

Relazione Tecnica

Riesamina della valutazione di impatto ambientale del progetto di allargamento del Sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna, alla luce di nuove evidenze scientifiche riguardanti il cambiamento climatico in atto

Federico Fabiano, ricercatore presso
CNR-ISAC (Istituto delle Scienze dell'Atmosfera e del Clima)¹

25 Settembre 2023

Abstract

Nella presente relazione si analizzano, alla luce di nuove evidenze scientifiche, la dichiarazione di compatibilità ambientale del progetto di allargamento del Sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna (approvata con decreto VIA n. 133 del 30.3.2018) e la sua recente proroga al 2029. In particolare, si fa riferimento qui a recenti avanzamenti nel campo della comprensione, modellazione e proiezione futura dello stato del sistema climatico che non sono stati presi in considerazione nel rapporto originale presentato da Autostrade per l'Italia (ASPI) nè nella concessione della proroga al decreto VIA. Ulteriori ed allarmanti evidenze giungono dagli estremi climatici osservati globalmente e sul territorio nazionale negli ultimi 2 anni, che segnano una netta accelerazione della crisi climatica. Inoltre, la mutata situazione nel contesto della mitigazione del cambiamento climatico ed in particolare l'erosione del budget residuo di CO₂ equivalente (CO₂eq) disponibile per restare entro 1.5°C di riscaldamento (obiettivo previsto dagli accordi della COP21 Parigi), rendono estremamente urgente una drastica riduzione delle emissioni in tutti i settori, a cominciare da quello dei trasporti ed una conseguente rivalutazione e ripianificazione delle infrastrutture collegate. Si dimostra come, alla luce di queste nuove evidenze scientifiche, l'opera sia incompatibile con gli obiettivi previsti dalla Commissione europea nel Regolamento UE sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima del 11.12.2018, nonché con il testo definitivo del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) del 2020 (<https://www.mimit.gov.it/index.php/it/notizie-stampa/pniec2030>) e con il Regolamento UE 2021/1119 del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 30 giugno 2021, che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e aggiorna gli obiettivi del Regolamento UE 2018/1999. Di conseguenza, si sostiene che il mutato quadro non giustifichi la proroga al decreto VIA 2018 concessa nell'anno corrente, e renda anzi obsoleta la valutazione stessa.

¹ Le valutazioni espresse nella presente relazione costituiscono parere scientifico informato dell'autore nel pieno rispetto dell'etica lavorativa. Non devono intendersi come rappresentanti l'istituzione di afferenza.

Indice

Abstract	1
Introduzione	3
1. Nuove evidenze scientifiche sul cambiamento climatico in atto	3
1.1 Nuove proiezioni climatiche dell'iniziativa CMIP6	4
1.2 Nuove evidenze osservazionali dell'accentuarsi della crisi climatica ed ecologica	6
1.3 Elementi a soglia nel sistema climatico ("tipping elements")	7
1.4 L'importanza di limitare il riscaldamento del pianeta a 1.5°C	8
2 - Evoluzione del quadro globale e nazionale della mitigazione	9
2.1 Riduzione delle emissioni nazionali e percorso verso l'azzeramento	10
2.2 Emissioni previste dal progetto di Allargamento del Sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna	12
2.3 Buone pratiche di transizione nelle linee guida del PNIEC e del PUMS	14
Conclusioni	15
Referenze	18

Introduzione

La presente relazione tecnica è stata redatta a seguito della richiesta dell'Associazione A.Mo. Bologna di un parere in merito alla coerenza del progetto noto come "Passante di Bologna" rispetto allo stato delle conoscenze riguardanti il cambiamento climatico in atto, in relazione al giudizio R.G. 489/2018 pendente davanti al TAR di Bologna.

Il progetto di allargamento del Sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna ha ottenuto la dichiarazione di compatibilità ambientale con decreto VIA n. 133 del 30.3.2018, recentemente prorogata al 2029 in quanto si è sostenuto che il quadro ambientale in cui l'opera si inserisce non sia mutato.

Scopo della presente relazione è di presentare nuove e per molti versi allarmanti evidenze scientifiche riguardanti la crisi climatica ed i suoi impatti sul territorio e sulla popolazione, che sono emerse dopo l'approvazione del decreto VIA 2018, e di un mutato quadro nel contesto della mitigazione del cambiamento climatico, dovuto all'inefficacia delle misure fin qui adottate. Alla luce di tali nuovi elementi, l'opera appare dannosa sia nel contesto urbano che in quello nazionale, ed incompatibile con una efficace strategia di mitigazione e prevenzione dei danni a persone e cose.

La relazione si struttura in una prima parte dedicata all'esposizione dei nuovi elementi scientifici che riteniamo debbano essere presi in esame nella valutazione di impatto ambientale dell'opera. Nella seconda parte tali evidenze sono messe in legame con l'efficacia delle politiche di mitigazione a livello nazionale, europeo e globale degli ultimi anni, nonché con un mutato quadro di impegni assunti a livello internazionale, tra i quali gli obiettivi previsti dalla commissione europea nel Regolamento UE sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima (11.12.2018), nonché con il testo definitivo del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) del 2020.

1. Nuove evidenze scientifiche sul cambiamento climatico in atto

Nell'ultimo decennio si ha avuto un avanzamento sostanziale della nostra conoscenza del sistema climatico e della sua risposta all'aumentata concentrazione di gas ad effetto serra in atmosfera, dovuta alle emissioni antropiche. Tale avanzamento si è avuto in conseguenza di vari fattori:

- la grande disponibilità di risorse computazionali e lo sviluppo dei modelli climatici, che sono ora in grado di rappresentare i processi fisici del sistema con una fedeltà e risoluzione spaziale senza precedenti;
- le nuove proiezioni climatiche del protocollo CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project - Phase 6), che hanno indagato la risposta del clima a

vari scenari socio-economici e di emissione per il XX secolo (Eyring et al., 2016; O'Neill, 2016), concluse nel corso del 2020;

- nuove evidenze osservazionali, che hanno permesso di stabilire in maniera inconfutabile diversi trend nel clima osservato, in particolare riguardo alla frequenza ed all'intensità degli eventi estremi;
- nuovi sviluppi teorici nella teoria dei sistemi complessi applicata al sistema Terra, con il filone dei cosiddetti climate "tipping points", o "punti di soglia", oltre i quali alcune componenti del sistema climatico potrebbero subire transizioni improvvise ed irreversibili.

