.4.14) che lo valuta in 1/3 circa della ricchezza pro-capite totale media.

Figura 4.14. Composizione del capitale naturale e della ricchezza complessiva per i PVS (fonte: World Bank)

[Figura 8 del Report EU EC citato in seguito]



È in questo contesto che al G8 di Potsdam del 2007 si è data vita al progetto TEEB, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*[83] emulando l'approccio del *Rapporto Stern*[84] dell'anno precedente che aveva valutato nell'1% del PIL globale il costo della lotta ai cambiamenti climatici, ove essa fosse stata iniziata senza indugi. Il Progetto TEEB mira a utilizzare i tradizionali indicatori dello sviluppo economico per valutare i costi del deprezzamento del capitale naturale, stimando il valore economico della biodiversità e dei servizi ecosistemici e i costi dell'inazione, secondo il dettato di Stern. Queste perdite che degradano il capitale naturale erano ignorate allora dall'azione politica internazionale, ma

[83] *http://www.teebweb.org/*

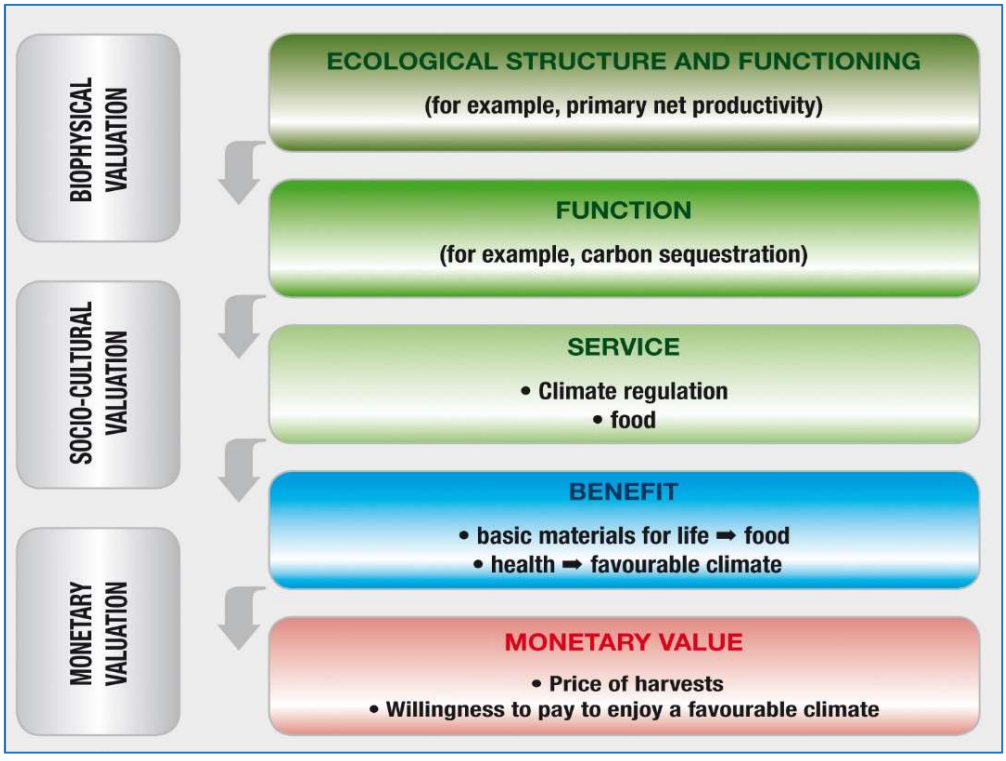
[84] Sir Nicholas Stern, 2006, *The economics of climate change, the Stern Review*, in: *http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/publication/the-economics-of-climate-change-the-stern-review/*

sono tutto sommato ignorate ancora oggi. Secondo le stime iniziali del Progetto, gli ecosistemi e la biodiversità hanno un valore economico tra 10 e 100 volte maggiore dei costi necessari per la loro conservazione. Anche al netto della biodiversità marina, dei deserti, dell'Artico e dell'Antartico e di altri servizi, le perdite cumulative di benessere potrebbero ammontare al 7% del consumo annuo nel 2050.

Lo schema di principio della valutazione economica intrapresa dal TEEB è in Fig.4.15, ma le difficoltà di valorizzazione economica restano alte e vanno affrontate caso per caso. La valutazione economica presenta notevoli inconvenienti. In primo luogo la quantificazione delle incertezze che circondano le valutazioni e la mappatura dei valori è spesso trascurata, pur essendo questa è l'informazione chiave per qualsiasi decisione politica[85]. In secondo luogo, le tecniche di valutazione economica per tenere conto dei valori delle risorse naturali non utilizzate sono deboli e in genere comportano l'esclusione di questi aspetti dal processo decisionale. In terzo luogo, la fiducia sulla valutazione economica presuppone che tutti i valori possano essere ricondotti ad un valore monetario. Al contrario è ormai sempre più riconosciuto, anche nella prassi politica, che il capitale naturale è associato a valori multipli, tutti di uguale importanza.

Figura 4.15. Schema a blocchi della valutazione economica del capitale naturale del TEEB

[Figura 2 in: in: *http://www.fgcsic.es/lychnos/en_EN/articles/socioeconomic_costs_of_biodiversity_loss*]

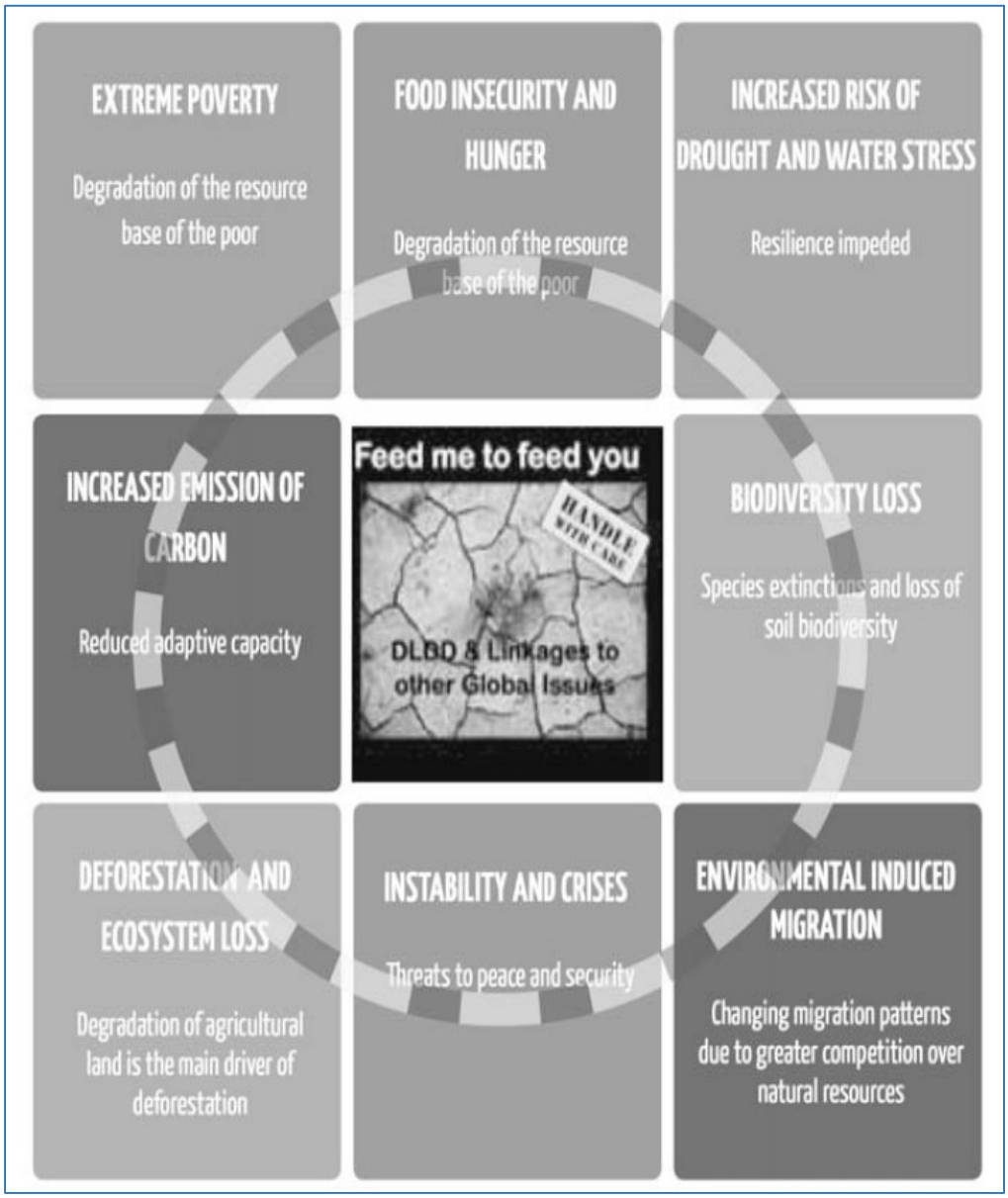


[85] Science for Environment Policy, 2015, *Ecosystem Services and the Environment*, in-depth Report 11 produced for the European Commission, DG Environment in: *http://ec.europa.eu/science-environment-policy*

4.4.1. Desertificazione

La desertificazione è una delle principali calamità ambientali attuali, che colpisce centinaia di milioni di abitanti delle terre aride e un'area totale non specificata, stimata tra 1000 e 3000 Mha. Le prime civiltà hanno causato un degrado del suolo significativo (Fig. 4.16) e spesso irreversibile nelle aree aride, semiaride e sub-umide in Medio Oriente e nel bacino del Mediterraneo, nell'Asia meridionale e centrale e nell'America centrale.

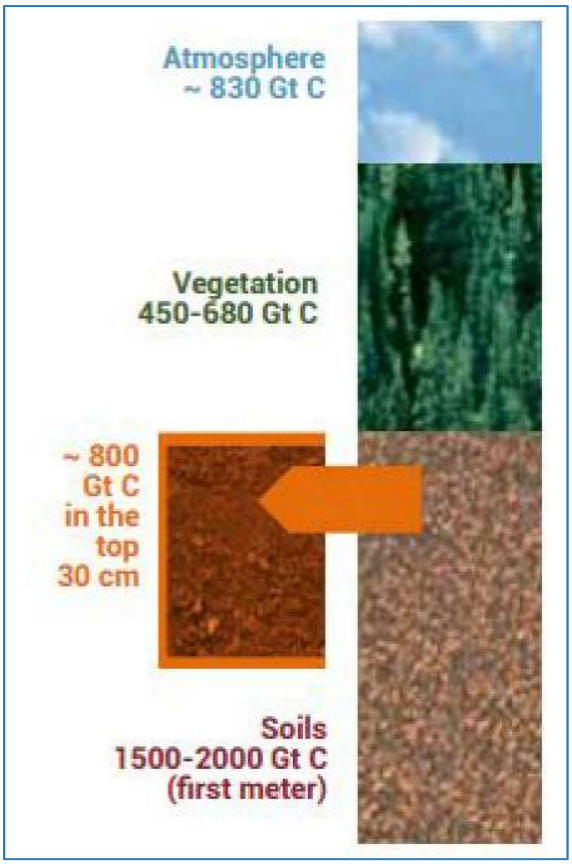
Figura 4.16. Il quadro generale delle criticità socioeconomiche ed ambientali generate dal degrado del suolo (fonte UNCCD, 2015)
[Disponibile nella Fig. 1 del Rapporto UNCCD, 2015]



I terreni sono il fondamento della produzione alimentare e della sicurezza alimentare. E i terreni forniscono anche altri servizi ecosistemici vitali per il funzionamento e la resilienza dell'ambiente naturale. Conservano grandi quantità di carbonio, contribuendo

a regolare le emissioni di CO_2 e i processi climatici. Funzionano come il più grande filtro e serbatoio di stoccaggio dell'acqua del pianeta, controllando la quantità e la qualità delle risorse di acqua dolce. Ospitano i cicli e l'immagazzinamento di azoto, fosforo e altri nutrienti essenziali ed un quarto della biodiversità del pianeta[86].

I suoli del mondo immagazzinano più carbonio della biomassa e dell'atmosfera del pianeta messi insieme. Un aumento di appena l'1% delle scorte di carbonio nel primo metro di profondità dei suoli sarebbe superiore alla quantità corrispondente alle emissioni antropogeniche di CO_2 prodotte dallo sfruttamento dei combustibili fossili (Tab. 4.2)[87].



Oltre il 35% della superficie libera dal ghiaccio del pianeta è stata ripulita dalla vegetazione naturale per coltivare o pascolare il bestiame, esponendola a forti aumenti dell'erosione e a forti perdite di carbonio organico, nutrienti del suolo e biodiversità. La rapida crescita di città, industrie e agricoltura industrializzata ha accelerato le perdite di carbonio organico e biodiversità dei suoli, li ha contaminati con un eccesso di sale, acidità e metalli pesanti e li ha sigillati permanentemente sotto asfalto e cemento. La maggior parte dei suoli del mondo è in condizioni appena sufficienti, povere o molto povere e la loro condizione peggiora in molti più casi di quanto non stia migliorando[88].

L'erosione porta via da 25 a 40 Gt di terreno vegetale ogni anno, riducendo significativamente i raccolti e la capacità del suolo di immagazzinare e circolare carbonio, nutrienti e acqua. Se l'erosione non viene fermata, le perdite totali dei raccolti proiettate

[86] UNCCD, 2013, *Economic and Social Impacts of Desertification, Land Degradation and Drought*, White Paper I of the Global Risk Forum, GRF, Davos
[87] IUCN, 2015, *Land degradation and climate change The multiple benefits of sustainable land management in the drylands,* Comunicato alla COP 21 di Parigi, in:
https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/land_degradation_issues_brief_cop21_031215.pdf
[88] UNCCD, 2015, Climate *change and desertification: Anticipating, assessing and adapting to future change in drylands*, Impulse Report for 3rd UNCCD Scientific Conference, Cancùn, Mexico in:
http://www.idaea.csic.es/sites/default/files/Climate%20change%20and%20desertification.pdf ⁜

all'anno 2050 sarebbero equivalenti a togliere 1,5 milioni di km^2 di terra dalla produzione agricola, pari ad approssimativamente il suolo coltivabile oggi in India.

Nella maggior parte delle aree semi-aride e sub-umide dell'Africa e dell'Asia, ma anche in Israele, la desertificazione continua a progredire incontrollata a causa dell'agricoltura intensiva, della deforestazione, del sovrapascolamento e delle tecnologie agricole inadeguate, in particolare in materia di irrigazione. Analisi recenti suggeriscono che il 45% delle terre globali sono terre aride, in aumento rispetto alle stime precedenti. In alcune regioni, principalmente Nord America, costiera orientale dell'Australia ed America del Sud, le terre aride sono in transizione verso condizioni semi-aride, a causa dell'aumento delle precipitazioni. In altre regioni, in Cina, nell'Australia orientale e nelle regioni dell'Africa meridionale, la transizione osservata va da sub-umido/umido a condizioni semi-aride. Anche il Sahel sembra essere tendente a condizioni più asciutte[89].

Tabella 4.2. Il ruolo delle terre aride nello stoccaggio del carbonio (fonte: IUCN, 2015)
[Questa figura e la precedente sono nel titolo IUCN citato in bibliografia]

	Biomass carbon	**Terrestrial carbon**		
		All soil carbon	Soil organic carbon	Soil inorganic carbon
Global	576Gt	2,529 Gt	1,583 Gt	946 Gt
Drylands	83Gt	1,347 Gt	431 Gt	916 Gt
Portion in drylands	**14%**	**53%**	**27%**	**97%**

Recenti ricerche e revisioni hanno delineato la stretta interrelazione tra riscaldamento globale e degrado del suolo. La desertificazione non solo causa una perdita di produttività con gravi conseguenze sulla produzione alimentare, sulla futura sicurezza alimentare e sullo sviluppo economico, ma provoca anche il rilascio di gas serra nell'atmosfera, accelerando il riscaldamento globale. La decomposizione della sostanza organica del suolo e della biomassa negli ultimi 7.800 anni, causata dal degrado della terra e dalla desertificazione, ha prodotto emissioni di anidride carbonica stimate dell'ordine di 450 - 500 GtC, che corrisponde a più della quantità totale di CO_2 emessa dalla combustione di combustibili fossili finora. Più recentemente, la rapida deforestazione, principalmente la distruzione delle foreste pluviali e il degrado su vasta scala dei suoli e della vegetazione delle terre aride, hanno causato fino al 20% dell'aumento delle concentrazioni di gas serra in atmosfera.

[89] IPCC, 2017, *Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SR2)*, in: *https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/sr2_background_report_final.pdf*

Queste terre degradate diventano più sensibili all'aumento degli estremi climatici come ondate di calore, siccità e inondazioni improvvise. La perdita di vegetazione e il degrado del suolo aumentano la vulnerabilità degli ecosistemi all'ulteriore erosione e desertificazione.

Nelle regioni umide e sub-umide, il cambiamento climatico impatta sul contenuto minerale di carbonio dei terreni, con processi relativamente lenti che possono essere mascherati dagli impatti diretti dei cambiamenti dell'uso del suolo e delle tecniche di gestione del terreno con variabilità interannuali. L'impatto diretto del clima sulle riserve di carbonio minerale del suolo è abbastanza chiaro: i terreni più umidi hanno un alto contenuto di carbonio che tendenzialmente si riduce a temperature più elevate. Nelle regioni umide e sub-umide, i terreni organici sono molto sensibili ai cambiamenti delle condizioni climatiche. Le zone umide e le torbiere intatte tendono ad essere relativamente resilienti alle fluttuazioni a breve termine nella meteorologia stagionale. I suoli organici drenati e i terreni organici irrigati sono più sensibili a queste fluttuazioni e, in particolare, all'aumento della temperatura.

