

Il cambiamento climatico e gli scenari di lungo termine

3-3 | 201-2 | TCFD: Strategy

Il Gruppo Enel sviluppa scenari di breve, medio e lungo termine, in ambito macroeconomico, finanziario, energetico e climatico, al fine di supportare i processi di pianificazione, allocazione di capitale, posizionamento strategico e valutazione dei rischi e della resilienza della strategia.

A tal fine, è stata condotta un'attività di analisi e benchmarking degli scenari esterni energetici di transizione, che, insieme all'analisi di report rilevanti sugli andamenti macroeconomici e di commodity, ha rappresentato un punto fondamentale di partenza per la definizione delle assunzioni degli scenari energetici Enel di lungo termine.

Gli scenari energetici globali sono tipicamente classificati per famiglie di scenario in funzione del livello di ambizione climatica:

- **Business as usual/Stated policies:** scenari energetici basati su business as usual/politiche attuali. Forniscono un punto di riferimento conservativo per il futuro, rappresentando l'evoluzione del sistema energetico in mancanza di politiche climatiche ed energetiche aggiuntive. Questi scenari attualmente non arrivano a raggiungere gli obiettivi dell'Accordo di Parigi;
- **Paris Aligned:** scenari energetici allineati all'Accordo di Parigi, ovvero che includono un obiettivo di contenimento dell'aumento di temperatura media globale "ben al di sotto di 2 °C" rispetto ai livelli preindustriali. Per raggiungere questo obiettivo, gli scenari di questa categoria considerano nuove e più ambiziose politiche per la decarbonizzazione, l'elettrificazione degli usi finali e per lo sviluppo delle rinnovabili;
- **Paris Ambitious:** scenari energetici globali che tracciano un percorso verso emissioni nette zero entro il 2050, coerente con l'obiettivo più ambizioso dell'Accordo di Parigi, ovvero la stabilizzazione dell'aumento della temperatura media globale entro 1,5 °C, seppur con diversi intervalli di probabilità.

Questa classificazione di famiglie di scenari è, tra l'altro, il risultato di un lavoro sviluppato negli anni e arricchito nel 2021 tramite la collaborazione a un gruppo di lavoro coordinato dal World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), cui ha preso parte Enel. Il progetto ha

avuto lo scopo di elaborare un approccio comune e trasparente all'uso di scenari pubblici da parte di aziende del sistema energetico e supportarle nell'utilizzo degli stessi per la valutazione dei rischi e delle opportunità legati all'evoluzione del clima, in modo coerente con la Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD). Il risultato finale di questo lavoro è composto da: (i) un report dove si fornisce il contesto sugli scenari energetici e si descrive la definizione condivisa delle famiglie di scenari e (ii) una piattaforma online che raccoglie le variabili di una molteplicità di scenari (WBCSD, 2023, Climate Scenario Analysis Reference Approach).

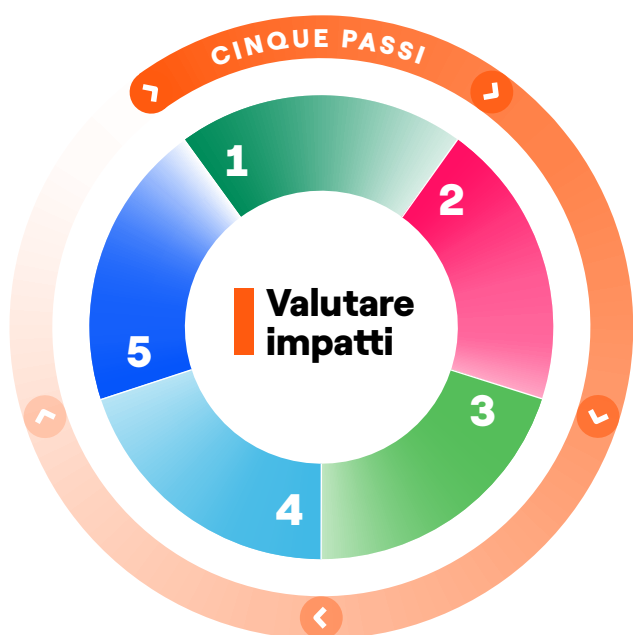
Enel costruisce gli scenari di lungo termine nell'ottica di un framework complessivo che assicuri la coerenza tra scenario di transizione energetica e scenario climatico fisico:

- lo "scenario di transizione energetica" descrive come produzione e consumo di energia evolvono nei vari settori in uno specifico contesto economico, sociale, di policy e regolatorio;
- le tematiche connesse ai trend futuri delle variabili climatiche (in termini di frequenza e intensità di fenomeni acuti e cronici) definiscono il cosiddetto "scenario fisico".