Tali avanzamenti sono stati raccolti e messi a sistema negli ultimi rapporti dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ovvero da ricercatrici e ricercatori selezionate/i, e sottoposti a revisione tra pari da parte dell'intera comunità di ricerca, nonché dai rappresentanti scientifici dei vari governi. Faremo riferimento qui in particolare a due rapporti:

- IPCC Special Report 1.5°C (SR1.5, 2018), un report commissionato all'IPCC dalla conferenza dell'ONU sui cambiamenti climatici di Parigi (COP21) per determinare scenari globali di stabilizzazione del clima, mantenendo il riscaldamento globale al di sotto di 1.5°C;
- IPCC Sixth Assessment Report - The Physical Science Basis (AR6 - WGI, 2021). Il report periodico dell'IPCC che ha aggiornato il precedente report AR5 (2013) agli avanzamenti scientifici ottenuti nell'ultimo decennio.

Entrambi i report sono stati pubblicati successivamente all'approvazione del decreto VIA e costituiscono quindi sopraggiunte evidenze che riteniamo debbano essere valutate in questa sede. Riteniamo anzi che tali nuove evidenze siano determinanti nella valutazione della compatibilità ambientale dell'opera, mentre il report sottoposto da ASPI per la proroga del decreto VIA non ne fa menzione alcuna.

Espandiamo qui brevemente alcuni elementi specifici.

1.1 Nuove proiezioni climatiche dell'iniziativa CMIP6

Alla produzione delle nuove proiezioni climatiche secondo il protocollo CMIP6 hanno partecipato decine di istituti di ricerca a livello globale, quindi decine di modelli climatici sviluppati in maniera indipendente. Per la prima volta nell'ambito dell'iniziativa CMIP e grazie a nuovi e più potenti supercomputers, i modelli hanno raggiunto una risoluzione globale della circolazione al di sotto dei 100 km, con alcuni modelli che sono scesi anche al di sotto dei 50 km (Lee et al., 2021). Tale risoluzione ha permesso di raggiungere prestazioni migliori nella riproduzione del clima osservato, in particolare grazie alla migliore orografia, e quindi di confidenza nelle proiezioni con suddetti modelli. Al fianco

di questo, la comprensione dei processi e lo sviluppo della fisica hanno permesso di risolvere bias sistematici in alcuni modelli. Tale nuova generazione di modelli climatici costituisce una parte importante del report IPCC AR6 (in particolare si veda il capitolo 4 "Future global climate: scenario-based projections and near-term information", Lee et al., 2021). Un elemento di novità particolarmente allarmante per la comunità scientifica ha riguardato le nuove stime della sensitività climatica, ovvero l'aumento atteso nella temperatura media globale dovuto ad un raddoppio della concentrazione di CO₂ in atmosfera rispetto ai livelli pre-industriali. Tale quantità è ancora in parte incerta ma fondamentale per determinare il budget residuo di CO₂ equivalente che può ancora essere immesso in atmosfera. La sensitività climatica dei modelli CMIP6 è aumentata rispetto alla generazione precedente, aggravando quindi le conclusioni dell'assessment precedente sulle proiezioni future (si veda, ad esempio, Zelinka et al., 2020; Forster et al., 2021).

Nelle conclusioni del summary for policymakers del report IPCC AR6, basato non solo sulle nuove simulazioni dei modelli ma anche su altri dati osservazionali e teorici, si legge:

"The equilibrium climate sensitivity is an important quantity used to estimate how the climate responds to radiative forcing. Based on multiple lines of evidence, the very likely range of equilibrium climate sensitivity is between 2°C (high confidence) and 5°C (medium confidence). The AR6 assessed best estimate is 3°C with a likely range of 2.5°C to 4°C (high confidence), compared to 1.5°C to 4.5°C in AR5, which did not provide a best estimate."²

La stima della sensitività climatica è quindi aumentata nel suo limite inferiore (ora 2.5°C), mentre notevoli incertezze rimangono nella determinazione del suo limite superiore, come dimostrato dalla "medium confidence" assegnata al livello di 5°C. Ovvero, non sappiamo ancora bene di quanto si scalderà il pianeta, ma potrebbe essere più di quanto pensiamo (per contro, abbiamo più certezze sul margine inferiore). Tale assessment impone la massima prudenza nel pianificare la decarbonizzazione, poichè il budget residuo di CO₂-eq potrebbe anche essere significativamente inferiore a quanto stimato. Da ciò infatti l'IPCC conclude con nuova forza la necessità di limitarsi al budget previsto per 1.5°C, il che permetterebbe di lasciare un minimo margine di manovra.

Torneremo sul punto del budget residuo di CO₂-eq nella sezione 2 di questa relazione.

² Traduzione (n.d.A): "La sensitività climatica di equilibrio è una importante quantità usata per valutare come il clima risponde al forzante radiativo. Basandosi su molteplici evidenze, l'intervallo di valori ritenuto molto probabile per la sensitività climatica è tra i 2°C (molto sicuro) e i 5°C (mediamente sicuro). La migliore stima del rapporto AR6 è di 3°C con un intervallo di valori probabili da 2.5°C a 4°C (molto sicuro), rispetto all'intervallo da 1.5°C a 4.5°C nel rapporto AR5, che non ha assegnato una stima centrale."