Difficile calcolare il danno immenso causato dalla perdita dei suoli desertificati a scala globale e la quota imputabile al cambiamento climatico. Esistono stime legate a situazioni a carattere locale di dimensioni contenute dove un intervento di ripristino può essere dimensionato con qualche probabilità di successo. Secondo l'UNCCD, la Convenzione ONU per la lotta alla desertificazione, i costi economici della desertificazione e del degrado del suolo sono valutabili in 490 GUS$ l'anno, ma, in positivo, la gestione sostenibile del territorio potrebbe aiutare a generare fino a 1.400 GUS$ di benefici economici[90].

Alla Conferenza climatica di Bonn del 2018 la Convenzione UNCCD ha presentato un *assessment* globale dei danni causati dalla cattiva gestione dei suoli: l'economia globale perderà ben 23.000 GUS$ nel 2050 per effetto del degrado del territorio. Adottare misure urgenti e fermare queste tendenze allarmanti costerebbe 4,6 GUS$, solo una minima parte delle perdite previste. Per i 21 paesi esaminati[91] le perdite medie equivalgono al 9% del PIL. Questa cifra è ancora più alta per alcuni dei paesi più colpiti del pianeta, come la Repubblica Centroafricana, dove le perdite totali sono stimate in uno sconcertante 40% del PIL. Asia e Africa sopportano i costi più elevati, stimati rispettivamente in 84 e 65 GUS$.

[90] Inter Press Service, 2019, *Combating desertification and drought. The High Price of Desertification: 23 Hectares of Land a Minute*, in: *https://reliefweb.int/report/world/high-price-desertification-23-hectares-land-minute*

[91] UNCCD, 2018, *Land Degradation Neutrality (LDN) country profiles*, in: *https://www.unccd.int/actions/ldn-target-setting-programme/ldn-country-profiles*

4.4.2. Risorse idriche

Con l'aggravarsi del cambiamento climatico le *risorse idriche* diventeranno instabili ed incerte, spazialmente e temporalmente. I tassi di evaporazione ed evapotraspirazione sono soggetti a cambiamento con il rischio di accentuare la scarsità d'acqua e di comprometterne la qualità. Dove la risorsa dipende dal manto nevoso di bacino i cambiamenti nell'idrologia, già molto spesso in atto, saranno più accentuati, pur se, in taluni casi questi sistemi potrebbero ricevere un maggiore apporto di acqua piovana. La scarsità d'acqua in un'area non è determinata solo dal bilancio idrico ma, ad esempio, da una richiesta elevata a causa della crescita della popolazione e dell'aumento degli usi agricoli e agro-industriali. Un indice di sostenibilità dell'approvvigionamento idrico a livello di territorio deve essere basato su fattori di suscettibilità alla siccità, sulle previsioni di aumento della domanda, sul fabbisogno di stoccaggio e sull'uso delle acque sotterranee. Uno studio sviluppato per gli Stati Uniti prevede che il cambiamento climatico aumenterà dal 35% al 75% la percentuale di territorio degli Stati Uniti con moderato o superiore rischio di sostenibilità idrica entro il 2050, termine nel quale triplicherà il numero di territori con alto o estremo rischio di sostenibilità idrica e diventerà 14 volte tanto il numero di aree a rischio estremo[92].

La crisi idrica che l'India sta attraversando è emblematica di questo tipo di emergenza climatica. Le condutture d'acqua si sono seccate a Chennai, la capitale dello stato meridionale del Tamil Nadu, una città di otto milioni di abitanti sul Golfo del Bengala, e in altre 21 città indiane le risorse idriche municipali non sono in grado di soddisfare la domanda. Nel 2017 la città ha avuto il 45% di precipitazioni rispetto al normale ed è rimasta senza pioggia per 200 giorni. Alcune parti della città sono rimaste senza acqua corrente per cinque mesi. L'Asia del sud è sempre stata vulnerabile ai capricci dei monsoni che forniscono il 70% della sua acqua in pochi mesi e alimentano i suoi fiumi, ricaricando le falde acquifere. Il resto dovrebbe venire dall'acqua di disgelo himalayana che, in piena crisi di scarsità, alimenta 1,65 miliardi di persone. La crisi, riferisce la stessa fonte, affligge le città da Città del Capo a Città del Messico fino a San Paolo, in Brasile. Quasi la metà della popolazione umana vive con una scarsità d'acqua, in luoghi che non sono in grado di soddisfare i bisogni di bere, cucinare e avere servizi igienici minimi[93]. Secondo le Nazioni Unite, n tutto il mondo, acqua e servizi igienici inadeguati uccidono 780.000 persone ogni anno[94].

---

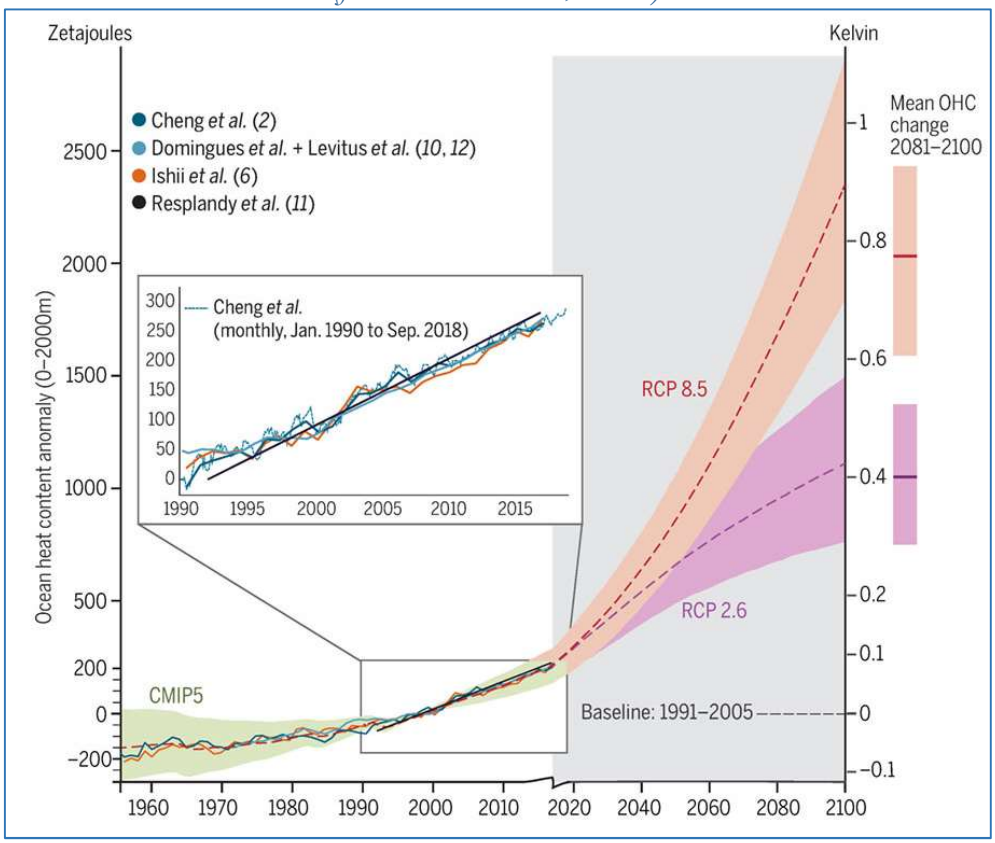
[92] S.B. Roy et al., 2012. *Projecting water withdrawal and supply for future decades in the US under climate change scenarios*, Environ. Sci. Technol. 46, pp. 2545–56.
[93] NY Times, 2019, *India's Terrifying Water Crisis,* Numero del 15 luglio 2019
[94] UN, 2019, *World Water Development Report. Leaving no one behind*, in: *https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019/*

4.4.3. *Innalzamento del livello e acidificazione degli oceani*

Il sollevamento in corso dei livelli oceanici e marini è destinato ad aggravarsi per gli effetti a lungo termine della crisi climatica. È imputabile ad una molteplicità di fattori, alcuni dei quali fortemente dipendenti dall'evoluzione futura degli assetti climatici difficilmente quantificabili nel tempo e nella dimensione. Il sistema oceanico potrebbe essere soggetto ai cosiddetti effetti di nonlinearità, il cui aspetto più inquietante è la irreversibilità di questi fenomeni oltre i *tipping point*, punti di non ritorno, in particolare del *pattern* delle correnti oceaniche dal quale, a tutti gli effetti, è dipeso l'attuale sviluppo della civiltà umana. Sulla base delle osservazioni paleoclimatiche si ritiene che tali fenomeni non abbiano a verificarsi al di sotto dell'anomalia termica di 2 °C.

Il sollevamento del mare dipende per metà dall'espansione volumetrica della massa d'acqua determinata dal global warming e dal conseguente aumento del contenuto termico degli oceani, come messo in luce dal Rapporto IPCC AR5 (cit.). Ne sono rappresentate in Fig 4.17. la serie storica e le previsioni secondo il migliore (RCP 2.6, violetto) e il peggiore (RCP 8.5, rosa) degli scenari a fine secolo.

Figura 4.17. Innalzamento del contenuto termico degli oceani: serie storica e proiezioni (fonte IPCC AR5, 2014)

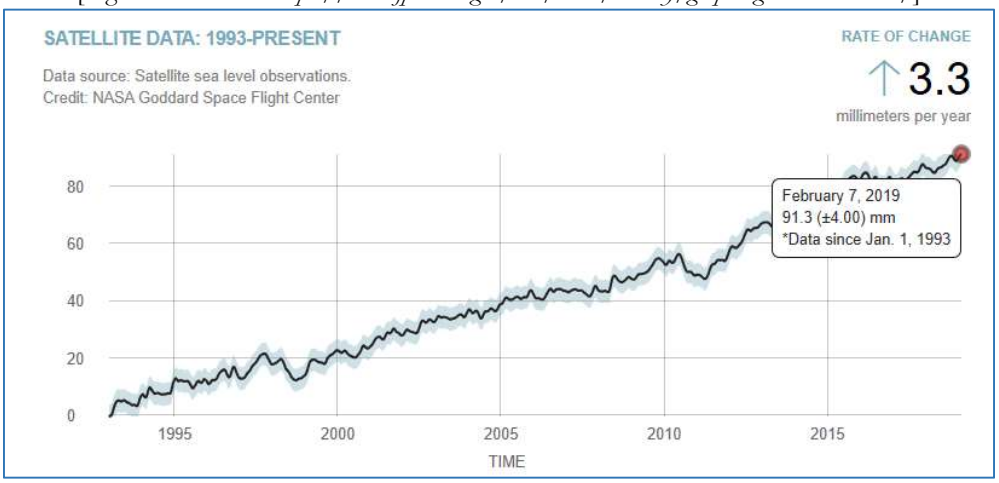


L'osservazione del livello marino medio e locale è oggetto di continue osservazioni scientifiche da terra e dai satelliti. I livelli medi del mare sono aumentati di 23 cm dal

1880, 3/8 negli ultimi 25 anni. Ogni anno, il mare sale di altri 3,3 mm in media, ma a ritmi crescenti (Fig. 4.18). La fusione estiva dei ghiacciai e la diminuzione delle precipitazioni nevose creano uno squilibrio tra il deflusso e l'evaporazione dell'oceano, provocando l'innalzamento dei livelli del mare. Le temperature più elevate hanno causato la riduzione delle calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartide. A questi fenomeni è imputabile l'altra metà del sollevamento dei livelli oceanici medi.

Figura 4.18. Livello del mare nella serie storica recente (fonte: NOAA, 2019)

[Figura sul web in: *https://www.jpl.nasa.gov/edu/teach/activity/graphing-sea-level-trends/*]



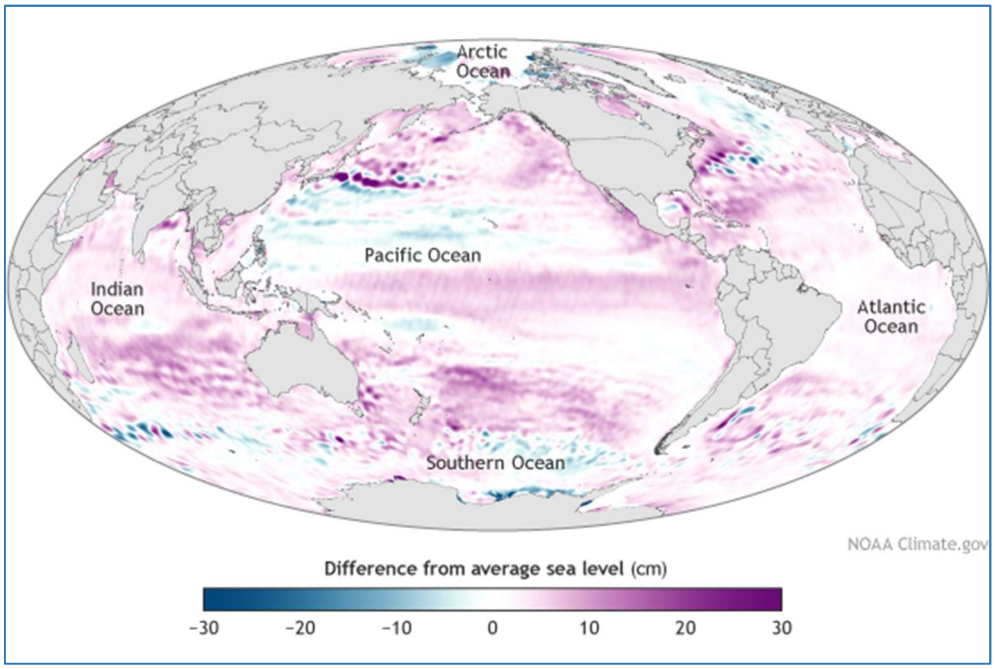
È comune a gran parte delle popolazioni mondiali muoversi quando possibile verso le *aree costiere* che oggi, a causa dei cambiamenti climatici, risultano esposte al sollevamento del livello marino, alla forza delle mareggiate, alle inondazioni, all'erosione del litorale ed alla penetrazione dell'acqua salata nelle falde acquifere dolci. Nella zona dei mari caldi tropicali, dove le tempeste si formano, il movimento dei nuclei ciclonici è destinato ad impattare zone costiere densamente abitate come sta accadendo, con conseguenze sempre più gravi, nella Cina meridionale, nel Sud Est asiatico e nel golfo caraibico. Più di un terzo della popolazione mondiale vive attualmente sulle coste e gran parte delle grandi città sono costiere. Le estrapolazioni demografiche prevedono che le comunità costiere diverranno presto ancora più densamente popolate ovunque. L'impatto economico e sociale dei rischi nella zona costiera aumenterebbe quindi anche se la frequenza e l'intensità dei fenomeni non aumentassero sotto la spinta dei cambiamenti climatici.

Gli habitat costieri non colonizzati dall'uomo come le zone umide, le dune e le mangrovie, che sono parte essenziale del capitale naturale, sono in grado di proteggere le persone e le infrastrutture contro l'erosione del litorale e le inondazioni causate dalla combinazione dell'innalzamento del livello del mare, dalle onde indotte dalla tempesta e dalla forza dei fenomeni marini tempestosi. Con il procedere del cambiamento climatico la protezione offerta da questi habitat diventerà più preziosa. L'innalzamento del livello

del mare è tutt'altro che uniforme nel mondo, come illustrato nella Fig 4.19. Alcune località registrano un aumento maggiore a causa del terreno, di fattori idrologici locali e delle correnti oceaniche. I miglioramenti apportati alla modellazione ad alta risoluzione hanno reso possibile la mappatura degli aumenti del livello del mare previsti in località specifiche, sia nel caso peggiore sia nei casi previsti. Questa consapevolezza del pericolo ha consentito una pianificazione e azioni positive per mitigare l'impatto.