1.2 Nuove evidenze osservative dell'accentuarsi della crisi climatica ed ecologica

Parallelamente, nuovi dati osservativi dimostrano come la crisi climatica sia pienamente in atto, ed in modo più evidente che mai. Le temperature globali hanno continuato a salire, e nuovi record nella temperatura media globale sono stati segnati ogni anno. Un esempio su tutti, Luglio 2023 ha segnato la temperatura media più alta mai registrata sul pianeta (<https://public.wmo.int/en/media/news/july-2023-confirmed-hottest-month-record>), che ha raggiunto il livello critico di 1.5°C in più rispetto alla media 1850-1900. Con buone probabilità, si tratta del mese più caldo sul pianeta dalla precedente fase interglaciale, circa 120000 anni fa. Contemporaneamente, nuovi estremi climatici si sono verificati in tutto il globo, si pensi ad esempio all'alluvione del Pakistan dell'estate 2022 (<https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-likely-increased-extreme-monsoon-rainfall-flooding-highly-vulnerable-communities-in-pakistan/>), agli incendi in Canada dell'ultima estate (<https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-more-than-doubled-the-likelihood-of-extreme-fire-weather-conditions-in-eastern-canada/>), alla devastazione di Derna in Libia di poche settimane fa e analoghi fenomeni che devono ancora essere analizzati in dettaglio dalla ricerca scientifica. Per la maggior parte di questi estremi, il ruolo giocato dal cambiamento climatico in atto è chiaro e rende ancora più urgenti gli sforzi per limitare il riscaldamento a 1.5°C.

Diversi studi recenti hanno inoltre permesso di stabilire un aumento significativo nella frequenza ed intensità di eventi estremi a livello globale, in relazione ad esempio a:

- temperature estreme, frequenza e intensità di ondate di calore (Fisher et al., 2021);
- rischio incendio su larga scala ed estensione (Kirchmeier-Young et al., 2019).
- frequenza e intensità di eventi di precipitazione estrema (Sun et al., 2021; Madakumbura et al., 2021; Fowler et al., 2021);
- portata media dei fiumi e rischio di inondazione fluviale (Gudmundsson et al., 2021);

Se queste prospettive erano già chiare nelle proiezioni dei modelli, il fatto che sia oggi possibile stabilire delle tendenze significative rappresenta un elemento di novità, e irrobustisce le conclusioni contenute a riguardo nel nuovo rapporto IPCC (Seneviratne et al., 2021).

Per quanto riguarda il territorio nazionale, è doveroso ricordare qui che l'Italia è particolarmente vulnerabile al cambiamento climatico in quanto si trova nella regione Mediterranea (ritenuta un "hotspot" climatico), per la quale si prevede un aumento significativo del rischio di siccità estrema (Seneviratne et al., 2021) e le temperature

estive stanno salendo già ora al doppio della media globale. I trend osservati nella precipitazione confermano le proiezioni dei modelli per la regione, sia nella diminuzione della media che nell'aumento degli estremi (Pavan et al., 2019). D'altra parte, infatti, l'orografia complessa del territorio ed il rapido riscaldamento delle acque del Mediterraneo sono elementi di rischio per fenomeni di precipitazione estrema in finestre temporali ristrette, foriere di inondazioni lampo ("flash floods") e possibilmente anche di inondazioni fluviali a più larga scala. I trend osservati nella precipitazione confermano le proiezioni dei modelli per la regione (Pavan et al., 2019). In questo senso, anche se il ruolo del cambiamento climatico nella recente alluvione dell'Emilia-Romagna (maggio 2023) è ad ora poco chiaro e sotto indagine (<https://www.worldweatherattribution.org/limited-net-role-for-climate-change-in-heavy-spring-rainfall-in-emilia-romagna/>), è ragionevole supporre che l'evento non sia completamente scollegato dalle temperature record registrate nell'anno corrente e considerare quindi seriamente anche questo fattore di rischio nella valutazione di impatto ambientale.

Per finire, allargando la visuale dalla sola crisi climatica allo stato di salute del pianeta nel suo complesso, vari studi recenti mostrano allarmanti segnali di impatto antropico su molteplici elementi chiave dell'equilibrio planetario. Richardson et al. (2023) aggiorna la valutazione di 9 indicatori e dei loro livelli di soglia per evitare un collasso della biosfera del pianeta, concludendo che 6 di 9 indicatori sono già ben oltre il limite di sostenibilità e che altri 2 si stiano avvicinando a tale limite. Citando dal paper, pubblicato recentemente sulla prestigiosa rivista Nature:

*"This planetary boundaries framework update finds that six of the nine boundaries are transgressed, suggesting that Earth is now well outside of the safe operating space for humanity."*³

1.3 Elementi a soglia nel sistema climatico ("tipping elements")

Dal punto di vista della comprensione teorica del sistema climatico e della sua risposta alle emissioni antropiche, notevoli avanzamenti sono stati fatti sullo studio di componenti del sistema con funzionamento a soglia, note come "tipping elements". Tali componenti possono reagire in maniera improvvisa ed irreversibile al riscaldamento globale una volta oltrepassate determinate soglie di attivazione (Lenton et al., 2019). Inoltre, possono dar vita alle cosiddette "tipping cascades", laddove l'attivazione di un

³ Traduzione (n.d.A.): "Questo aggiornamento del paradigma dei "limiti planetari" trova che sei dei nove limiti siano oltrepassati, suggerendo che la Terra sia ormai ampiamente al di fuori dello spazio operativo sicuro per l'umanità."

elemento a soglia può accelerare il riscaldamento ed innescare a sua volta altri elementi, in una spirale che potremmo definire senza esagerazioni apocalittica.

Recenti lavori mostrano come per diversi di questi elementi il punto di soglia ("tipping point") possa trovarsi già a bassi livelli di riscaldamento, intorno a 1.5°C o 2°C. Qualche esempio dalla recente review di Armstrong McKay et al. (2021):

- le calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartide occidentale, che potrebbero essere destinate a fusione irreversibile a partire già da 1.5°C di riscaldamento globale, con le conseguenti implicazioni per l'innalzamento del livello degli oceani globali; per quanto riguarda l'Antartide poi, c'è anche il rischio del collasso improvviso delle cosiddette "ice shelves".
- il collasso delle barriere coralline, già oggi sottoposte a stress elevato per l'aumentata acidità e temperatura degli oceani, che potrebbero avvenire già a 1.5°C di riscaldamento. Le barriere coralline sono alla base di ecosistemi straordinariamente complessi, che potrebbero collassare anch'essi generando ripercussioni su tutta la catena alimentare marina.
- lo scioglimento del permafrost (terreno perennemente ghiacciato) in vaste aree della Siberia e del Canada e nei fondali dell'oceano Artico, che potrebbe rilasciare in atmosfera importanti quantità di metano (CH₄), gas serra con un potere di riscaldamento 20 volte maggiore dell'anidride carbonica (CO₂).

1.4 L'importanza di limitare il riscaldamento del pianeta a 1.5°C

In conseguenza delle nuove evidenze scientifiche, si è rafforzata all'interno della comunità scientifica la necessità di tentare ogni strada possibile per mantenere il riscaldamento del pianeta al di sotto di 1.5°C rispetto ai livelli del periodo pre-industriale. Tali nuove evidenze rendono infatti incerte le proiezioni al di sopra di tale soglia di riscaldamento, in particolare riguardo alla possibilità di innescare il collasso di uno o più elementi a soglia. D'altra parte, abbiamo oggi maggiore contezza degli impatti sulla società e sull'ambiente di un livello di riscaldamento moderato come quello raggiunto nell'ultima decade, e abbiamo il dovere di tenerne conto nella pianificazione della gestione del territorio anche in un'ottica di adattamento.

Gli impatti del cambiamento climatico in atto sono già seri al livello attuale di circa 1.1°C e le proiezioni indicano che tali impatti aumentano, in prima approssimazione, in maniera lineare con il riscaldamento medio del pianeta. Di conseguenza, la comunità scientifica ha rinnovato negli ultimi anni con estrema urgenza la necessità di agire e tagliare immediatamente le emissioni di gas climalteranti (si veda ad esempio il recente

lavoro di Hoegh-Guldberg et al., 2023). Riteniamo che tali nuove evidenze debbano essere prese in considerazione nella valutazione dell'impatto ambientale dell'opera in questione.

2 Evoluzione del quadro globale e nazionale della mitigazione

Come riportato nella sezione precedente, nuove evidenze scientifiche emerse dal 2018 ad oggi rinnovano ed incrementano l'urgenza di agire immediatamente per fermare il cambiamento climatico in atto ad un livello inferiore a 1.5°C, come previsto dagli accordi della COP21 di Parigi nel 2015 e come ribadito più volte dall'ONU e dal suo segretario generale. Per una politica di mitigazione efficace, va in primo luogo considerato lo stato locale e globale delle politiche di mitigazione e l'andamento delle emissioni negli anni recenti. Come più volte ribadito dall'IPCC e dall'ONU, gli attuali impegni di riduzione dei singoli paesi sono assolutamente insufficienti per restare entro 1.5°C, e portano invece verso 3°C e oltre.

Faremo uso nel seguito del concetto di "Carbon Budget" o più precisamente del budget residuo di CO₂ equivalente, che stima la quantità di CO₂ ed altri gas serra che può ancora essere emessa in atmosfera per limitare il riscaldamento a 1.5°C. Il budget residuo si indica solitamente in Gton di CO₂-eq, indicate come GtCO₂. Gli altri gas serra sono convertiti in CO₂ equivalente utilizzando il rapporto fra il loro Global Warming Potential (GWP) e quello della CO₂. Il budget residuo di CO₂-eq per 1.5 °C era stimato a inizio 2020 tra le 400 e le 500 GtCO₂ (https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf, Tabella TS.3, p. 98). Tale budget è ora ridotto a circa 260-360 GtCO₂, corrispondente a 6-9 anni proseguendo all'attuale livello di emissioni (circa 40 GtCO₂ all'anno globalmente). Assumere il dato della contrazione del budget residuo è fondamentale per mantenersi su una traiettoria di mitigazione efficace, come osservato anche in recenti studi pubblicati su riviste autorevoli (si vedano ad esempio Gambhir et al., 2023; Zaklan et al., 2021).

Gli scenari di mitigazione che prevedono di restare entro 1.5°C sono ambiziosi ma ancora possibili (Millar et al., 2017; Kriegler et al., 2018; Keyßer et al., 2021), e di primaria importanza nell'ottica di fermare il prima possibile il riscaldamento globale ed evitare il rischio concreto di collasso della biosfera. Tuttavia, negli ultimi 6 anni il budget residuo per 1.5°C si è contratto in maniera sostanziale, obbligando a rivalutare gli scenari di riduzione e aggiornarli al nuovo stato delle cose. Citando da Gambhir et al. (2021):

"Understanding how 1.5 °C pathways could adjust in light of new adverse information, such as a reduced 1.5 °C carbon budget, or slower-than-expected

*low-carbon technology deployment, is critical for planning resilient pathways. [...] The 1.5 °C target remains achievable in the model, in light of some adverse information, provided a broad portfolio of technologies and measures is still available."*⁴

Gli autori raccomandano quindi di mantenere un approccio flessibile alla pianificazione dei percorsi di mitigazione, aggiornandoli ed aprendo a nuove soluzioni nel caso in cui le attuali non siano all'altezza delle aspettative.

2.1 Riduzione delle emissioni nazionali e percorso verso l'azzeramento

Per quanto riguarda le emissioni nazionali, la pianificazione della gestione energetica e della mitigazione dei cambiamenti climatici è regolata da alcuni elementi normativi di recente definizione, sia in ambito europeo che nazionale e locale:

- il **Regolamento UE 2018/1999** sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima, pubblicato in data 11.12.2018 (disponibile qui nel suo ultimo aggiornamento: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A02018R1999-20230516&qid=1695676037764>), che contiene disposizioni vincolanti per il rispetto degli accordi di Parigi e obbliga ciascuno stato membro a dotarsi di un Piano nazionale energetico e climatico compatibile;
- il nuovo **Regolamento UE 2021/1119** del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 30 giugno 2021, che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e aggiorna gli obiettivi del Regolamento UE 2018/1999, alzando l'ambizione delle politiche di mitigazione dell'Unione (disponibile qui: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119&qid=1695676897929>);
- il testo definitivo del **Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima** (PNIEC), così come proposto alla valutazione della Commissione europea nel 2020 (<https://www.mimit.gov.it/index.php/it/notizie-stampa/pniec2030>), e suoi successivi aggiornamenti;

⁴ Traduzione (n.d.A.): "Comprendere come gli scenari verso 1.5°C si possano correggere alla luce di nuove evidenze avverse, come ad esempio un ridotto budget di carbonio per 1.5°C, o una adozione più lenta del previsto delle nuove tecnologie a basse emissioni di carbonio, è cruciale per pianificare scenari resilienti. [...] L'obiettivo di 1.5°C rimane raggiungibile nel modello, alla luce di alcune evidenze avverse, a patto che un ampio portafoglio di tecnologie e misure sia ancora disponibile."