Fig. 4.19. Ineguale accrescimento del livello oceanico nel 2014 rispetto alla media ventennale al 2013 (fonte: NOAA)

[Ricavato Hi-res da *http://climate.org/wp-content/uploads/2016/10/SLR.png*]

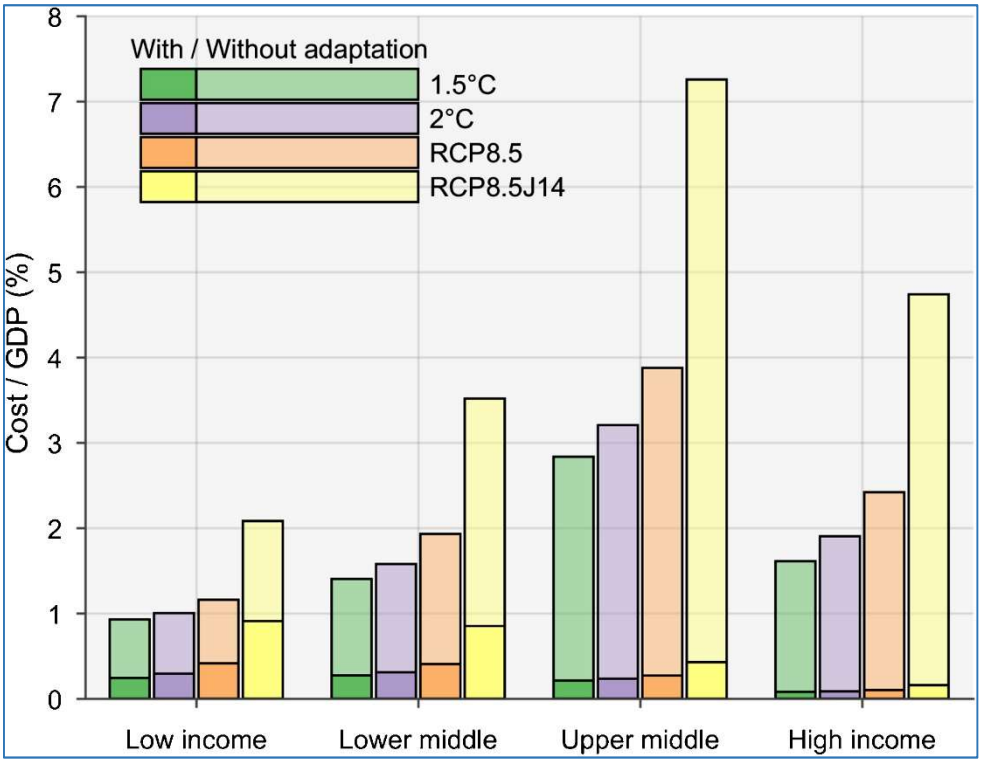


I motivi per proteggere gli habitat costieri, e per ripristinarli dove sono già stati danneggiati, è che essi possono fornire una protezione di gran lunga migliore rispetto alle soluzioni ingegneristiche *dure* come i muraglioni e le dighe. Questi ecosistemi hanno bisogno di poca manutenzione a costi minori e in molti luoghi possono offrire un'ampia gamma di benefici naturali. Bene lo sanno gli abitanti delle piccole isole oceaniche e delle terre basse come il Bangladesh che sono oggi le prime vittime del cambiamento climatico e i più ferventi sostenitori delle politiche di mitigazione e contrasto. Se la strategia di ripristino dell'habitat costiero utilizza il denaro che si può ricavare per la ricostruzione dagli usi turistici, ricreativi e di *watching* della fauna selvatica, il beneficio in rapporto al costo per le soluzioni di ingegneria *soft* può superare quello di una soluzione dura. Ad esempio, ripristinare le barriere coralline aiuta a proteggere la costa e i suoi abitanti ma crea anche posti di lavoro, turismo, e migliora la pesca. Questo tipo di investimenti, non solo recupera il capitale naturale ma si ripaga, secondo alcuni studi, in tempi inferiori ai dieci anni.

Per misurare i danni economici dell'aumento del livello del mare sono comunemente utilizzate le stime locali del costo diretto (DC) [95]. Tali stime soffrono di tre limitazioni: i valori delle risorse minacciate non sono ben definiti; non sono considerati gli aumenti dei prezzi al consumo e nemmeno l'impatto sul commercio internazionale. L'incertezza delle stime a livello globale riguardo ai valori delle risorse in gioco arriva al 36%. Inoltre, le perdite globali, se si tiene conto delle variazioni dei prezzi, sono il 13% più alte delle stime dirette[96]. In caso di fallimento dell'obiettivo di Parigi, le inondazioni causate dall'innalzamento del livello del mare potrebbero costare 14.000 GUS$ l'anno in tutto il mondo entro il 2100. I paesi a reddito medio-alto come la Cina vedrebbero il maggiore aumento dei costi delle inondazioni, mentre i paesi a più alto reddito ne risentirebbero meno, grazie agli alti livelli di protezione esistenti. Più di 600 milioni di persone vivono in zone costiere a bassa quota, a meno di 10 metri sul livello del mare.

Figura 4.20. Costo totale annuale delle inondazioni con e senza adattamento in % del PIL per fasce di reddito nazionali (fonte: Jevrejeva, 2018, cit.)

[High resolution image in: *https://iopscience.iop.org/1748-9326/13/7/074014/downloadHRFigure/figure/erlaacc76f6*]



Con una traiettoria di aumento della temperatura di 1,5 °C, entro il 2100 il livello mediano del mare sarà aumentato di 0,52 m, ma se l'obiettivo dei 2 °C viene perso,

[95] University of Sussex, 2016, *Full economic impacts of sea level rise: loss of productive resources and transport disruptions*, Working Paper Series n° 99-2016, in: *https://www.sussex.ac.uk/webteam/gateway/file.php?name=wps-99-2016.pdf&site=24*

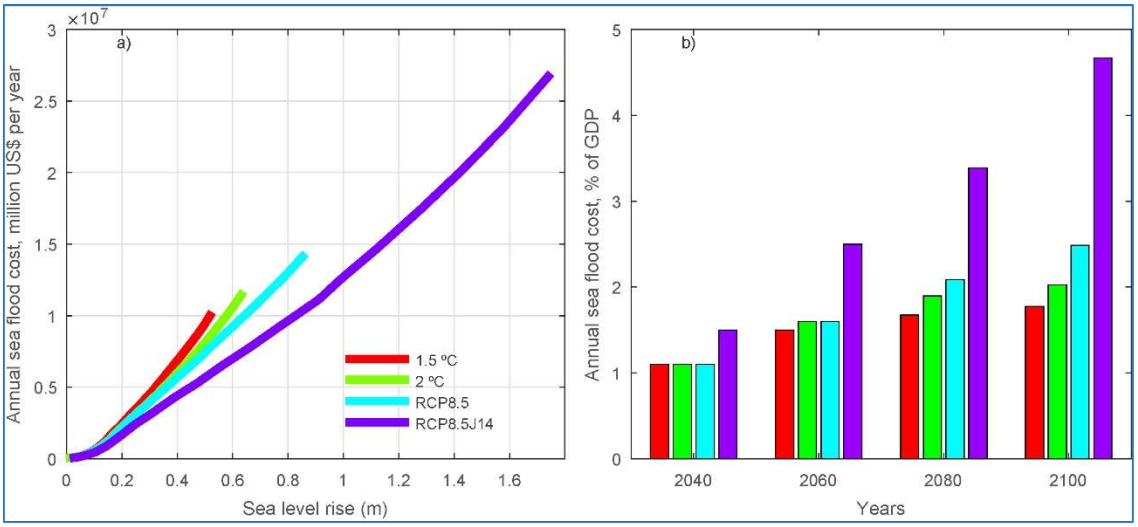
[96] Bosello F. et al., 2011, *Economic impacts of climate change in Europe: Sea-level rise*, Climatic Change, (2012) 112:63–81, DOI 10.1007/s10584-011-0340-1

vedremo un innalzamento medio del livello del mare di 0,86 m e nel caso peggiore di 1,8 m[97].

Al 2040 la differenza tra i costi delle inondazioni associati a 1,5 e 2 °C, con una differenza di 2,8 cm nell'innalzamento del livello del mare, è stimata in 0,3 GUS$ l'anno, 0,1% del PIL globale. Entro la fine del XXI secolo i costi globali delle inondazioni si aggirano intorno ai 10.200 GUS$ l'anno, 1,8% del PIL, sotto 1,5 °C e ai 11.700 GUS$ l'anno, 2% del PIL, sotto 2 °C, se nessun ulteriore adattamento è intrapreso. Entro il 2100 la differenza di 11 cm tra l'innalzamento globale del livello del mare con riscaldamento di 1,5 e 2 °C comporterà costi aggiuntivi di 1.500 GUS$ l'anno, 0,25% del PIL costiero globale, sempre in assenza di ulteriore adattamento (Fig.4.21). Se, mancato l'obiettivo di 2 °C e seguendo lo scenario IPCC RCP8.5, con un aumento mediano del livello del mare nel 2100 di 0,86 m, fino al caso limite di 1,8 m, i costi globali annui delle inondazioni senza adattamento aggiuntivo sono previsti in 14,300 GUS$, 2,5% del PIL per lo scenario mediano e fino a 27.000 GUS$, pari al 4,7% del PIL globale per 1,8 m.

Figura 4.21. Costo totale annuale delle inondazioni con e senza adattamento in % del PIL per fasce di reddito nazionali (fonte: Jevrejeva, 2018, cit.)

[High resolution image in: *https://iopscience.iop.org/1748-9326/13/7/074014/downloadHRFigure/figure/erlaacc76f4*]



Nella figura a) sono riportati i costi globali annui delle inondazioni marine in GUS$ per anno senza adattamento aggiuntivo per gli 1,5 °C (linea continua rossa), i 2 °C (verde), lo scenario RCP8,5 (mediano, blu chiaro) e RCP8.5 (estremo, blu scuro). Il pannello b) quota i costi globali delle inondazioni come percentuali del PIL globale, senza adattamento aggiuntivo per l'innalzamento del livello del mare con 1,5 e 2 °C, e i due scenari RCP8.5 al 2040, 2060, 2080 e 2100.

[97] Jevrejeva S., 2018, *Flood damage costs under the sea level rise with warming of 1.5 °C and 2 °C*, Environmental Research Letters, Volume 13, Number 7m, in: *https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aacc76*

Il problema dell'acidificazione delle acque oceaniche nasce dall'assorbimento della CO_2: gli oceani assorbono attualmente circa un terzo delle emissioni di CO_2 create dall'uomo, circa 22 Mt al giorno. A sua volta la densità di acido carbonico nelle acque oceaniche a bassa profondità aumenta. Negli ultimi 300 milioni di anni, il pH oceanico è stato leggermente basico, con una media di circa 8,2. Oggi, è intorno all'8,1, una goccia di 0,1 unità di pH, che rappresenta un aumento del 25% nell'acidità negli ultimi due secoli. Le proiezioni basate su questi numeri mostrano che entro la fine di questo secolo, le emissioni continue potrebbero ridurre il pH dell'oceano di altre 0,5 unità.

Figura 4.22. Effetti del coral bleaching causato dall'acidificazione, a destra, a fronte di una barriera corallina in salute, a sinistra (fonte: Independent Environment, 2019)
[immagini ricavate da *https://www.independent.co.uk/environment/climate-change-crisis-rich-poor-wealth-apartheid-environment-un-report-a8974231.html*]

Gli animali che formano guscio tra cui coralli, ostriche, gamberetti, aragoste, molti organismi planctonici e persino alcune specie ittiche potrebbero essere gravemente colpiti. Altrettanto preoccupante è il fatto che man mano che gli oceani continuano ad assorbire CO_2, la loro capacità di stoccaggio del carbonio potrebbe diminuire lasciandone una parte maggiore nell'atmosfera ed aggravando ulteriormente i cambiamenti climatici globali.

I coralli, per effetto combinato del riscaldamento e dell'acidificazione delle acque, vanno incontro a *stress* per un fenomeno noto come *coral bleaching* (Fig. x.y.) ormai diventato massivo. Secondo il Rapporto IPBES (cit.) i *reef* corallini saranno soggetti a fenomeni crescenti legati al riscaldamento delle acque ed ai periodi di sollievo sempre più ridotti, tanto che anche entro il limite più impegnativo dell'Accordo di Parigi degli 1,5 °C, se ne prevede una perdita a fine secolo del 70 – 90%. Se il riscaldamento sarà di anche solo 2°C la perdita prevista degli ecosistemi corallini raggiungerà il 99%.

Una valutazione economica del danno globale dell'acidificazione degli oceani è virtualmente impossibile. Alcuni fautori della geoingegneria terrestre e marina propongono la fertilizzazione degli oceani con il ferro, con costi estremi ed esiti incerti.

4.4.4. Degrado della produttività alimentare

Il danneggiamento degli ecosistemi e dei relativi servizi per effetto dei cambiamenti climatici ha un forte impatto sull'agricoltura. Questa attività, essenziale tanto più quanto minore è lo sviluppo industriale di un territorio, combina i processi del suolo, dei nutrienti e dell'acqua con la luce del sole, i macchinari e il lavoro per produrre risorse alimentari. Il clima che cambia altera la capacità di utilizzare i servizi dell'ecosistema che supportano la produzione di alimenti, mangimi e fibre. Sebbene nei paesi sviluppati l'agricoltura contribuisca al PIL ed all'occupazione per pochi percento, ogni rilevante alterazione causata dal cambiamento climatico nelle colture agricole e nella zootecnia dei grandi paesi aumenta i prezzi alimentari e peggiora gli standard di vita in tutto il mondo.

Secondo alcune valutazioni[98] il cambiamento climatico farebbe aumentare i prezzi globali per grano, mais e per la carne bovina, per citare solo tre prodotti, rispettivamente del 90%, 50% e 20% entro il 2050. Sono prezzi che influenzerebbero notevolmente il benessere di molte famiglie occidentali e molto gravemente le comunità in via di sviluppo, per le quali i prezzi agricoli sono determinanti per la qualità della vita.

Il cambiamento climatico interferisce con l'agricoltura in diversi modi. Le temperature più calde di quelle storiche nella stagione di crescita ridurranno i rendimenti della maggior parte delle colture. In secondo luogo, i tentativi di adattamento per far fronte agli *shock* termici e ai regimi alterati delle precipitazioni saranno ostacolati dalla rigidità spaziale della maggior parte delle fonti di irrigazione e dal deficit generalizzato degli investimenti nella ricerca pubblica e nello sviluppo agricoli. Inoltre la coltivazione di determinate risorse, forzata dal cambiamento climatico, potrebbe dover essere spostata in territori più favorevoli sconvolgendo gli schemi consolidati del commercio agricolo internazionale. Il rischio di compromettere costi e convenienze per molti paesi è alto e la prevedibilità è modesta. Si potrebbe opporre che i cambiamenti di scenario potrebbero fare spazio a nuove opportunità per alcuni paesi. Potremmo avere ad esempio i sospirati impianti di uva da vino in Gran Bretagna ma, quel che è certo è che non sarebbe un gioco a somma zero sol che si pensi alla perdita di grandi aree produttive e forestali per gli effetti della desertificazione, delle alluvioni, della scarsità d'acqua, delle migrazioni climatiche etc.

È tuttavia opinione condivisa che per l'agricoltura ci siano grandi spazi per l'adattamento, anche sostenuti dalle nuove tecnologie, digitalizzazione compresa, da tecniche di risparmio idrico e dalla selezione delle cultivar. La portata e il costo delle misure adattative che il settore agricolo intraprenderà nel tentativo di mantenere alta la

[98] Nelson et al., 2009, *Climate change: impact on agriculture and costs of adaptation*, Washington DC, International Food Policy Research Institute

produttività sono poco prevedibili e fortemente dipendenti dalla natura e dalla collocazione geografica dei suoli. Coltivare in forme innovative su suoli migliorati potrebbe anche ridurre alcuni degli impatti negativi dei cambiamenti climatici, delle moderne tecniche agricole e del degrado della qualità dell'acqua.

L'agricoltura sperimenterà più frequentemente le siccità durante la stagione di crescita, ma riceverà anche precipitazioni eccessive durante il resto dell'anno. Il crescente disallineamento temporale tra la domanda d'acqua e la sua disponibilità potrebbe ostacolare la resa dei raccolti e peggiorare il bilancio dell'acqua di irrigazione. Diffondere e sviluppare le tecniche storiche dello stoccaggio dell'acqua per assorbire le grandi precipitazioni potrebbe ridurre il rischio di alluvioni dopo il disgelo invernale nei paesi temperati e migliorare l'habitat delle zone umide per la fauna selvatica in primavera. Non è certo che soluzioni simili siano praticabili per fermare la desertificazione nei paesi tropicali e subtropicali.

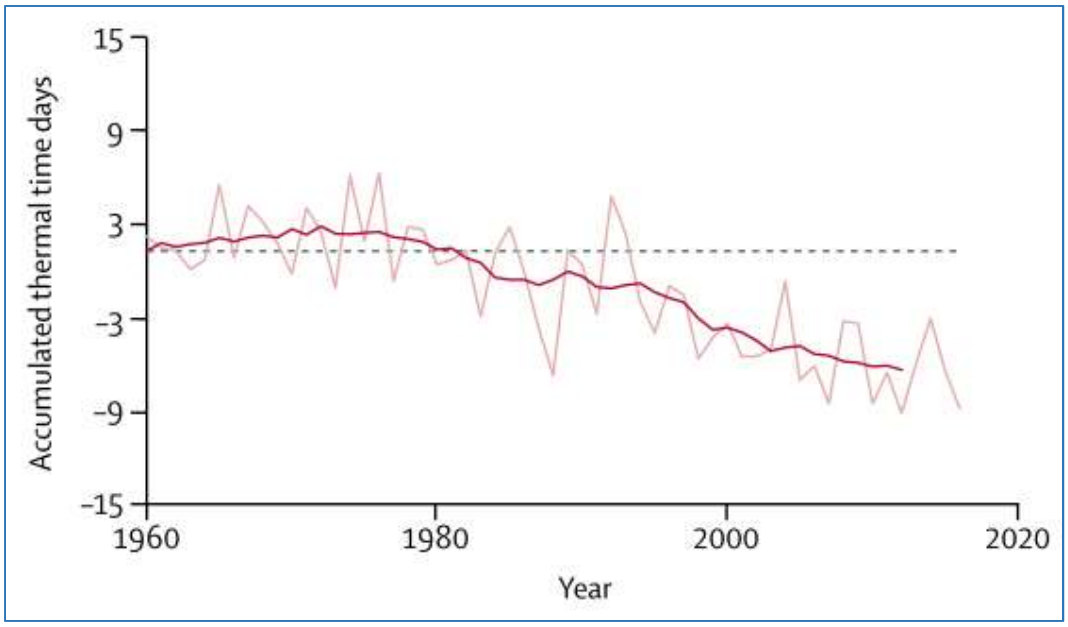
L'industria ittica commerciale comprende raccolta, lavorazione, distribuzione, vendita all'ingrosso, distribuzione ai settori di vendita e vendita al dettaglio. A livello mondiale, il sostentamento di molte comunità dipende ancora dai servizi ecosistemici che sostengono la pesca in mare. Molte specie di pesci richiedono acque più fredde. Il riscaldamento della superficie del mare a causa dei cambiamenti climatici sta producendo una migrazione della fauna marina verso il Polo Nord nel nostro emisfero ad una velocità stimata di 45-49 km per decennio in uno scenario moderato di cambiamenti climatici. I pesci e gli invertebrati che non riescono facilmente a modificare i loro habitat rischiano l'estinzione. Impatti gravi stanno subendo le specie ittiche costituite da molluschi dotati di guscio o che vivono nelle barriere coralline, risorse sempre più a rischio per la acidificazione degli oceani e la crescente temperatura dell'acqua. Al contrario, la produzione di biomassa algale e il relativo habitat delle alghe può aumentare, contribuendo a sostenere le popolazioni ittiche che si affidano a queste risorse per l'alimentazione.

La protezione e il ripristino degli habitat per i giovanili e per gli altri stadi di vita delle specie marine può rafforzare la resilienza degli *stock* di pesca al cambiamento climatico. Tuttavia, ci può essere poca capacità di adattamento per le specie limitate da insufficienti capacità di dispersione o da frammentazione degli habitat già sotto *stress* per altri fattori, come l'inquinamento. Ne può conseguire una accentuata vulnerabilità ai cambiamenti climatici delle comunità di queste zone di pesca. La possibilità di utilizzare una pesca emergente di specie ittiche in eventuale arrivo da aree diverse, o di specie marine precedentemente ignorate, dipenderà largamente dalla adattabilità delle istituzioni economiche, culturali e normative locali.

La sicurezza alimentare e la denutrizione peggiorano per effetto dei cambiamenti climatici. In tutto il mondo vengono prodotti alimenti sufficienti per nutrire la popolazione globale. La disponibilità complessiva di cibo non può però, evidentemente, eliminare le cause locali dell'insicurezza alimentare e della denutrizione. La produzione alimentare è già stata compromessa dagli eventi climatici estremi che sono previsti peggiori e più frequenti ed estremi nei prossimi anni e possono colpire ovunque. Il potenziale dei rendimenti agricoli, che citiamo per gli effetti sulle condizioni di vita, mostra diminuzioni in ogni regione, con 30 paesi che hanno tendenze al ribasso dei rendimenti, invertendo la tendenza al miglioramento durata un decennio[99].

Fig 4.23. Variazione della produttivita colturale del mais rispetto al periodo 1961 - 1990 (fonte: The Lancet, 2018, cit.)

[Fig. 9 in: The Lancet, 2018, cit.]



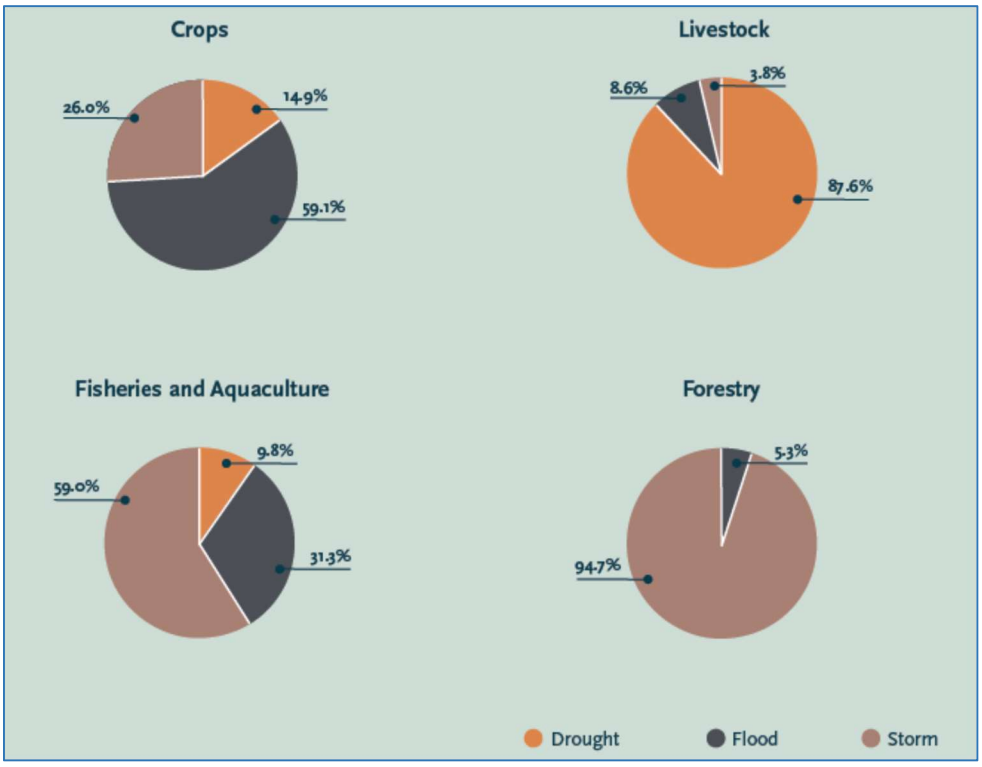
Il potenziale globale della produzione alimentare è frequentemente rappresentato dalle previsioni mediante la crescita delle colture per il mais mediante i gradi giorno accumulati, *Cumulated Thermal Days*, che funge da proxy per il rendimento, e la sicurezza alimentare (Fig. x.y.). Il numero di paesi in trend verso il basso è passato da 56 a 32 tra il 2000 e il 2010, aiutato dall'innovazione tecnologica e gestionale, ma è diminuito troppo poco nel seguito arrivando a 30 nel 2016. Per alcuni paesi, dove il *gap* di rendimento, la differenza tra rendimento reale e potenziale massimo è piccolo, il rendimento in calo riflette gli effetti negativi dei cambiamenti climatici che sovrastano qualsiasi miglioramento tecnologico. Aggregando i dati globali della denutrizione, anche se gli

[99] Watts et al., 2018, *The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come*. The Lancet, 392(10163), pp. 2479-2514

indici assoluti sono diminuiti nell'ultimo decennio, negli ultimi anni è evidente un'inversione di tendenza.

Secondo la FAO[100] i settori agricoli sono influenzati in modo diverso dalle catastrofi legate al clima (Fig. 4.24). Le colture tendono ad essere maggiormente colpite da inondazioni e tempeste, il bestiame è colpito in modo pesante dalla siccità, il settore della pesca e dell'acquacoltura è maggiormente colpito da tempeste, uragani e cicloni e la maggior parte dell'impatto economico sulla silvicoltura è causato da inondazioni e tempeste oltre agli incendi boschivi. Il conteggio FAO attribuisce all'agricoltura il 14% delle perdite e il 30% dei danni per eventi estremi di tutte le origini. La sua analisi per campione su 78 eventi tra il 2003 e il 2013 nei PVS in Africa, Asia – Pacifico, America Latina e i Caraibi evidenzia danni e perdite di 30 GUS$ per l'agricoltura su un totale di 140 in danni combinati e perdite in tutti i settori.

Figura 4.24. Ripartizione delle perdite per settore a causa dei cambiamenti climatici (fonte: FAO)
[Figura a pag. 5 di FAO (cit.) in: *http://www.fao.org/3/a-i6486e.pdf*]



La sicurezza alimentare è anche marina. La temperatura superficiale marina, SST, è aumentata sostanzialmente in 16 delle 21 aree principali di attività di pesca analizzate nei 21 bacini di maggior peso per la produttività primaria marina e per la loro geo-copertura e l'importanza per il cibo marino e la sicurezza. Tra il 2003 e il 2015, la SST è salita in 16 dei 21 bacini analizzati, in aumento di 1,59 °C a livello globale nel 2015 rispetto al 1950.

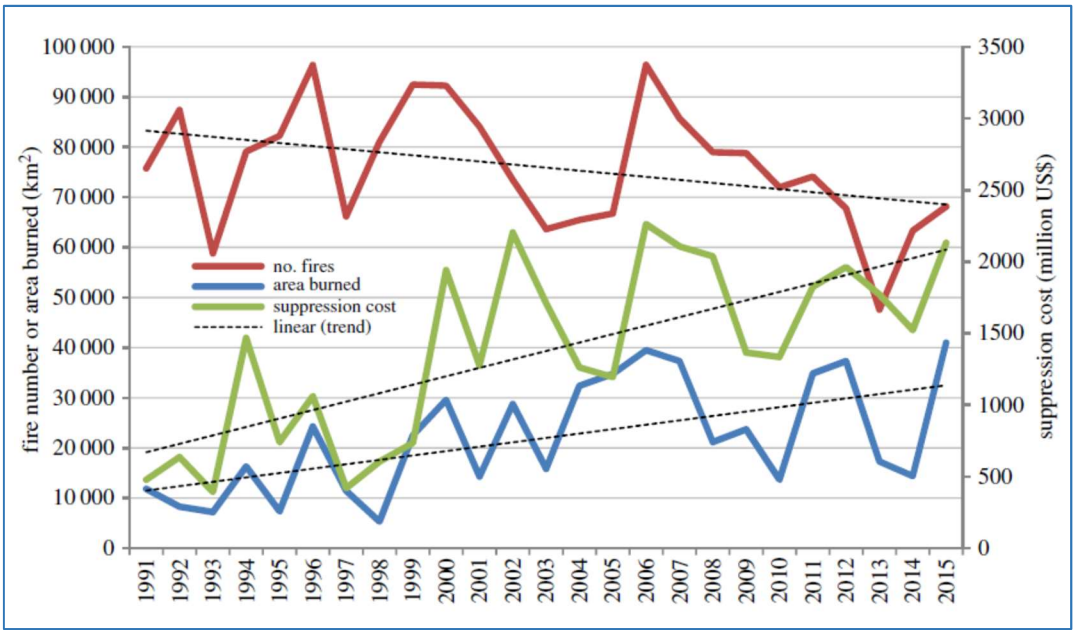
[100] FAO, 2016, *Damage and losses from climate-related disasters in agricultural sectors;* vedi anche: *The impact of disasters on agriculture and food security*,

4.4.5. Incendi boschivi

I cambiamenti climatici stanno avendo gravissime conseguenze sulla diffusione degli incendi boschivi, anche per effetto di attività criminali o irresponsabili. I danni al capitale naturale ed anche al capitale costruito, sono ingenti[101].

Figura 4.25. Superficie bruciata, numero degli incendi e costi dello spegnimento negli Stati Uniti (fonte: Doerr cit.))

[Fig. 3 in Doerr (cit.) in: *https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstb.2015.0345*]



La maggior parte dei *sistemi forestali* si è evoluta in regimi nei quali gli incendi seguono cicli naturali. Altri, come quelli del nostro paese subiscono incendi solo di natura dolosa. Molti dei servizi preziosi che forniscono le foreste, tra cui il legname, l'assorbimento del carbonio atmosferico, la produzione di ossigeno e gli spazi e i paesaggi per la ricreazione vengono degradati dagli incendi violenti che stanno tormentando l'Europa e il Nord America. Nonostante l'impiego di costose misure preventive, ogni anno persone vengono uccise, proprietà e servizi vengono distrutti, i gas serra vengono rilasciati, le opportunità ricreative vengono perse e l'approvvigionamento idrico e la qualità dell'acqua vengono degradati a causa degli incendi.

Ogni ulteriore aumento di temperatura nell'ambiente accelera l'evaporazione, asciuga il terreno e inaridisce gli alberi e la vegetazione, trasformandoli in combustibile pronto per un incendio. Anche durante un anno piovoso, un'intensa ondata di calore può soffocare le foreste tanto da fare in modo che sia come se la pioggia non cadesse mai. È dunque il caldo a provocare un'esplosione valutabile nell'800% per cento negli incendi boschivi

[101] Doerr et al., 2016, *Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing World*, Phil. Trans. R. Soc. B 371: 20150345, in: *http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0345*

negli Stati Uniti. Nel secolo scorso, gli americani erano riusciti a eliminare gli incendi, evitando gli accumuli di residui combustibili nel sottobosco. Poiché negli ultimi cinque decenni le foreste sono rimaste le stesse, al netto di alcune riduzioni nei budget della pulizia forestale, il cambiamento non può dunque che essere quello causato dall'aumento della temperatura dell'aria[102].

Figura 4.26. Incendio forestale a Monchique, Portogallo, Agosto 2018. (fonte: EPA)
[Immagine ricavata dal Guardian: *https://www.theguardian.com/environment/2019/feb/02/the-devastation-of-human-life-is-in-view-what-a-burning-world-tells-us-about-climate-change-global-warming*]

La situazione degli incendi boschivi sta peggiorando, in particolare nei territori colpiti da lunghe siccità come l'Australia o la California dove dagli anni '80 ad oggi l'incidenza dei grandi incendi boschivi è aumentata di quattro volte e la superficie totale bruciata è aumentata di sei volte[103]. Molto di questo aumento può essere imputato ai cambiamenti climatici, particolarmente per le alte temperature primaverili ed estive. Come per le alluvioni, sarebbe raccomandabile non costruire ai margini delle grandi foreste occidentali. Foreste ben gestite con pratiche di diradamento attivo non solo preziose per la produzione di legname, ma possono limitare la perdita di una serie enorme di servizi ecosistemici e contenere i già gravi danni economici.

Particolare attenzione hanno ricevuto gli incendi californiani negli ultimi anni. La Munich Re ha dichiarato che nel 2018 il peggior incendio, quello di *Camp Fire,* ha causato 16,5 GUS$ di danni, il 10% solo lui del totale mondiale per eventi estremi di 160 GUS$.

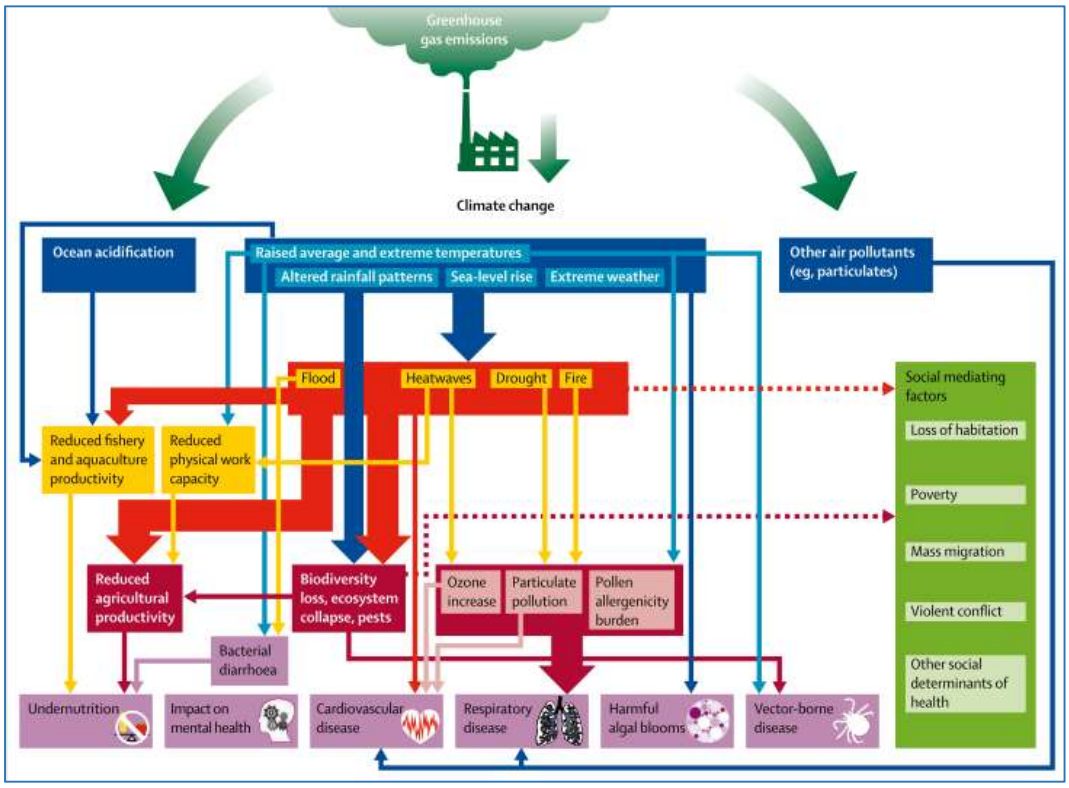
[102] Peter Howard, 2014, *Flammable Planet: Wildfires and the Social cost of carbon*
[103] Westerling et al., 2006, *Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity*, Science 313, pp. 940–43.

4.5. Impatti sulla salute umana ed il benessere

L'aggravamento degli impatti dei cambiamenti climatici, dell'esposizione e della vulnerabilità configura un livello inaccettabile di rischio per la salute attuale e futura delle popolazioni di tutto il mondo. Si tratta degli effetti delle ondate di calore, degli impatti sulle capacità di lavoro, delle malattie infettive trasmissibili e della sicurezza alimentare. La comprensione che il clima che cambia è ormai un problema centrale per la salute dell'uomo è un passaggio obbligato perché sia possibile fornire una risposta adeguata per livello e per rapidità e a far sì che le professioni sanitarie si assumano appieno l'onere di questa sfida. Lo schema delle interdipendenze tra clima e salute è in Fig. 4.27 [104]

Figura 4.27. Dipendenza della salute dai cambiamenti climatici (fonte: The Lancet, 2018, cit.)