- a livello locale, il **Piano Urbano per la Mobilità Sostenibile** (PUMS), approvato dalla città metropolitana di Bologna il 27 Novembre 2019 (https://pumsbologna.it/Engine/RAServeFile.php/f/documenti_approvazione/VAS/Dichiarazione%20di%20Sintesi.pdf).

Tutti e quattro questi elementi normativi e di pianificazione sono stati pubblicati successivamente all'approvazione del primo decreto VIA e non sono stati considerati in sede di concessione della proroga al suddetto decreto.

Il regolamento UE 2018/1999 sull'energia e l'azione per il clima prevede in particolare un **"obiettivo vincolante di riduzione interna di almeno il 40 % delle emissioni di gas a effetto serra nel sistema economico entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990"**. Tale vincolo è stato recepito nel PNIEC, che recita: *"L'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra al 2030 di almeno il 40% a livello europeo rispetto al 1990 è ripartito tra i settori ETS (industrie energetiche, settori industriali energivori e aviazione) e non ETS (trasporti, residenziale, terziario, industria non ricadente nel settore ETS, agricoltura e rifiuti) che dovranno registrare rispettivamente un -43% e un -30% rispetto all'anno 2005."* (p. 46). Più precisamente, la riduzione per il settore industria e trasporti dovrebbe essere di almeno il 33%, come mostrato in Tabella 6 dello stesso documento e specificato altrove nel testo.

A parte la confusione data dal diverso anno di riferimento adottato nel PNIEC, il vincolo richiede che la quota totale di emissioni per il settore trasporti sia ridotta dalle 128 MtCO₂ del 2005 a meno di 80 MtCO₂ nel 2030. L'ultimo dato rilevato nel PNIEC è quello del 2016, corrispondente a 104.5 MtCO₂ per l'anno 2016. Da dati più aggiornati forniti da ISPRA (<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/cambiamenti-climatici/landamento-delle-emissioni>), si evince che la quota di emissioni totale dell'anno 2019 (l'ultimo disponibile) è lievemente inferiore a quella del 2016, ma non quanto ci si sarebbe attesi dal trend osservato nel decennio precedente. Gran parte della riduzione si è ottenuta infatti tra il 2008 (anno della grande crisi economica) e il 2014, mentre negli ultimi anni a disposizione si è osservato un *plateau* nelle emissioni. Ciò è dovuto in parte alla riduzione della produzione e dei consumi energetici in corrispondenza con la crisi economica, al phase-out del carbone (rimpiazzato in buona parte dal gas) e, in parte, all'aumentata produzione di energia rinnovabile. Tale trend non è tuttavia continuato nei recenti anni e sussistono seri dubbi che l'obiettivo nazionale al 2030 (312 MtCO₂/anno contro le circa 520 MtCO₂/anno del 1990) possa essere raggiunto, dato che il gap da colmare è di circa 110 MtCO₂/anno (rispetto a circa 420 MtCO₂/anno del 2019).

Come si commenta nello stesso PNIEC riguardo al settore trasporti (*"Il settore trasporti ha ribadito il calo degli ultimi anni, assestandosi su un consumo di 39,1 Mtep (-1,1%)"*), il calo sarebbe ora dell'ordine del 1% annuo, decisamente troppo lento per ottenere una

diminuzione di circa il 20% (da 100 a 80 MtCO₂) nei 6 anni che ci separano dal 2030. Ad aggravare la situazione, le tendenze recenti del settore servizi e industria, che sono rilevate addirittura in crescita rispetto all'anno precedente: *"In controtendenza, invece, i settori servizi e industria, che hanno registrato incrementi dei consumi pari rispettivamente a +0,3% e +1,4%, determinati principalmente dalla dinamica dell'attività economica."*

C'è poi da considerare che il nuovo Regolamento UE 2021/1119 aggiorna al rialzo gli obiettivi vincolanti che l'Unione ha assunto nel Regolamento UE 2018/1999, ed in maniera sostanziale:

*"Alla luce dell'obiettivo della neutralità climatica da conseguire per il 2050, entro il 2030 dovrebbero essere ridotte le emissioni di gas a effetto serra e aumentati gli assorbimenti, in modo tale che **le emissioni nette di gas a effetto serra - ossia le emissioni al netto degli assorbimenti - siano ridotte, in tutti i settori dell'economia e a livello dell'Unione, di almeno il 55 % rispetto ai livelli del 1990 entro il 2030.** Il Consiglio europeo ha approvato tale obiettivo nelle sue conclusioni del 10 e 11 dicembre 2020. Ha inoltre fornito orientamenti iniziali sulla sua attuazione. Tale nuovo obiettivo climatico dell'Unione per il 2030 costituisce un obiettivo successivo ai sensi dell'articolo 2, punto 11, del regolamento (UE) 2018/1999, e conseguentemente sostituisce l'obiettivo dell'Unione di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra entro il 2030 stabilito nel medesimo punto. "*

Tale aggiornamento, che dovrà tradursi in una versione aggiornata del PNIEC, rende ancora più stringenti le politiche in campo di mitigazione dei cambiamenti climatici, ed obbliga il Paese ad un aggiornamento e rivalutazione delle misure previste, necessariamente includendo le opere pianificate e gli investimenti collegati.

2.2 Emissioni previste dal progetto di Allargamento del Sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna

Prendiamo qui in considerazione alcuni elementi riguardanti lo studio "Analisi emissione di CO₂ della rete stradale e definizione potenza di riferimento per energia da fonti rinnovabili per compensazione incremento CO₂ di cui alla prescrizione A5 - C2 del DEC VIA n. 133 del 30/03/2018", presentata da Autostrade per l'Italia (ASPI) di fronte alla richiesta del Ministero dell'Ambiente (ora Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) contestuale all'approvazione del decreto VIA. In particolare, ci riferiamo ad alcune valutazioni sviluppate nella relazione a firma Vincenzo Balzani e Alessandra Bonoli, doc. 138 depositato il 24 Marzo 2022 nel giudizio r.g. 489/2018 pendente davanti al TAR di Bologna (nel seguito, "Relazione Balzani-Bonoli").