[Fig. 1 in: The Lancet, 2018, cit.]



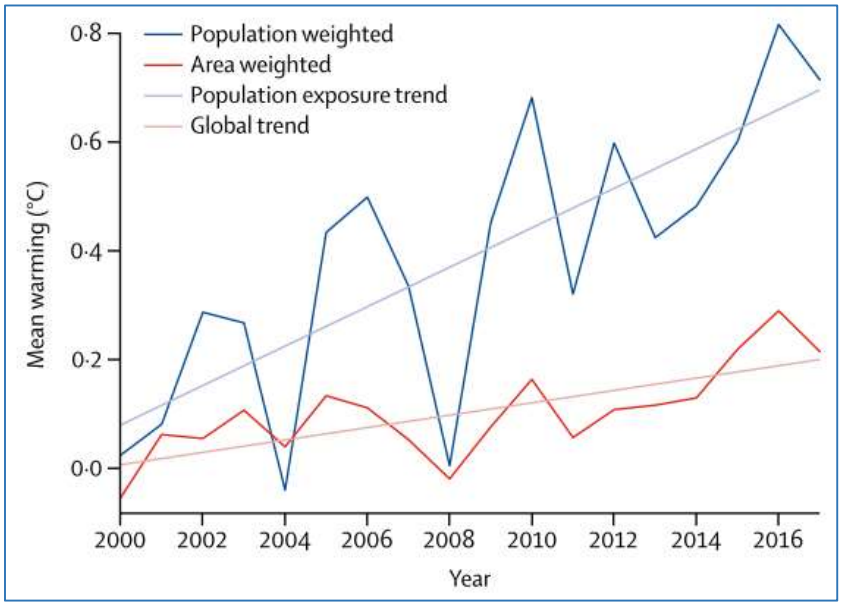
La vulnerabilità alle ondate di calore[105] è aumentata costantemente dal 1990 in ogni regione, con 157 milioni di persone in più esposte a eventi termici estremi nel 2017 rispetto al 2000 con una esposizione media per persona aumentata di 1 - 4 giorni all'anno nello stesso periodo. Nel 2017 gli eventi sono stati 18 milioni in più rispetto al 2016. È dimostrato che il 68% di tutti gli eventi estremi è stato reso più probabile o più severo dai cambiamenti climatici antropogenici. Il 43% di questi eventi sono ondate di calore, il

[104] The Lancet, 2018, *The 2018 report of The Lancet countdown*, in: *http://www.lancetcountdown.org/the-report/*
[105] Robine J.M. et al, 2008, *Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003*, in: *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069107003770#!*

17% siccità e il 16% piogge violente o alluvioni. In relazione alla grave ondata di calore del 2003 in Europa, che ha causato 70.000 morti, c'è una stima che attribuisce 506 dei 735 decessi di Parigi, e 64 dei 315 a Londra, ai cambiamenti climatici che hanno aggravato quel fenomeno. Per le economie nazionali e i risparmi delle famiglie sono state perse 153 miliardi di ore di lavoro nel 2017, un aumento di oltre 62 miliardi di ore (2 - 3 miliardi di settimane di lavoro) dal 2000. L'80% di queste perdite sono state in agricoltura. Le aree più colpite sono concentrate in aree già vulnerabili in India, Asia sud-orientale, Africa sub-sahariana e meridionale e America meridionale.

Fig 4.28. Popolazione e territori impattati dal riscaldamento estivo (fonte: The Lancet, 2018, cit.)

[Fig. 2 in: The Lancet, 2018, cit.]



Le popolazioni in Europa e nel Mediterraneo orientale sono particolarmente a rischio, con il 42 e il 43% delle persone *over 65* vulnerabile all'esposizione al caldo e quindi a cause di morbilità e mortalità come *stress* termico, malattie cardiovascolari e malattie renali. Sono particolarmente vulnerabili gli individui portatori di malattie cardiovascolari, diabete, malattie respiratorie croniche e quelli che vivono in aree urbane. In tutte le regioni del mondo, la proporzione di popolazione vulnerabile all'esposizione alle ondate di calore è in aumento. Nei paesi a reddito medio – basso (LMIC), a fronte dell'aumento termico si evidenzia un'accelerazione delle malattie non-infettive, in particolare nel sud-est asiatico, dove la vulnerabilità è aumentata del 3,5% dal 1990. Alcuni studi riportano che l'ondata *record* di calore che ha colpito il Giappone per un mese nell'estate del 2018 con 1.032 morti non avrebbe potuto essere così grave senza il *global warming*[106]. Nel 2017,

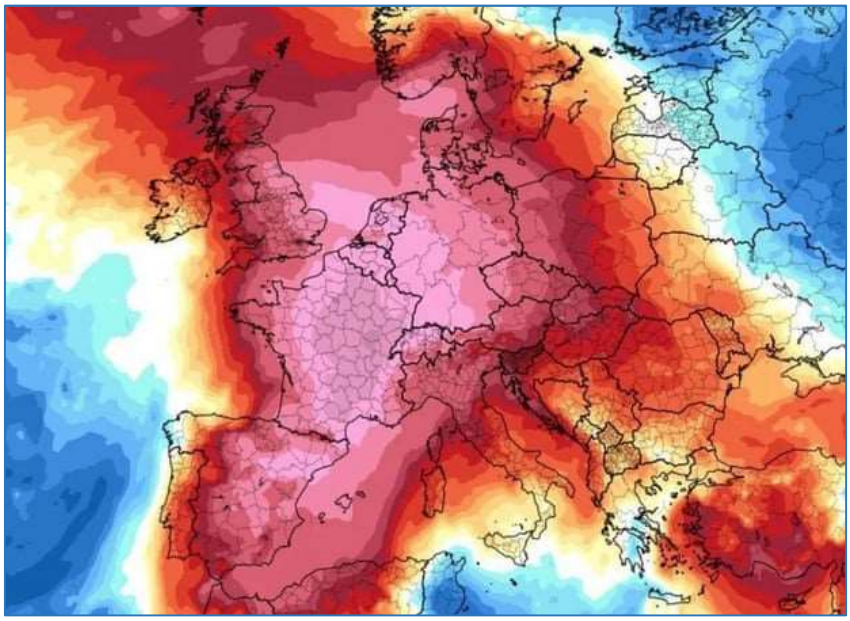
[106] The Meteorological Society of Japan, 2019, *The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming*, Scientific Online Letters on the Atmosphere, Vol.15A, 8-11(TBA), in: *https://www.jstage.jst.go.jp/article/sola/advpub/0/advpub_15A-002/_pdf/-char/ja*

anche se l'aumento della temperatura media globale rispetto al 1986-2005 è stato di 0,3 °C, l'aumento dell'esposizione umana alla temperatura, cioè l'aumento della temperatura in zone popolate, è stato di 0,8 °C, più del doppio.

Scriviamo queste note nel mese di giugno e luglio 2019 mentre in Spagna, Francia, Germania e Italia del nord è in atto un'ondata di calore senza precedenti: *Hell is coming*, secondo la stampa spagnola.

Fig 4.29. L'incredibile estensione dell'ondata di calore in Europa ad inizio estate 2019 (fonte: The Guardian, 2019)

[da The Guardian in: *https://www.theguardian.com/world/2019/jun/24/hell-is-coming-week-long-heatwave-begins-across-europe*]



Piccoli cambiamenti di temperature e precipitazioni possono portare a grandi cambiamenti nella facilità di trasmissione di importanti malattie veicolate da vettori biologici[107] e dall'acqua. La mortalità da due malattie particolarmente sensibili al clima, la febbre dengue e il melanoma cutaneo maligno, è in costante aumento. I cambiamenti climatici interagiscono direttamente e indirettamente con un'ampia varietà di processi patologici, e agiscono come moltiplicatori per molte delle attuali criticità della salute pubblica.

Per i vettori della dengue[108] il 2016 è stato l'anno peggiore mai registrato. Nel 2016, la capacità vettoriale globale per la trasmissione del virus della dengue era il più alto mai registrato, in aumento dal 9,1% all'11,1% per le varie specie sopra la linea di base degli anni '50. La capacità vettoriale è una misura della capacità dei portatori biologici di

[107] L. H V Franklinos et al, 2018, *The effect of global change on mosquito-borne disease*, Lancet Infect Dis., in: *http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099(19)30161-6*

[108] Jane P. Messina et al., 2019, The *current and future global distribution and population at risk of dengue*, Nature Microbiology, in: *https://www.nature.com/articles/s41564-019-0476-8*

trasmettere un agente patogeno a un *host*. Rispetto agli anni '50, i cambiamenti climatici hanno aumentato la capacità vettoriale globale per i virus della dengue dal 7,8 al 9,6% in media 2011-16. Le previsioni suggeriscono che questo aumento continuerà per i vettori dengue al passo con le emissioni dei gas a effetto serra. I contributi della globalizzazione e della aumentata mobilità del vettore del virus della dengue sono altrettanto rilevanti. Esaminando le aree ad alto rischio, la regione baltica ha avuto un aumento del 24% sulla zona costiera per le epidemie da vibrione del colera e, nel 2016, gli altipiani dell'Africa sub-sahariana hanno visto un aumento del 27,6% della trasmissione della malaria dal dato di base del 1950.

La mortalità per tutte le cause è in forte diminuzione in Africa e nel sud-est asiatico. Le morti causate da malattie diarroiche sono in marcata diminuzione, specialmente in Africa. Al contrario, la mortalità da febbre dengue sta aumentando rapidamente, soprattutto nel sud-est asiatico e nelle Americhe. I tassi di mortalità per il melanoma maligno, che ha un ritardo decadale dall'esposizione alle radiazioni ultraviolette alla morte, sono aumentati notevolmente in Europa, nelle Americhe e nel Pacifico occidentale.

Passando alle malattie infettive trasmesse dall'acqua, nelle regioni con condizioni di salinità adeguate, le anomalie della temperatura della superficie del mare causano un aumento dei casi di infezioni da vibrione. Le malattie provocate da vibrione (vibriosi) comprendono il colera, la gastroenterite, le infezioni delle ferite e la setticemia e possono essere contratte in acque marine salmastre. Una chiara tendenza al rialzo è osservabile a livello globale, in particolare nell'emisfero nord, benché il 2017 sia stato un anno anomalo di diminuito impatto. La percentuale di area costiera più esposta alle infezioni da vibrione nel 2010 è aumentata alle alte latitudini del 3,5% rispetto agli anni '80. Nello stesso periodo, in due regioni ad alto rischio, la regione baltica e gli Stati Uniti nord-orientali, sono stati osservati in area costiera aumenti rispettivamente del 24 e del 27%. Il numero di giorni a rischio per l'infezione è quasi raddoppiato nella regione baltica, estendendo la stagione a più alto rischio di circa 5 settimane.

Per quanto riguarda la malaria, diffusa dal Plasmodium, si verifica un significativo innalzamento delle condizioni favorevoli all'infezione nelle aree montuose dell'Africa, con un aumento del 21% nel 2010 rispetto agli anni '50 e con il 27% nel 2016, il quarto anno peggiore.

Il cambiamento climatico aggrava i rischi per la salute mentale e il benessere delle persone per effetto della frequenza, durata, intensità e imprevedibilità dei fenomeni meteorologici. Questi effetti aumentano il numero di persone esposte o riesposte a eventi estremi e aggravano i conseguenti problemi psicologici, fino al suicidio o a

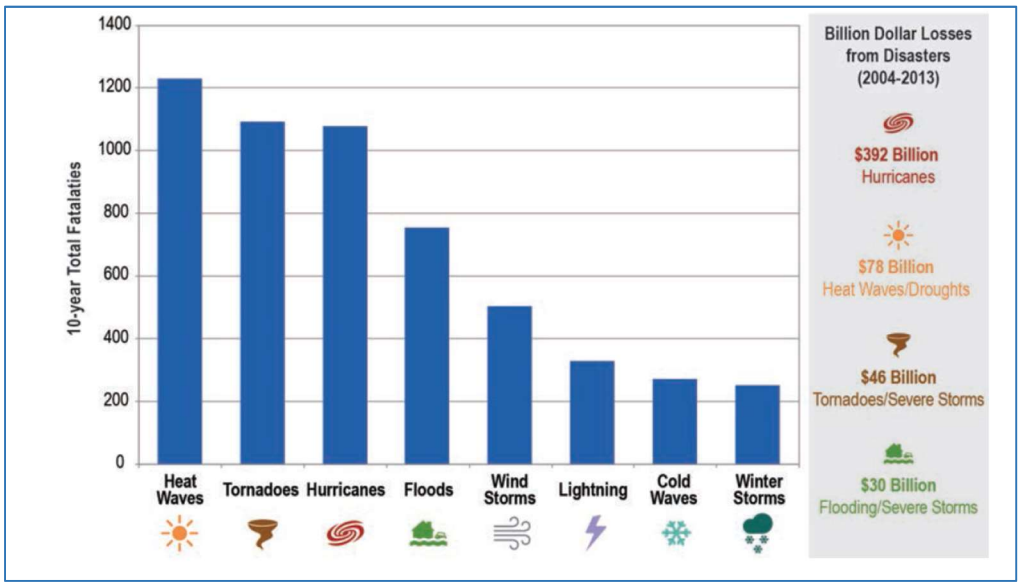
manifestazione estreme dei traumi subiti. A causa della loro frequenza, durata e intensità in rapida crescita, le ondate di calore sono, con grande evidenza, di particolare impatto, generando aumentati disagi della popolazione, ricoveri ospedalieri psichiatrici e suicidi.

Gli impatti sulla salute di eventi estremi di precipitazione, alluvioni e siccità, evidenziano una maggiore esposizione in grandi aree del Sud America, dell'Africa settentrionale e meridionale e del sud-est asiatico, con molte aree che vivono a pieno dodici mesi di siccità per tutto l'anno. Proprio la siccità prolungata rimane una dei più pericolosi determinanti ambientali della mortalità prematura, anche a causa della ridotta resa delle colture, dell'insicurezza alimentare e della malnutrizione, che a sua volta porta a morte i bambini piccoli. La diffusione delle malattie trasmessa dall'acqua, la ridotta disponibilità di acqua potabile e le migrazioni per effetto della riduzione delle terre arabili e abitabili spesso si aggiunge e logora ulteriormente la resilienza delle popolazioni.

Inondazioni e precipitazioni estreme hanno gravi implicazioni sulla salute e il 15% di tutti i decessi correlati ai disastri naturali sono dovuti alle alluvioni. In aggiunta ai ferimenti e alle morti provocate al momento delle alluvioni, a lungo termine gli impatti sulla salute comprendono la diffusione di malattie infettive e le malattie mentali, esacerbate dalla distruzione di infrastrutture, case e insediamenti. Il caso di studio americano è in Fig. 4.30[109].

Figura 4.30. Decessi e danni economici da eventi estremi negli Stati Uniti dal 2004 al 2013 (fonte: US Global Change, cit.)

[Figura 1 di pag. 101 del US Global Change, cit.]



Come la siccità, i cambiamenti nelle piogge estreme variano a livello regionale, con aumenti particolarmente evidenti in Sud America e Asia sud-orientale. Qui ci sono le più

[109] US Global Change, 2016: *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment,* U.S. Global Change Res. Program, Washington, in: *http://dx.doi.org/10.7930/J0R49NQX*

gravi tendenze regionali rispetto alle tendenze globali medie. Le frequenze annuali di alluvioni ed ondate di calore sono aumentate dal 1990, senza una chiara tendenza al rialzo o al ribasso nella letalità di un singolo evento. Le proiezioni suggeriscono che, senza mitigazione, il cambiamento climatico porterà ad ulteriori 1 - 4 miliardi di eventi di esposizione alla siccità all'anno e 2 miliardi di eventi di alluvione all'anno alla fine del secolo. Queste proiezioni sono confermate dalla storia recente, con aumenti annuali evidenti della frequenza delle inondazioni e delle anomalie di temperatura negli ultimi 25 anni. Sebbene gli impatti climatici sui territori siano aggravati dalle differenze di reddito e siano diversificati per la letalità dei disastri, non emerge alcuna chiara tendenza a livello globale, con l'eccezione di un leggero calo nel numero assoluto di persone colpite da inondazioni. Il fenomeno è dovuto all'adattamento che governi e servizi sanitari nazionali hanno sviluppato in maniera crescente, a volte con risultati straordinari.

I servizi ecosistemici per la qualità della vita ed il turismo sono in pericolo per effetto dei cambiamenti climatici. Molti processi ecosistemici convergono per fornire alle persone opportunità di attività ricreative basate sulla natura, di fruizione estetica dei paesaggi, di pratica di attività sportive *open air* e quant'altro. Il cambiamento climatico influenzerà tutte queste funzioni ecosistemiche.

Le dimensioni dell'industria del turismo basato sulla natura fornisce un'idea dei beni che sono a rischio per effetto degli impatti dei cambiamenti climatici. Abbiamo a disposizione i dati della spesa interna del 2010 per gli Stati Uniti: sono stati spesi 646 GUS$, il 4,3% del PIL, in attività ricreative all'aperto, di gran lunga al di là delle spese farmaceutiche pari a 331 GUS$, a quelle per i veicoli a motore, 340 GUS$ e alle utenze domestiche, 309 GUS$, assicurando 6,1 milioni di posti di lavoro.

Anche qui, nei paesi temperati con economie avanzate simili, gli impatti del cambiamento climatico sulle attività ricreative all'aperto sono già evidenti nel turismo invernale e balneare. Le stagioni sciistiche abbreviate saranno probabilmente la norma con il *global warming*. Qui l'adattamento consiste nell'uso dell'innevamento artificiale, un sostituto imperfetto per la neve vera, costoso, idroesigente, limitato dall'innalzamento delle temperature notturne ed impraticabile per le attività invernali diverse dalla discesa. Si parla poi degli effetti sulle spiagge dell'erosione meteorica, dell'innalzamento del livello del mare e della riduzione dei giorni di bonaccia sul turismo balneare e nautico. Naturalmente non si può escludere che il cambiamento climatico favorisca selettivamente alcune esperienze ricreative diverse. Anche questa è una forma di adattamento, che però non ha alcun effetto sulla salvaguardia del capitale naturale e dei suoi servizi.

4.6. Spostamenti e migrazioni

Negli ultimi tempi siamo stati abituati a temere la migrazione transfrontaliera e le sue implicazioni per i paesi ospitanti come un fenomeno grave e preoccupante. La realtà è diversa perché il fenomeno di gran lunga più impattante è costituito dalle persone che stanno migrando all'interno dei loro paesi. Esse si muovono per molte ragioni: economiche, sociali, politiche e ambientali. Il cambiamento climatico è ormai emerso come un potente motore di migrazione interna che spinge un numero crescente di persone a passare da aree vulnerabili a zone più vitali dei loro paesi per costruire nuove vite. Si tratta di decine di milioni di persone in mobilità entro il 2050.

Nel saggio della World Bank del 2018[110] si calcola che, senza concrete azioni di mitigazione climatica e di sviluppo sostenibile, più di 143 milioni di persone, il 2,8% della popolazione delle aree più colpite, Sud Est asiatico, Africa subsahariana e America latina, potrebbero essere costrette a spostarsi all'interno dei propri paesi per sfuggire agli impatti a lungo termine dei cambiamenti climatici. Migreranno da aree meno vitali con una minore disponibilità di acqua e minore produttività agricola e dalle aree soggette all'innalzamento del livello del mare e alle mareggiate. I più poveri e i più vulnerabili saranno i più colpiti. Il rapporto rileva che la migrazione interna di origine climatica probabilmente aumenterà fino al 2050 e quindi, con gli attuali *trend*, accelererà. L'attenzione agli impatti climatici a lenta crescita piuttosto che agli eventi ad insorgenza rapida come inondazioni e uragani, porta a ad una stima inferiore del probabile impatto complessivo dei cambiamenti climatici sulla migrazione.

La migrazione è una strategia istintiva per la sopravvivenza. L'impatto dei cambiamenti climatici rappresenterà una delle maggiori minacce per le persone, gli ecosistemi e gli obiettivi di sviluppo nei prossimi decenni (IPCC AR5, cit.). Il cambiamento climatico intensificherà il degrado ambientale e i rischi naturali in molte regioni[111] assieme ad altri fattori di *stress* come l'inquinamento e il sovrasfruttamento delle risorse[112] che colpiscono una popolazione mondiale in rapida crescita ed in rapida urbanizzazione. Milioni di persone non saranno in grado o non vorranno spostarsi da aree di *stress* ambientale, rimanendo bloccate nel degrado.

---

[110] World Bank, 2018, *Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration*

[111] UNEP, 2016, *Loss and Damage: The Role of Ecosystem Services*. Nairobi, Kenya, in: *http://collections.unu.edu/view/UNU:5614*

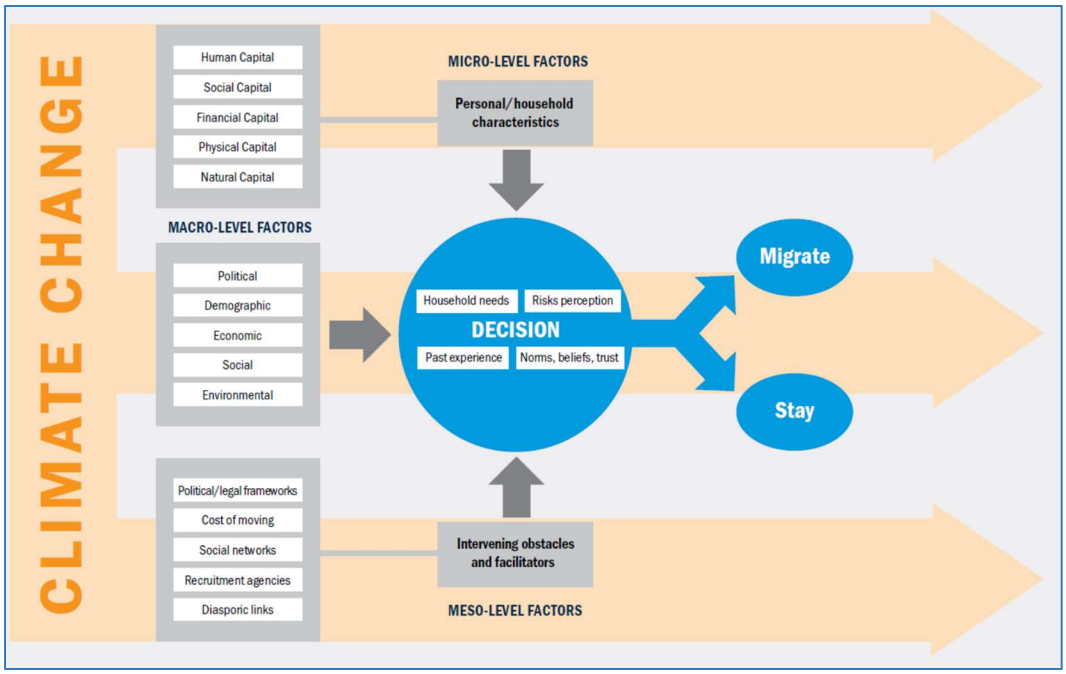
[112] Olsson et al., 2014, *Livelihoods and Poverty*, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of WG II to the IPCC AR5, Cambridge University Press, pp. 793-832.

.

Le migrazioni non facevano parte dei *target* di sviluppo del millennio (MDG), ma gli obiettivi di sviluppo sostenibile del 2030 (SDG) prevedono un target esplicito, il 10.7, inteso a facilitare una migrazione ordinata, sicura e responsabile. La Convenzione quadro sul clima, la UNFCCC, anno dopo anno, riconosce la migrazione come una strategia di adattamento al clima e almeno 44 su 162 NDC (cit.), circa il 27% di tutte le comunicazioni nazionali (cit.), principalmente dall'Africa, Asia Pacifico e Oceania, si riferiscono alla migrazione nelle sue varie forme. Manca però, mentre l'attenzione è in aumento, la capacità di integrare il fenomeno migratorio nelle politiche e nella pianificazione dello sviluppo a lungo termine.

Figura 4.31. Cambiamento climatico, mezzi di sussistenza e comportamento migratorio delle famiglie (fonte: Foresight[113])

[Figura 2.1, pag. 24 di WB Groundswell, cit.]



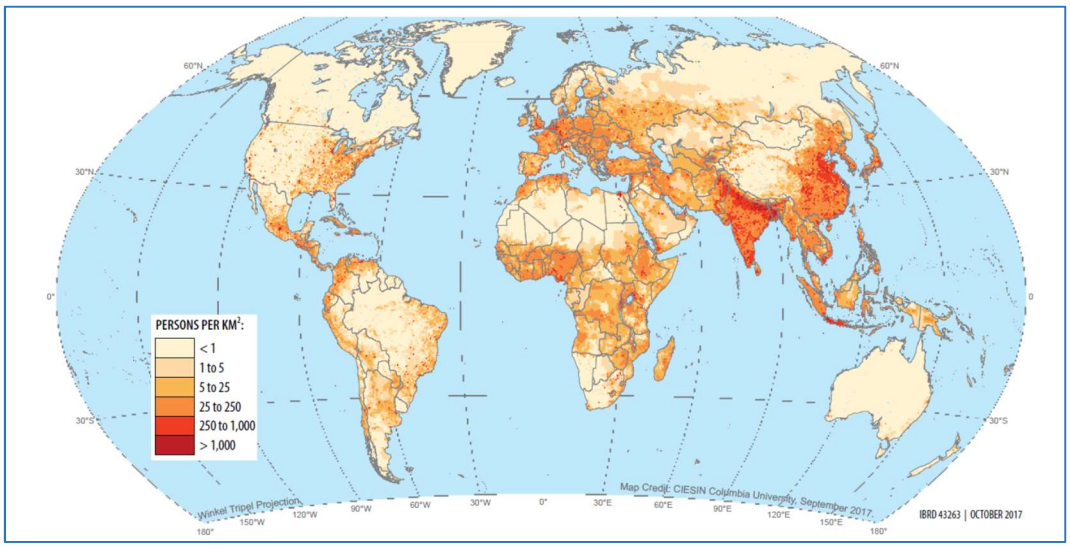
Nel 2016 si sono contati 24,2 milioni di nuovi spostamenti interni provocati da eventi estremi improvvisi come inondazioni e cicloni che hanno spostato una media di più di 26 milioni di persone all'anno tra il 2008 e il 2015[114]. Il numero di migranti interni in tutto il mondo nel 2013 è stato prudenzialmente stimato a 740 - 763 milioni, almeno tre volte in più rispetto a chi è andato oltre i confini. Nel 2016 questa proporzione è di circa il doppio.

[113] Foresight, 2011, *Migration and Global Environmental Change: Final Project Report*, The Government Office for Science, London, in: *https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/287717/11-1116-migration-and-global-environmental-change.pdf*

[114] IDMC, Internal Displacement Monitoring Centre, 2017, *Global Report on Internal Displacement-GRID 2017,* Geneva, in: *http://www.internal-displacement.org/global-report/grid2017/pdfs/2017-grid.pdf.*

La popolazione mondiale cresce attualmente dell'1,1% percento all'anno, 83 milioni di persone, e dovrebbe raggiungere i 10 miliardi nel 2050 quando le popolazioni dei 47 paesi meno sviluppati raddoppieranno[115]. Entro il 2050, due terzi della popolazione globale si prevede che vivrà nelle aree urbane e 2,5 miliardi di persone vivranno nelle città in Asia e Africa (Fig. 4.32). Il cambiamento climatico aggiungerà a queste tendenze un gran numero di migranti climatici interni con flussi sconosciuti nella storia a causa dell'intensità e delle dimensioni degli impatti ambientali sulle comunità e gli ecosistemi (IPCC AR5, cit.). Colpirà in modo sproporzionato i paesi e le comunità più povere perché le loro risorse per affrontare i rischi sono scarse e molte di esse dipendono da beni e servizi ecosistemici sempre più minacciati. La maggior parte delle migrazioni relative ai cambiamenti ambientali nei due decenni passati è avvenuta in paesi non OECD e circa il 97% per cento degli sfollati agli eventi estremi ad insorgenza rapida nel periodo 2008 - 2013 sono stati nei paesi a reddito medio-basso.

Figura 4.32. Densità della popolazione mondiale (fonte: CIESIN 2016)
[Mappa 3.1, pag. 24 di WB Groundswell, cit.]



I costi e i benefici della migrazione climatica vanno oltre l'economia per includere gli impatti e i conflitti sociali, gli effetti culturali e psicologici. Le migrazioni climatiche possono avere effetti positivi su reddito, salute, capacità, istruzione, uguaglianza e resilienza, in funzione delle caratteristiche delle aree di accoglienza, offerta di lavoro, accesso a reti, credito, infrastrutture, informazione e sicurezza, ma anche delle caratteristiche dei migranti stessi. I costi globali della migrazione sono difficili da calcolare ma possono essere gravosi. La discriminazione, l'esclusione dai servizi sociali e anche i più alti livelli di insicurezza affrontati dai migranti possono ridurre le loro

[115] UN DESA, 2017, *World Population Prospects - Key Findings & Advance Tables - 2017 Revision*, New York, in: *https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/wpp2017_keyfindings.pdf.*

prospettive di sviluppo e di adattamento. È poi inevitabile che le aree di provenienza e di accoglienza dei migranti abbiano spesso prospettive divergenti sul calcolo dei costi e dei benefici della migrazione climatica.

La dimensione del fenomeno non può essere sottovalutata: le previsioni e le proiezioni plausibili per la futura migrazione climatica, benché scarse e relativamente attendibili, parlano di 200 o 300 milioni di persone sfollate dal cambiamento del clima in tutto il mondo entro il 2050, il 3% della popolazione mondiale di allora.

Circa nove milioni di persone all'anno migrano tra paesi alla data di oggi, e circa 250 milioni di persone vivono al di fuori del loro paese di nascita. Sebbene i numeri assoluti siano più alti oggi rispetto al passato, la migrazione internazionale non è cambiata molto in termini percentuali dal 1990. La migrazione Sud-Sud rappresenta oltre 90 milioni di migranti tra i paesi del Sud del mondo, seguita da vicino dagli spostamenti Sud-Nord con circa 85 milioni di migranti. La maggior parte delle migrazioni internazionali è mossa dalla ricerca di opportunità economiche: oltre il 60% dei migranti internazionali, 150 milioni di persone, sono classificati come lavoratori migranti[116]. Il numero attuale di migrazioni climatiche internazionali probabilmente non è grande: l'emigrazione offre opportunità alle persone colpite da impatti climatici ma può anche comportare gravi disagi, come per i sistemi sanitari, specialmente quando i movimenti sono grandi o rapidi, o gli spazi di confine sono sensibili. La competizione sulle scarse risorse disponibili nelle aree di accoglienza può creare gravi tensioni.

La migrazione ha impatti positivi e negativi sulle aree di destinazione. La migrazione internazionale reintegra l'offerta di lavoro e le competenze, stimola l'imprenditorialità e l'innovazione, riduce le tensioni sui sistemi pensionistici e aiuta gli anziani. Per converso la crescita della popolazione locale genera impatti ambientali attraverso cambiamenti nell'uso del suolo, deforestazione e degrado del suolo. Il degrado ambientale ed urbano può generare conflitti. L'effetto della migrazione sui salari e sull'occupazione nei territori d'arrivo dipende in gran parte da sé i migranti sono sostitutivi o complementari della forza lavoro esistente. In molte aree di accoglienza, i migranti possono svolgere lavori sporchi, difficili e pericolosi, lavoro stagionale e lavoro nel settore informale o nero. In generale, tuttavia, l'impatto della migrazione è dipendente dalle caratteristiche dei migranti, dalle aree di accoglienza e dalle strutture disponibili, specialmente nei contesti urbani, spesso già critici per loro conto.

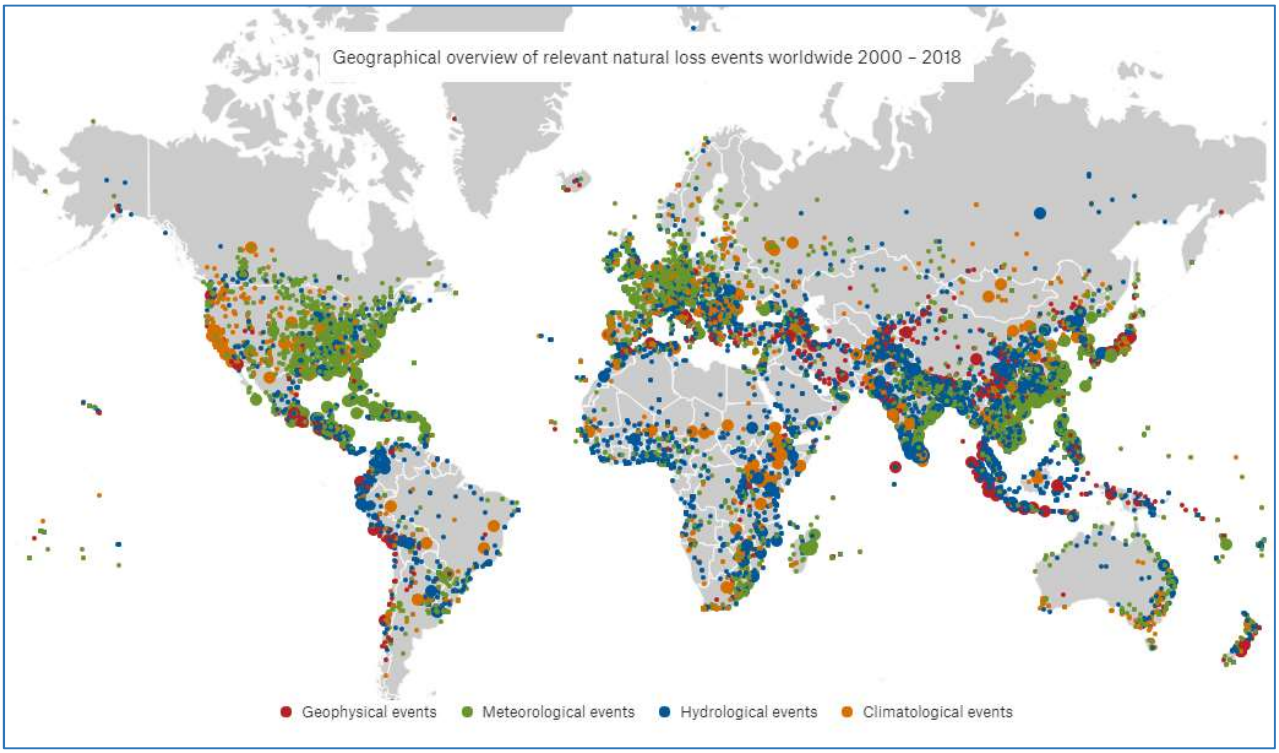
[116] UN ILO, 2015, *Global Estimates of Migrant Workers and Migrant Domestic Workers : Results and Methodology: Special Focus on Migrant Domestic Workers*, Geneva, in: *http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_436343.pdf.*

4.7. Gli impatti degli eventi climatici estremi

Gli eventi estremi attribuibili o in aggravamento per effetto dei cambiamenti climatici richiamano l'attenzione dell'opinione pubblica e dei governi probabilmente di più, per ora, degli effetti di lungo periodo che abbiamo finora discusso. Gli impatti di tali eventi sono a carattere locale ma spesso hanno effetti acuti di gravità estrema. Un clima che cambia porta a cambiamenti nella frequenza, intensità, estensione spaziale, durata e tempistica degli eventi estremi. Alcuni estremi climatici possono essere il risultato di un accumulo di eventi meteorologici o climatici ordinari. Molti eventi estremi meteorologici e climatici continuano ad essere il risultato della variabilità climatica naturale[117].