Oltre a non rispettare l'approccio generalmente seguito per tali valutazioni, come documentato nella Relazione Balzani-Bonoli, le previsioni di emissione fatte da ASPI nel documento sono particolarmente indicative dell'impegno verso una drastica e rapida riduzione delle emissioni del settore trasporti al 2030 e al 2050, impegno vincolante per il Paese nel contesto Europeo e internazionale.

In particolare, nello studio di ASPI si fa una stima delle emissioni previste dal nodo Autostradale e Tangenziale di Bologna nel 2040, che non considera però alcuno scenario di mitigazione, nè si preoccupa che lo scenario previsto al 2040 sia compatibile con il PNIEC. In particolare, si legge:

"l'analisi è stata effettuata sulla base del parco veicolare relativo al 2019; tuttavia, essendo l'orizzonte temporale degli scenari progettuale e programmatico corrispondente al 2040, sono state effettuate alcune ipotesi circa la sua composizione in relazione alle classi emissive e alla possibilità di rinnovo del parco stesso. In particolare, si è assunto, in via cautelativa, che le classi Euro 0, Euro 1 e Euro 2 venissero sostituite, aumentando la numerosità delle Euro 6."

Da ciò si evince come l'unica misura di mitigazione al 2040, se così possiamo definirla, consisterebbe nell'ammodernamento del parco macchine. Non si prevede invece una riduzione del numero di veicoli circolanti, come correttamente osservato dal PUMS e dal PNIEC (si veda Sezione 2.3 che segue). Tale mancanza rende lo scenario previsto dall'analisi emissiva insufficiente ai fini della mitigazione e del raggiungimento degli obiettivi del Regolamento UE 2021/1119 al 2030 e al 2050. Sussistono seri dubbi sul fatto che il progetto di allargamento sia compatibile con tali obiettivi, stante lo scenario di circolazione al 2040 di veicoli privati e di veicoli merci che ne motiva la necessità.

In aggiunta, anche valutando il solo scarto emissivo previsto dall'allargamento rispetto allo scenario di non intervento - come osservato nella Relazione Balzani-Bonoli -, l'analisi di ASPI non considera tutte le emissioni dovute alla costruzione stessa dell'opera, sottostimandone l'entità. Tali emissioni aggiuntive sarebbero compensate, nell'analisi di ASPI, da nuovo verde urbano (75 ha) e dalla creazione di un parco energetico solare fotovoltaico (2.29 MWp, poi estesi a 50 MWp in sede di Conferenza dei Servizi, si veda Relazione Balzani-Bonoli per riferimento). Tuttavia, si osserva qui come sia incorretto parlare di "compensazione" nel caso del parco energetico, dato che questo non produrrebbe emissioni negative di CO₂. L'energia rinnovabile da installare è infatti da rendicontare nel settore della produzione di energia primaria, piuttosto che nel settore dei trasporti; i Regolamenti UE, come il PNIEC, sono piuttosto chiari nell'affermare che gli obiettivi di mitigazione al 2030 debbano essere raggiunti per ogni settore separatamente. Si ritiene pertanto che tale potenza fotovoltaica installata, già rientrando nel computo della transizione del settore energia, non possa essere presentata in questa sede come "compensazione".

2.3 Buone pratiche di transizione nelle linee guida del PNIEC e del PUMS

Connesso alla precedente analisi quantitativa, aggiungiamo qui alcuni estratti dallo stesso PNIEC e dal PUMS che riguardano da vicino la questione della transizione nel settore dei trasporti. Entrambi i report sottolineano l'importanza di disincentivare il trasporto su gomma, in particolare per quanto riguarda il trasporto di merci e quello con mezzo privato.

Dal PUMS2019:

"Gli indicatori, attraverso i quali è stata eseguita la valutazione sulle priorità realizzative degli interventi progettuali, appartengono dunque a due tipologie principali:

1. Riduzione delle percorrenze sviluppate (veic*km) dai veicoli del trasporto privato, in particolar modo all'interno dei centri abitati, ma anche in generale su tutta la rete stradale della Città metropolitana. **Sono quindi prioritari gli interventi che producono una diminuzione più consistente delle percorrenze sulla rete**, specie se tale decremento è ottenuto in ambito urbano.

2. Concorrenzialità ridotta con le linee del Servizio Ferroviario Metropolitano. Nell'ottica di perseguire una diversione modale dall'auto privata verso forme di mobilità più sostenibili, **sono considerati controproducenti gli interventi che determinano il ricorso all'auto privata** per gli utenti che possono utilizzare il servizio SFM."

Dal PNIEC:

"È nelle città, infatti, che si concentrano le criticità del congestionamento del traffico, delle emissioni inquinanti e della sicurezza stradale. È pertanto nelle città che deve essere stimolato il cambiamento culturale verso l'utilizzo della bicicletta, del trasporto pubblico e dello shift modale, della mobilità elettrica e condivisa [...]"

"Si intende riservare maggiore centralità al trasporto su ferro, efficientando la flotta esistente, raddoppiando l'offerta di TPL e la sua elettrificazione. [...] Per quanto riguarda il Trasporto pubblico locale, il Governo, consapevole dell'impatto che il sistema pubblico di mobilità ha sulla qualità della vita dei cittadini e sull'ambiente delle città, intende sostenere la mobilità locale e urbana attraverso adeguati investimenti per il trasporto rapido di massa e per il rinnovo del parco autobus."

Tali raccomandazioni, che permetterebbero di accelerare sugli obiettivi di mitigazione previsti al 2030 e di rispettare degli impegni assunti dal nostro Paese in sede internazionale, sono estremamente pertinenti nella valutazione di impatto ambientale dell'opera in questione. Si chiede pertanto che anch'essi vengano presi in considerazione nella valutazione.

La grande ambizione legata al settore dei trasporti è evidente poi anche nel Regolamento UE 2021/1119, che fissa:

"Come indicato nel Green Deal europeo, il 9 dicembre 2020 la Commissione ha adottato una comunicazione dal titolo «Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente: mettere i trasporti europei sulla buona strada per il futuro». La strategia definisce una tabella di marcia per un futuro sostenibile e intelligente per i trasporti europei, con un piano d'azione volto a conseguire l'obiettivo di ridurre del 90 % le emissioni del settore dei trasporti entro il 2050."

Tale ambizione comunitaria è apertamente in contraddizione con le prospettive espresse da ASPI, che vedono un sostanziale protrarsi dello status quo almeno fino al 2040 per quanto riguarda le emissioni della rete autostradale e tangenziale nel nodo di Bologna.

Conclusioni

Nella presente relazione si sostiene che nuovi elementi, sia scientifici che normativi, emersi dopo la concessione della compatibilità ambientale all'opera in questione (decreto VIA n. 133 del 30/03/2018), debbano essere presi in considerazione nella rivalutazione di suddetta compatibilità ambientale. Si contesta pertanto la concessione della proroga al 2029 del decreto VIA, ottenuta senza valutazione alcuna delle nuove evidenze che qui si discutono.

In particolare, su un piano prettamente scientifico, si evidenziano i seguenti avanzamenti nella comprensione del cambiamento climatico successivi al 2018 e determinanti nella definizione delle politiche di policy:

- le nuove proiezioni climatiche dell'iniziativa CMIP6, ottenute con modelli a più alta risoluzione ed in generale con migliori prestazioni, mostrano un'aumentata sensibilità climatica, che impone di correggere al ribasso le stime conservative dei budget residui di CO₂-eq;
- nuove evidenze osservative hanno mostrato concretamente che l'impatto dei cambiamenti climatici sulla società e sulla salute delle persone è già percepibile

e potenzialmente di grave entità al moderato livello di 1°C di riscaldamento (attuale);

- nuove evidenze teoriche mostrano che, oltre 1.5°C di riscaldamento, il rischio di scatenare una serie di transizioni a soglia nel sistema climatico aumenta considerevolmente.

Per questo la comunità scientifica internazionale chiede con nuova forza di agire immediatamente per non oltrepassare la soglia critica di 1.5°C (Hoegh-Guldberg et al., 2021).

Si è poi proseguito sul piano della policy climatica e normativo, sostenendo che:

- il budget residuo di CO₂ equivalente compatibile con l'obiettivo di 1.5°C è stimato ad oggi in 260-360 GtCO₂; tale budget è significativamente ridotto rispetto alle stime del 2018 sulla quale sono basati gli attuali piani di mitigazione, che andrebbero quindi rivisti di conseguenza (Gambhir et al., 2021);
- il quadro normativo del nuovo Regolamento UE su energia e clima del 2018 ed il testo definitivo del Piano Nazionale Integrato Energia Clima (PNIEC, 2020) costituiscono nuovi elementi da considerare nella valutazione;
- in particolare, gli obiettivi del PNIEC impongono una riduzione al 2030 delle emissioni del settore trasporti a 80 MtCO₂/anno, circa il 20% in meno di quello attuale. La riduzione osservata (-1%) è tuttavia ritenuta qui insufficiente a raggiungere l'obiettivo, imponendo una rivalutazione delle strategie di mitigazione.

In conclusione, si ritiene che l'opera di allargamento del Sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna sia dannosa per il perseguimento degli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico, per quanto assunti dal Paese nel contesto dell'Unione Europea e delle Nazioni Unite. Ciò alla luce del fatto che:

- l'opera comporterà una maggiore emissione di gas ad effetto serra sia nel corso della sua costruzione che nel futuro, per l'aumentata circolazione (tuttora principalmente di veicoli a combustione interna);
- l'opera rappresenta un investimento strategico sul trasporto di merci su strada e sul trasporto con veicolo privato, in aperta contraddizione con le stesse linee guida del PNIEC e del PUMS della Città Metropolitana di Bologna, che prevedono invece una riduzione di suddetti traffici. Si nota che, nello scenario auspicato dal PNIEC, l'allargamento dell'attuale rete appare inoltre inutile, in quanto le attuali criticità sarebbero risolte dal minor numero di veicoli circolanti;

- l'opera comporta un aumentato consumo di suolo e riduzione dei pozzi naturali di CO2 ("carbon sinks") dovuto all'abbattimento massiccio di alberi in età adulta, contrariamente a quanto indicato dalla comunità scientifica in ottica di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici (Rockström et al., 2021).
- lo scenario nazionale di circolazione sulla rete autostradale al 2040 che sta alla base dell'opera (nello studio proposto da ASPI) si ritiene incompatibile con gli obiettivi di riduzione delle emissioni del comparto trasporti previste dal Regolamento UE 2018/1999 (implementato nel PNIEC 2020), ora aggiornato dai più stringenti obiettivi del Regolamento UE 2021/1119.

Referenze

Armstrong McKay, David I., Arie Staal, Jesse F. Abrams, Ricarda Winkelmann, Boris Sakschewski, Sina Loriani, Ingo Fetzer, Sarah E. Cornell, Johan Rockström, and Timothy M. Lenton. "Exceeding 1.5°C Global Warming Could Trigger Multiple Climate Tipping Points." *Science* 377, no. 6611 (September 9, 2022): eabn7950. <https://doi.org/10.1126/science.abn7950>.

Eyring, Veronika, Sandrine Bony, Gerald A Meehl, Catherine A Senior, Bjorn Stevens, Ronald J Stouffer, and Karl E Taylor. "Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) Experimental Design and Organization." *Geoscientific Model Development* 9, no. 5 (2016): 1937–58.

Fischer, E. M., S. Sippel, and R. Knutti. "Increasing Probability of Record-Shattering Climate Extremes." *Nature Climate Change* 11, no. 8 (August 2021): 689–95. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01092-9>.

Forster, Piers, Trude Storelvmo, Kyle Armour, William Collins, Jean-Luis Dufresne, David Frame, Daniel J. Lunt, et al. "Chap7 - The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity." In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, Anna Pirani, Sarah L. Connors, Clotilde Péan, Sophie Berger, Nada Caud, et al., 923–1054. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.

Fowler, Hayley J., Geert Lenderink, Andreas F. Prein, Seth Westra, Richard P. Allan, Nikolina Ban, Renaud Barbero, et al. "Anthropogenic Intensification of Short-Duration Rainfall Extremes." *Nature Reviews Earth & Environment* 2, no. 2 (February 2021): 107–22. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6>.