Il Rapporto speciale IPCC SREX (cit.) referenzia osservazioni raccolte a partire dal 1950 sul cambiamento in alcuni eventi estremi. Gli eventi estremi sono rari, il che significa che ci sono pochi dati disponibili per fare valutazioni riguardanti i cambiamenti nella loro frequenza o intensità. Più l'evento è raro, più è difficile identificarne i cambiamenti a lungo termine mediante un'analisi statistica.

Figura 4.33. Eventi globali rilevanti per impatto tra 2000 e 2018 (fonte: NatCatService)
[*https://natcatservice.munichre.com/?filter=eyJ5ZWFyRnJvbSI6MjAwMCwieWVhclRvIjoyMDE4fQ%3D%3D&type=1*]



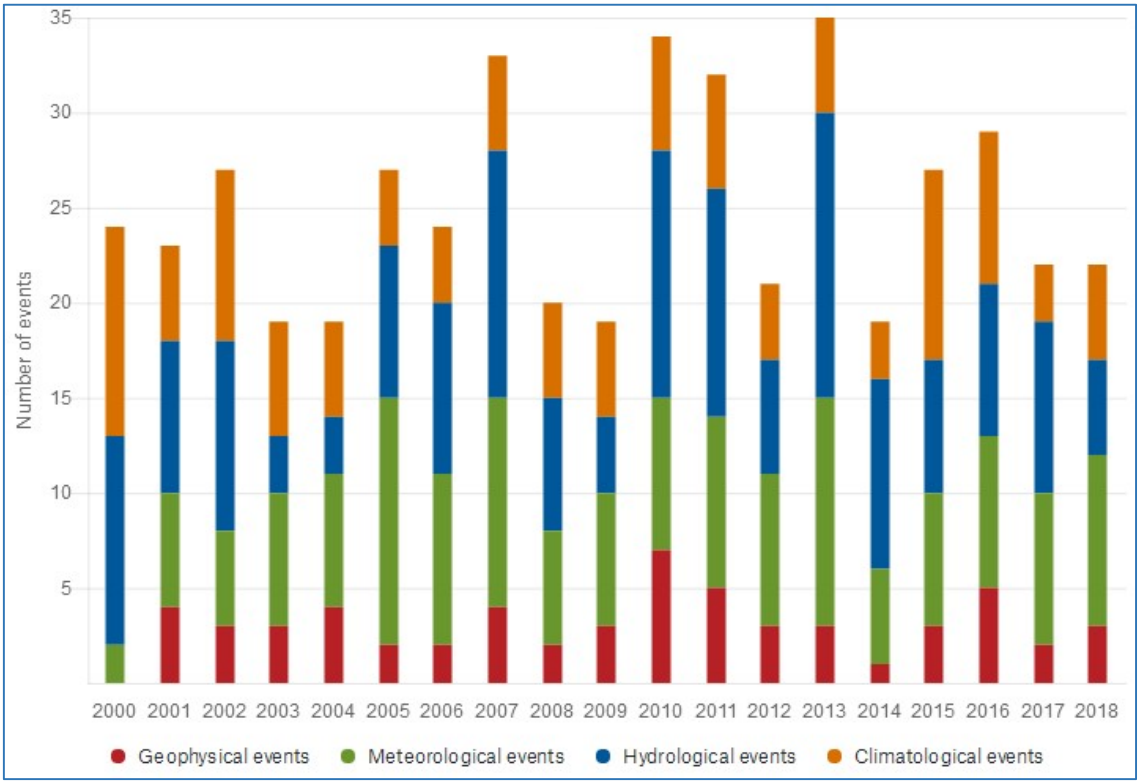
L'IPCC riporta come molto probabile che ci sia stata una diminuzione generale del numero di giorni e notti fredde e un aumento generale nel numero di giorni e notti calde su scala globale. Si ritiene che in molte, ma non tutte, le regioni del mondo mediamente

[117] IPCC, 2012, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Special Report SREX

la lunghezza e il numero di periodi caldi o ondate di calore siano aumentate. Ci sono tendenze statisticamente significative nel numero di eventi di precipitazioni pesanti in alcune regioni. Non è confermata per ora l'ipotesi che gli aumenti osservati nell'attività dei cicloni tropicali siano da considerare un *trend* a lungo termine, 40 anni o più. C'è una certa fiducia che alcune regioni del mondo abbiano avuto periodi di siccità più intensi e più lunghi, in particolare l'Europa meridionale e l'Africa occidentale, ma in alcune regioni le siccità sono diventate meno frequenti, meno intense, o più corte, ad esempio, nel Nord America centrale e nell'Australia nordoccidentale. La grandezza e la frequenza delle inondazioni a livello regionale non sono confermate in aumento. È invece confermato l'accrescimento di fenomeni estremi sulle coste per effetto dell'innalzamento del livello del mare.

L'attribuzione di singoli eventi estremi ai cambiamenti climatici antropogenici è considerata dall'IPCC materia di difficile trattamento e di incerte conclusioni.

Figura 4.34. Numero degli eventi globali catastrofici tra 2000 e 2018 (fonte: NatCatService[118])
[*https://natcatservice.munichre.com/events/2?filter=eyJ5ZWFyRnJvbSI6MjAwMCwieWVhclRvIjoyMDE4fQ%3D%3D&type=1*]



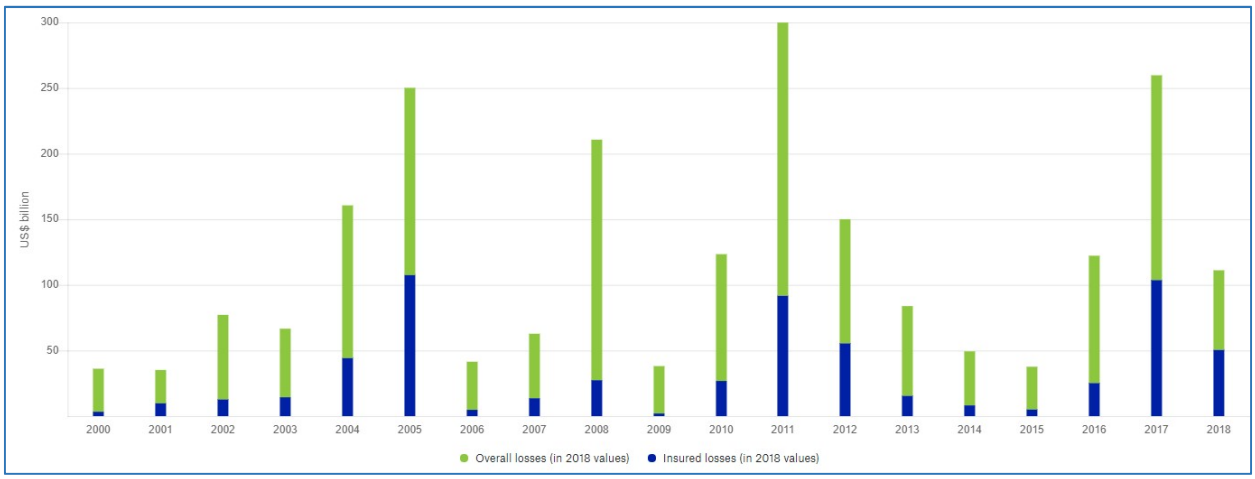
Le perdite economiche dovute a catastrofi legate alle condizioni meteorologiche e climatiche sono aumentate, ma con ampie differenze geografiche e grande variabilità da un anno all'altro. Le perdite per calamità legate al clima registrate negli ultimi decenni

[118] NatCatSERVICE, 2019, *Natural catastrophe statistics online – the new NatCatSERVICE analysis tool*, in: *https://www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/natcatservice/index.html*

riflettono principalmente i danni diretti monetizzati alle attività e sono distribuite in modo non equo. Le stime delle perdite annuali variano dai pochi GUS$ del 1980 ai 200 GUS$, con il valore più alto nel 2005, l'anno dell'uragano Katrina. Le perdite sono certamente sottostimate perché sono molti gli impatti difficili da valutare e monetizzare, come la perdita di vite umane, di patrimonio culturale e di servizi ecosistemici. Le perdite economiche per calamità associate a eventi meteorologici, climatici e geofisici, comprese quelle assicurate, sono più alte nei paesi sviluppati. Tassi di mortalità e perdite economiche espresse in percentuale del PIL sono invece più alti nei paesi in via di sviluppo. Nel periodo dal 1970 al 2008, oltre il 95% dei decessi causati da calamità naturali si è verificato nei paesi in via di sviluppo. Durante il periodo dal 2001 al 2006, le perdite sono ammontate a circa 1% del PIL per i paesi a reddito medio, mentre questo rapporto è stato di circa lo 0,3% del PIL per i paesi a basso reddito e meno dello 0,1% del PIL per i paesi ad alto reddito. In piccoli paesi esposti, in particolare piccoli stati insulari in via di sviluppo, le perdite espresse in percentuale del PIL sono state particolarmente elevate, superando l '1% in molti casi e l'8% nei casi più estremi, con dati elaborati nella media dal 1970 al 2010.

Figura 4.35. Danni provocati dagli eventi globali catastrofici tra 2000 e 2018 e ruolo delle assicurazioni (fonte: NatCatService)

[*https://natcatservice.munichre.com/events/2?filter=eyJ5ZWFyRnJvbSI6MjAwMCwieWVhclRvIjoyMDE4fQ%3D%3D&type=1*]



Nel 2017, in totale sono stati registrati 712 eventi meteorologici estremi, e sono state conteggiate perdite economiche per 326 GUS$, quasi il triplo del totale del 2016. Nel 2018 le perdite complessive causate dalle catastrofi naturali sono valutabili in 160 GUS$, una cifra inferiore all'anno precedente, ma superiore alla media corretta per l'inflazione degli ultimi 30 anni, pari a 140 GUS$. Con 80 GUS$, i sinistri assicurati sono stati

sostanzialmente al di sopra della media corretta per l'inflazione degli ultimi 30 anni, pari a 41 GUS$, ma al di sotto dei valori record di 140 GUS$ del 2017[119].

Nel 2018 circa 10.400 persone hanno perso la vita a causa di catastrofi naturali, meno della media di 53.000 persone negli ultimi 30 anni. Le catastrofi naturali più costose si sono verificate negli Stati Uniti: gli eventi più costosi sono stati, come riferito, *Camp Fire*, un incendio nel nord della California con perdite complessive di 16,5 GUS$ e l'uragano *Michael* che ha causato perdite complessive di 16 GUS$. La siccità prolungata che ha causato ingenti perdite agricole e molti incendi boschivi è stata la più costosa calamità naturale dell'anno in Europa. Le perdite dirette sono valutate in 3,9 GUS$. Le perdite complessive a causa dei cicloni tropicali sono state di circa 57 GUS$. C'è stato anche un impatto estremamente elevato dagli incendi in California che ha prodotto perdite complessive di 24 GUS$. Nel corso dell'anno si contano 29 eventi con danni oltre 1 GUS$.

C'è poi il grande interrogativo sui fenomeni estremi futuri. Alcune conclusioni sono possibili sulla base degli scenari elaborati dall'IPCC tra i quali non si è trovata una grande differenza in termini di previsioni, quantomeno qualitative. I modelli climatici e socioeconomici hanno dato conferma di un riscaldamento sostanziale a temperature estreme entro la fine del XXI secolo. È virtualmente certo che aumenterà la frequenza e l'ampiezza delle temperature calde giornaliere estreme e che diminuirà il freddo su scala globale nel secolo in corso. La lunghezza, la frequenza e l'intensità di periodi caldi o delle ondate di calore aumenteranno nella maggior parte delle aree terrestri.

È probabile che la frequenza di forti precipitazioni e la proporzione delle precipitazioni estreme aumenterà in molte aree del globo, in particolare nelle alte latitudini, nelle regioni tropicali e in inverno nelle medie latitudini settentrionali. Forti piogge associate ai cicloni tropicali sono più probabili a temperature maggiori. In alcune regioni, le forti precipitazioni si verificheranno nonostante le riduzioni previste delle precipitazioni totali. La velocità massima del vento dei cicloni tropicali aumenterà. È probabile che la frequenza globale dei cicloni tropicali diminuirà o rimarrà sostanzialmente invariata. Ci sarà invece una riduzione del numero di cicloni extratropicali in ogni emisfero che saranno mediamente in migrazione verso i poli.

C'è una certa confidenza nella previsione che la siccità si intensificherà nel 21° secolo in alcune stagioni e aree, a causa delle precipitazioni ridotte e dell'aumento

[119] Munich RE, 2019, *The natural disasters of 2018. Losses in 2018 dominated by wildfires and tropical storms*, in: *https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/natural-disasters/the-natural-disasters-of-2018-in-figures.html; Climate change overview*, in: *https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/climate-change.html*

dell'evapotraspirazione. Questo vale per l'Europa meridionale e la regione mediterranea, l'Europa centrale, il Nord America centrale, l'America centrale e il Messico, il nord-est del Brasile e l'Africa meridionale.

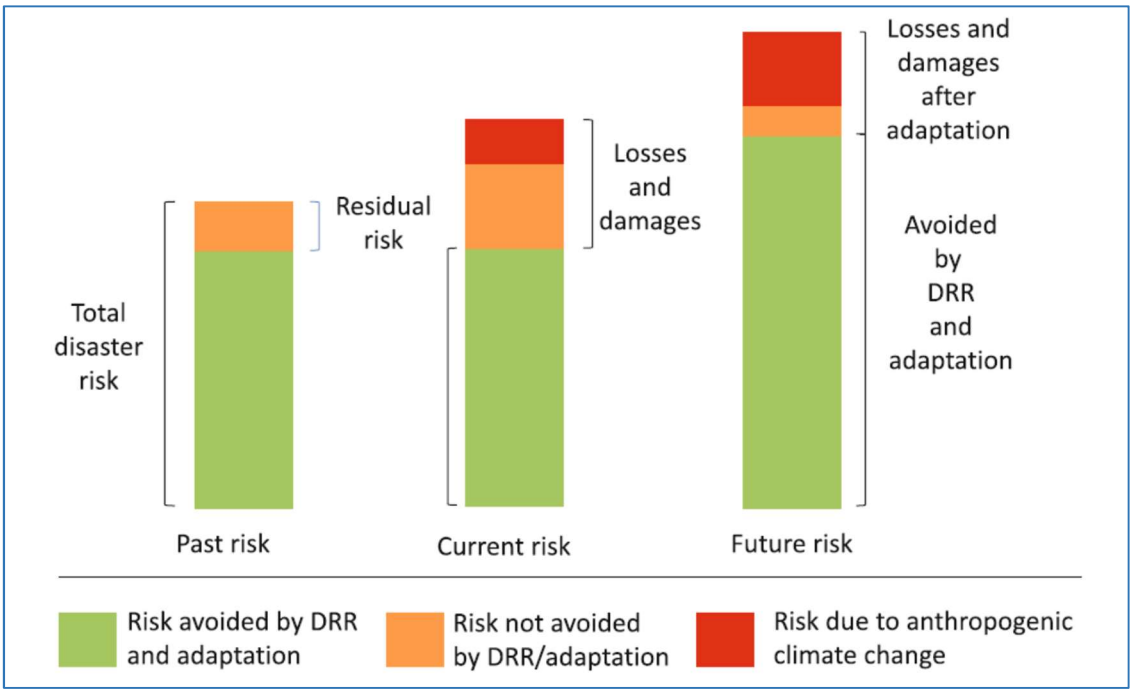
È molto probabile che senza misure di adattamento l'innalzamento medio del livello del mare contribuirà alle tendenze al rialzo dei fenomeni estremi sulle coste come l'erosione e le inondazioni, un dramma per i piccoli stati insulari tropicali.

Con le ondate di calore, la ritirata dei ghiacciai e la degradazione del permafrost in alta montagna. i pendii diventeranno instabili e franosi e i laghi ghiacciati potranno causare inondazioni.

In materia di rischi per gli impatti futuri dei cambiamenti climatici un ruolo essenziale di contenimento spetta alle politiche di adattamento[120]. La Fig. 4.36. mostra come il rischio è in aumento, principalmente a causa della esposizione aumentata delle popolazioni e dei loro insediamenti, e del cambiamento climatico antropogenico. Questo rischio può essere ridotto o evitato attraverso politiche di riduzione del rischio, protezione e prevenzione (DDR). Rimarrà sempre un rischio residuo che non può essere annullato a causa dell'aumento del rapporto costi – benefici quando i costi per eliminare il rischio sono più alti dei costi generati dall'evento.