Gambhir, Ajay, Shivika Mittal, Robin D. Lamboll, Neil Grant, Dan Bernie, Laila Gohar, Adam Hawkes, Alexandre Köberle, Joeri Rogelj, and Jason A. Lowe. "Adjusting 1.5 Degree C Climate Change Mitigation Pathways in Light of Adverse New Information." *Nature Communications* 14, no. 1 (August 23, 2023): 5117. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40673-4>.

Gudmundsson, Lukas, Julien Boulange, Hong X. Do, Simon N. Gosling, Manolis G. Grillakis, Aristeidis G. Koutroulis, Michael Leonard, et al. "Globally Observed Trends in Mean and Extreme River Flow Attributed to Climate Change." *Science* 371, no. 6534 (March 12, 2021): 1159–62. <https://doi.org/10.1126/science.aba3996>.

Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, T. Guillén Bolaños, M. Bindi, S. Brown, I. A. Camilloni, et al. "The Human Imperative of Stabilizing Global Climate Change at 1.5°C." *Science* 365, no. 6459 (September 20, 2019): eaaw6974. <https://doi.org/10.1126/science.aaw6974>.

Kirchmeier-Young, M. C., N. P. Gillett, F. W. Zwiers, A. J. Cannon, and F. S. Anslow. "Attribution of the Influence of Human-Induced Climate Change on an Extreme Fire Season." *Earth's Future* 7, no. 1 (2019): 2–10. <https://doi.org/10.1029/2018EF001050>.

Keyßer, Lorenz T., and Manfred Lenzen. "1.5 °C Degrowth Scenarios Suggest the Need for New Mitigation Pathways." *Nature Communications* 12, no. 1 (May 11, 2021): 2676. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22884-9>.

Kriegler, Elmar, Gunnar Luderer, Nico Bauer, Lavinia Baumstark, Shinichiro Fujimori, Alexander Popp, Joeri Rogelj, Jessica Strefler, and Detlef P. van Vuuren. "Pathways Limiting Warming to 1.5°C: A Tale of Turning around in No Time?" *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 376, no. 2119 (April 2, 2018): 20160457. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0457>.

Lee, June-Yi, Jochem Marotzke, Govindasamy Bala, Long Cao, Susanna Corti, John P. Dunne, François Engelbrecht, et al. “Future Global Climate: Scenario-Based Projections and near-Term Information.” In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, Anna Pirani, Sarah L. Connors, Clotilde Péan, Sophie Berger, Nada Caud, et al., 553–672. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.

Lenton, Timothy M., Johan Rockström, Owen Gaffney, Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson, Will Steffen, and Hans Joachim Schellnhuber. “Climate Tipping Points — Too Risky to Bet Against.” *Nature* 575, no. 7784 (November 2019): 592–95. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>.

Madakumbura, Gavin D., Chad W. Thackeray, Jesse Norris, Naomi Goldenson, and Alex Hall. “Anthropogenic Influence on Extreme Precipitation over Global Land Areas Seen in Multiple Observational Datasets.” *Nature Communications* 12, no. 1 (July 6, 2021): 3944. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24262-x>.

Millar, Richard J., Jan S. Fuglestedt, Pierre Friedlingstein, Joeri Rogelj, Michael J. Grubb, H. Damon Matthews, Ragnhild B. Skeie, Piers M. Forster, David J. Frame, and Myles R. Allen. “Emission Budgets and Pathways Consistent with Limiting Warming to 1.5 °C.” *Nature Geoscience* 10, no. 10 (October 2017): 741–47. <https://doi.org/10.1038/ngeo3031>.

O’Neill, B. C., C. Tebaldi, D. P. van Vuuren, V. Eyring, P. Friedlingstein, G. Hurtt, R. Knutti, et al. “The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6.” *Geoscientific Model Development* 9, no. 9 (2016): 3461–82. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>.

Pavan, Valentina, Gabriele Antolini, Roberto Barbiero, Nicola Berni, Fabio Brunier, Carlo Cacciamani, Anselmo Cagnati, et al. “High Resolution Climate Precipitation Analysis for North-Central Italy, 1961–2015.” *Climate Dynamics* 52, no. 5 (March 1, 2019): 3435–53. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4337-6>.

Richardson, Katherine, Will Steffen, Wolfgang Lucht, Jørgen Bendtsen, Sarah E. Cornell, Jonathan F. Donges, Markus Drüke, et al. “Earth beyond Six of Nine Planetary Boundaries.” *Science Advances* 9, no. 37 (September 13, 2023): eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>.

Rockström, Johan, Tim Beringer, David Hole, Bronson Griscom, Michael B. Mascia, Carl Folke, and Felix Creutzig. “Opinion: We Need Biosphere Stewardship That Protects Carbon Sinks and Builds Resilience.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118, no. 38 (September 21, 2021): e2115218118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2115218118>.

Seneviratne, Sonia I., Xuebin Zhang, M. Adnan, W. Badi, Claudine Dereczynski, Alejandro Di Luca, S. Ghosh, et al. “Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate.” In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, Anna Pirani, Sarah L. Connors, Clotilde Péan, Sophie Berger, Nada Caud, et al., 1513–1766. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.

Sun, Qiaohong, Xuebin Zhang, Francis Zwiers, Seth Westra, and Lisa V. Alexander. “A Global, Continental, and Regional Analysis of Changes in Extreme Precipitation.” *Journal of Climate* 34, no. 1 (January 1, 2021): 243–58. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0892.1>.

Zaklan, Aleksandar, Jakob Wachsmuth, and Vicki Duscha. "The EU ETS to 2030 and beyond: Adjusting the Cap in Light of the 1.5°C Target and Current Energy Policies." *Climate Policy* 21, no. 6 (July 3, 2021): 778–91. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1878999>.

Zelinka, Mark D., Timothy A. Myers, Daniel T. McCoy, Stephen Po-Chedley, Peter M. Caldwell, Paulo Ceppi, Stephen A. Klein, and Karl E. Taylor. "Causes of Higher Climate Sensitivity in CMIP6 Models." *Geophysical Research Letters* 47, no. 1 (2020): e2019GL085782. <https://doi.org/10.1029/2019GL085782>.