Figura 4.36. Danni provocati dagli eventi globali catastrofici tra 2000 e 2018 e ruolo dell'adattamento (fonte: IIASA)

[Figura 3.2 pag. 76 di IIASA (cit.)]



[120] IIASA, 2016, *Climate Risk Management, Policy and Governance*, in: *https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-319-40694-7%2F1.pdf*

È probabile che la vulnerabilità venga ovunque progressivamente ridotta sotto la spinta dello sviluppo economico sostenibile, della capacitazione, del trasferimento di tecnologia e della diffusione e dal perfezionamento delle tecniche di adattamento, con l'effetto di aumentare la quota evitata del rischio di catastrofi. Gli studi disponibili, compresi quelli dell'IPCC AR5 (cit.), attribuiscono per lo più le perdite future agli eventi meteorologici estremi i cui effetti possono essere contenuti dalle azioni di adattamento a livello nazionale e dal sostegno internazionale finanziario e di conoscenza. I pericoli maggiori sono ritenuti associati ai cicloni tropicali ed extra - tropicali, alle alluvioni fluviali e marine e alla grandine. Per gran parte di tali eventi gli effetti degli aumenti futuri dell'esposizione sono molto maggiori di quelli derivanti dall'aumento eventuale della frequenza dei fenomeni conseguente al cambiamento climatico

Solo pochissimi studi hanno analizzato gli effetti della riduzione della vulnerabilità come risultato della crescente riduzione del rischio e degli sforzi di adattamento rispetto al cambiamento climatico futuro previsto. Le perdite totali da eventi meteorologici estremi sono aumentate nel tempo, comprese le perdite economiche, ma molti tipi di impatti, compresi i danni non monetizzabili e gli impatti irreversibili, sono sottorappresentati, complicando la valutazione delle perdite e dei danni effettivi.

Il cambiamento climatico antropogenico non è ritenuto per ora un fattore importante per le perdite da eventi legati a vento estremo, precipitazioni e inondazioni, tranne che, forse, per gli eventi meteorologici convettivi, temporali e grandine. Per altri tipi di condizioni meteorologiche estreme, come le ondate di calore, le perdite monetarie sono raramente valutate, benché sia noto che ne stanno aumentando la frequenza, la mortalità e la morbilità. Nello scenario più ottimistico con un alto livello di adattamento, gli impatti e i danni degli eventi climatici estremi potrebbero persino ridursi.

Per ora, a livello nazionale e in particolare per i paesi in via di sviluppo c'è ampia evidenza di aumento del rischio associato al cambiamento climatico e quindi della necessità di predisporre efficaci misure di contrasto. Tali misure, data la grande diffusività dei gas serra in atmosfera, saranno proporzionalmente maggiori per l'adattamento per i paesi in via di sviluppo, che hanno livelli di emissioni bassi sia in valore assoluto che pro-capite. In effetti l'Accordo di Parigi lascia liberi i paesi meno sviluppati di introdurre i Piani, i risultati e le esigenze di sostegno per l'adattamento nei propri NDC (cit.). Ovviamente, però, l'adattamento è un'esigenza comune a tutti i paesi, anche quelli a più alto reddito. La convenzione climatica sta discutendo un piano di finanziamenti aggiuntivi, denominato *Loss and damage*, per fare fronte alle esigenze dei paesi poveri colpiti da eventi estremi. Incardinato alla COP 19 di Varsavia, il meccanismo non è però ancora operativo.

CONCLUSIONI: SVILUPPO SOSTENIBILE E PROBLEMI DI EQUITÀ CLIMATICA

Il recente Rapporto speciale SR15 dell'IPCC, citato più volte, richiama l'attenzione sul pericolo che la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici potrebbero entrare in conflitto con i principi dello sviluppo sostenibile[121], questione che finora non ha ricevuto la dovuta attenzione. Dopo la COP 24 di Katowice e la Conferenza climatica di Bonn del giugno 2019, si sta determinando il caso che il Rapporto speciale esca dal negoziato climatico per mancanza del consenso degli Stati Uniti, della Federazione Russa dell'Iran e dei paesi del Golfo. Un aspro confronto si è svolto a Bonn, finito con un compromesso che riconosce lo SR15 come la migliore scienza disponibile ma di fatto escludendo il documento dell'IPCC dal negoziato[122].

Gli impatti e le risposte ai cambiamenti climatici sono strettamente legati allo sviluppo sostenibile che equilibra il benessere sociale, la prosperità economica e la protezione ambientale. La considerazione dell'etica e dell'equità può aiutare ad affrontare la distribuzione non uniforme degli impatti negativi associati agli 1,5 °C e ai livelli più elevati di riscaldamento globale, nonché quelli di mitigazione e adattamento, in particolare per i poveri e le popolazioni svantaggiate, in tutte le società.

Il cambiamento climatico aggraverà la povertà e la disuguaglianza esistenti. Avrà l'impatto più grave nei paesi e nelle regioni povere e nei luoghi in cui vivono e lavorano le persone povere. I paesi in via di sviluppo sopporteranno circa il 75-80% dei costi del cambiamento climatico. Le persone in condizioni di povertà tendono a vivere in aree più sensibili ai cambiamenti climatici e in alloggi meno resistenti e perdono relativamente di più quando sono colpite. Hanno meno risorse per mitigare gli effetti e ottengono meno supporto dalle reti di sicurezza sociale e dal sistema finanziario per prevenire o recuperare dall'impatto. I loro mezzi di sussistenza e le loro attività sono più esposti e più vulnerabili ai disastri naturali che portano malattie, riduzione dei raccolti, picchi nei prezzi dei prodotti alimentari e infine morte o disabilità. Anche le famiglie della classe media, paesi sviluppati compresi, sono impoverite. La Banca Mondiale stima che senza un'azione immediata, i cambiamenti climatici potrebbero ridurre in povertà 120 milioni di persone in più entro il 2030, in aumento negli anni successivi. Ottocento milioni di

[121] IPCC, 2018, *SR15 ch.5 Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities*, pagg. 445 – 538, *https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter5_Low_Res.pdf*

[122] Vedi le conclusioni della Conferenza di Bonn in: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, Fiftieth session Bonn, 17–27 June 2019, *Matters relating to science and review Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Global Warming of 1.5 °C*, Agenda item 6(c), in: *https://unfccc.int/sites/default/files/resource/sbsta2019_L08E.pdf*

abitanti dell'Asia meridionale vivono nei punti caldi del clima e vedranno drasticamente compromesse le loro condizioni di vita entro il 2050.

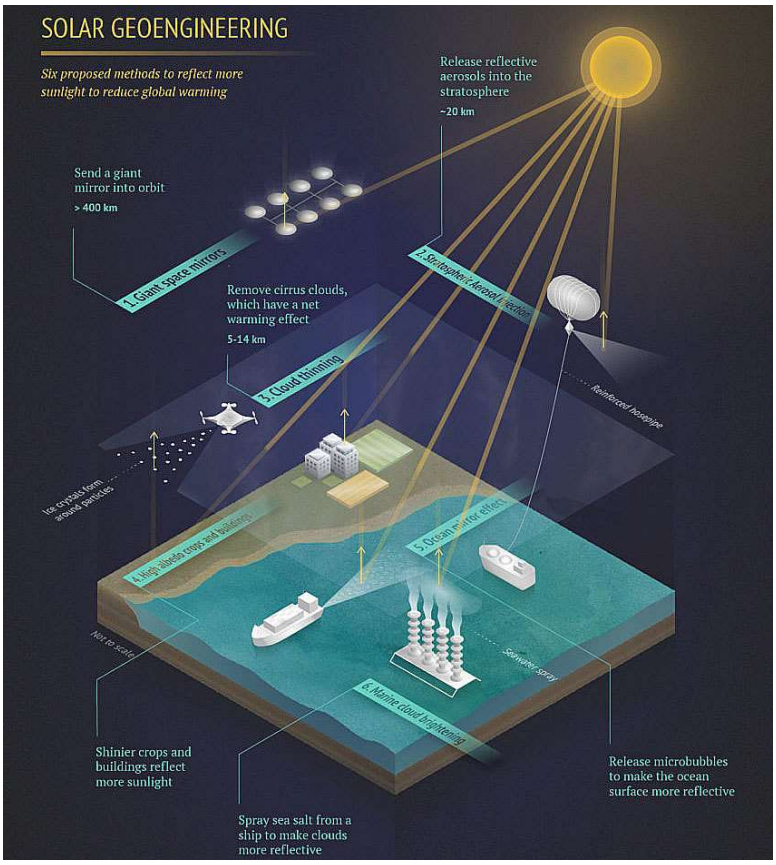
La giustizia sociale e l'equità sono aspetti fondamentali dei percorsi di sviluppo che mirano a limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C in quanto affrontano le sfide non senza gli inevitabili compromessi, ampliano le opportunità e assicurano opzioni, visioni e valori condivisi, tra paesi e all'interno di paesi e comunità, senza peggiorare la condizione dei poveri e degli svantaggiati e tenendo conto delle di differenze dei modelli di sviluppo e delle vulnerabilità sistemiche di ciascun Paese o territorio. I percorsi coerenti con lo sviluppo sostenibile comportano meno problemi di mitigazione e adattamento e comportano minori costi per la mitigazione. La stragrande maggioranza degli studi di modellizzazione presi in considerazione dallo SR15 non ha potuto costruire percorsi efficaci in contesti caratterizzati da disuguaglianza e povertà perduranti e senza la cooperazione internazionale.

È ormai nozione comune che i più ricchi, che hanno maggiori capacità di adattamento, più modo di assumersi delle responsabilità e di beneficiare della grande maggioranza dei consumi che causano emissioni di gas serra, saranno nella posizione migliore per far fronte ai cambiamenti climatici, mentre i più poveri, che hanno contribuito meno alle emissioni e hanno minime capacità di reagire, saranno i più danneggiati. La metà più povera della popolazione mondiale, 3,5 miliardi di persone, è responsabile solo del 10% delle emissioni di carbonio, mentre il 10% più ricco è responsabile per la metà. Una persona nell'1% più ricco usa 175 volte più carbonio di uno nel 10% inferiore. Oltre ai benefici economici che i paesi ricchi hanno già raccolto dai combustibili fossili, uno studio recente ha rilevato che il cambiamento climatico ha già peggiorato le disuguaglianze globali e che il divario nel reddito pro capite tra i paesi più ricchi e quelli più poveri è superiore di 25 punti percentuali rispetto a quanto sarebbe stato senza cambiamenti climatici.

Le azioni di adattamento, se ben gestite, riducono la vulnerabilità dei sistemi umani e naturali e hanno molte sinergie con la sostenibilità come garantire la sicurezza di cibo e acqua, ridurre i rischi di disastri, migliorare le condizioni di salute, salvaguardare i servizi ecosistemici e ridurre povertà e disuguaglianza. L'adattamento al riscaldamento globale di 1,5 °C può però portare a compromessi o disadattamenti con impatti negativi per lo sviluppo sostenibile. Se mal progettate o implementate, le azioni di adattamento possono aumentare le emissioni di gas serra e l'uso dell'acqua, aumentare la disuguaglianza sociale e di genere, minare le condizioni di salute e impattare sugli ecosistemi naturali. Queste contraddizioni possono essere ridotte ponendo una forte attenzione alla povertà e allo sviluppo sostenibile, come quando le colture bioenergetiche, il rimboschimento o

l'afforestazione invadono i terreni necessari per l'adattamento agricolo, così minacciando la sicurezza alimentare, i mezzi di sostentamento dei più poveri, le funzioni e i servizi degli ecosistemi e altri aspetti dello sviluppo sostenibile. Ancor più preoccupanti sono le proposte di ingegnerizzazione del clima.

Figura 3. La geoingegneria solare per la mitigazione climatica (fonte: Yale, cit.)
[Figura ripresa da *https://e360.yale.edu/features/geoengineer-the-planet-more-scientists-now-say-it-must-be-an-option*]



Gli impatti sullo sviluppo sostenibile delle opzioni di rimozione diretta della CO_2 dall'atmosfera (CDR, *Carbon Direct Removal*) dipendono dal tipo di opzioni e dalla scala delle applicazioni. Il CDR è ritenuto necessario in gran parte degli scenari SR15 per gli 1,5°C. Se attuate male, le opzioni CDR come la *Bioenergy Carbon Capture and Sequestration*, BECCS[123] e le attività *Agriculture, Forestry and Other Land Use,* AFOLU[124], si rivelerebbero controproducenti. Le tecnologie CDR e, ancor più la immaginifica geoingegneria climatica[125] (Fig. x.y.), sono suscettibili di generare impatti imprevisti anche gravi a danno del capitale naturale e delle persone. La progettazione e l'implementazione di strumenti

[123] T. Federico, 2015, *Il ruolo della CCS negli scenari di contenimento della crisi climatica*, Fondazione per lo Sviluppo sostenibile
[124] IPCC, 2014, *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU),* AR5, WG 3, ch. 11, in: *https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/agriculture-forestry-and-other-land-use-afolu/*
[125] F. Pearce, 2019, *Geoengineer the Planet? More scientists now say it must be an option*, Yale Forestry and Environment, in: https://e360.yale.edu/features/geoengineer-the-planet-more-scientists-now-say-it-must-be-an-option

per la mitigazione e l'adattamento climatici richiedono la considerazione delle esigenze delle collettività, della biodiversità e delle altre dimensioni dello sviluppo sostenibile.

La mitigazione coerente con percorsi degli 1,5 °C crea rischi per lo sviluppo sostenibile nelle regioni con elevata dipendenza dai combustibili fossili per reddito e posti di lavoro se non si affronta una transizione energetica ed una diversificazione dell'economia in profondità[126]. Le politiche redistributive tra settori e popolazioni che proteggono i poveri e i vulnerabili possono risolvere le contraddizioni per taluni aspetti della sostenibilità, in particolare la fame, la povertà e l'accesso all'energia. Le esigenze di investimento per tali politiche sono solo piccole frazioni degli investimenti complessivi di mitigazione necessari nei percorsi degli 1,5 °C.

L'equilibrio climatico di oggigiorno si regge sulle profonde disparità di accesso all'energia ed agli altri beni, quindi, alla fine, sulla miseria mondiale[127]. Questa affermazione può apparire un po' forte, ma invita a riflettere sul fatto che se i consumi di energia e la produzione di GHG fossero quelli del miliardo o poco più di abitanti ricchi della terra, conteggio al quale si sta aggiungendo la massa emergente degli asiatici con emissioni pro-capite ormai vicine agli europei, l'equilibrio climatico sarebbe saltato da un pezzo. Un recente Rapporto delle Nazioni Unite[128] segnala un pericolo che riteniamo peraltro fosse nell'aria da tempo: le comunità ricche sarebbero in grado di trovare da sole una loro via per fermare gli impatti della crisi climatica in corso, lasciando indietro i più poveri, che sono peraltro quelli che soffrono di più gli impatti del cambiamento climatico.

Anche sotto lo scenario migliore e forse ormai irrealistico dell'1.5 ° C di riscaldamento entro il 2100, molti milioni di persone dovranno scegliere tra fame e migrazione, ha avvertito Philip Alston, il Relatore speciale delle Nazioni Unite sulla povertà estrema e sui diritti umani, autore del citato Rapporto. Denuncia una spaccatura tra coloro che sono in grado di mitigare gli effetti peggiori del *global warming* e quelli che non hanno mezzi per evitarlo, coniando il neologismo di *apartheid climatico*. Mentre le persone in condizioni di povertà sono responsabili solo di una piccola parte delle emissioni globali storiche, sopportano il peso dei cambiamenti climatici e hanno la minima capacità di proteggersi[129]. Nello scenario dell'*apartheid* climatico i ricchi pagano per sfuggire al

[126] William Nordhaus, 2019, *Climate Change: The ultimate challenge for economics*, 109 American Economic Review 109, (2019), 1991

[127] Joseph Stiglitz, 2019, *The climate crisis is our third world war. It needs a bold response*, Guardian, June 4, 2019, in: *https://www.theguardian.com/commentisfree/2019/jun/04/climate-change-world-war-iii-green-new-deal*

[128] UN HRC, 2019, *Climate change and poverty*, A/HRC/41/39, *in: https://news.un.org/en/story/2019/06/1041261*

[129] OXFAM, 2015, *Wealth: having it all and wanting more*, in: *https://www-cdn.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/ib-wealth-having-all-wanting-more-190115-en.pdf*

surriscaldamento, alla fame e ai conflitti mentre il resto del mondo è lasciato a sé stesso. Il relatore ha citato i newyorkesi vulnerabili, non proprio i più poveri al mondo, bloccati senza potere o assistenza sanitaria quando l'uragano Sandy ha colpito la città nel 2012, mentre il quartier generale di Goldman Sachs era protetto da decine di migliaia di sacchi di sabbia e usava l'energia dal suo generatore.

Figura 4. L'uragano Sandy, il cambiamento climatico e la libertà[130]

[130] Immagine hi res in:
https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&id=C5F32342AC318C06619EDE3264AA49B0EAB80222&thid=OIP.-GMPysi5hjSlvYO_C37PWQHaEo&mediaurl=http%3A%2F%2F2.bp.blogspot.com%2F-toD5WiQRxMc%2FUI_YaMZchYI%2FAAAAAAAAAD1Q%2F2QJ6H0mSQjs%2Fs1600%2FHurricane_sandy_storm_pictures_3.jpg&exph=375&expw=600&q=sandy+hurricane+images&selectedindex=59&ajaxhist=0&vt=0&eim=1,2,6