Per valutare gli effetti dei fenomeni di transizione e fisici sul sistema energetico, il Gruppo si avvale di modelli interni che, per ogni Paese analizzato, descrivono il sistema energetico tenendo conto delle specificità a livello tecnologico, socio-economico, di policy e regolazione.

Nel 2022, al fine di facilitare la collaborazione trasversale, a livello globale e locale, alla definizione degli scenari fisici e di transizione energetica, garantendo un costante allineamento con i requisiti della TCFD, sono state istituite due community interne cross function dedicate agli scenari fisici e a quelli di transizione, principalmente volte a discutere e definire le analisi di contesto, di benchmark e le ipotesi relative agli scenari di lungo termine, identificare le categorie rilevanti d'impatto e definire metodi per la loro valutazione a supporto della definizione delle azioni strategiche e industriali.

L'adozione degli scenari descritti e la loro integrazione nei processi aziendali tiene conto delle linee guida della TCFD ed è un fattore abilitante alla valutazione dei rischi e delle opportunità connesse al cambiamento climatico. Il proces-



so che traduce i fenomeni di scenario in informazioni utili alle decisioni industriali e strategiche può essere sintetizzato in cinque passi:

- 1** **Identificazione dei trend e dei fenomeni** rilevanti per il business (per esempio, elettrificazione dei consumi, ondate di calore ecc.)
- 2** Sviluppo di funzioni **link** tra scenari climatici/ di transizione e variabili operative
- 3** Individuazione dei **rischi** e delle **opportunità**
- 4** **Calcolo impatti** sul business (per esempio, Δ Margini, danni, Capex)
- 5** **Azioni strategiche**: definizione e implementazione (per esempio, capital allocation, piani resilienza)

Gli scenari di transizione energetica

Lo scenario di transizione energetica descrive come produzione e consumo di energia evolvono in uno specifico contesto geopolitico, macroeconomico, regolatorio, competitivo e in funzione delle opzioni tecnologiche disponibili; a esso corrisponde un trend di emissioni di gas serra e uno scenario climatico e, quindi, un certo aumento di temperatura entro fine secolo rispetto ai valori preindustriali.

Le principali assunzioni considerate nella definizione degli scenari di transizione riguardano:

- **le policy e i provvedimenti regolatori locali per contrastare il cambiamento climatico**, aumentare la sicurezza energetica e promuovere uno sviluppo sostenibile, quali, per esempio, le misure per ridurre le emissioni di anidride carbonica e il consumo di combustibili fossili, per incrementare l'efficienza energetica, l'elettrificazione dei consumi, la quota di generazione elettrica rinnovabile;
- **il contesto globale macroeconomico ed energetico** (per esempio, in termini di prodotto interno lordo, popolazione e prezzo delle commodity), considerando tra l'altro benchmark internazionali;
- **l'evoluzione delle tecnologie di produzione**, conversione e consumo di energia, in termini sia di parametri tecnici di funzionamento sia di costi.

Nel 2022 Enel ha rivisto il framework di scenari di transizione energetica di medio-lungo termine, definendo narrative di scenario in funzione di tre principali "signpost" di scenario, ovvero i principali driver di incertezza rispetto all'evoluzione macroeconomica ed energetica: il raggiungimento degli obiettivi di Parigi, l'evoluzione delle tensioni geopolitiche con riferimento al conflitto Russia-Ucraina e la gestione della pandemia da Covid-19.

Lo **scenario di riferimento per la pianificazione di lungo termine del Gruppo, denominato scenario Paris**, è quindi uno scenario:

- Paris aligned, che prevede il raggiungimento degli obiettivi dell'Accordo di Parigi, ovvero un incremento della temperatura media globale rispetto ai livelli preindustriali al di sotto di 2 °C, prevedendo pertanto un livello di ambizione climatica più elevato rispetto al business as usual ma senza assumere necessariamente il raggiungimento a livello globale dell'obiettivo Net-Zero al 2050, visto l'attuale livello di ambizione cumulata a livello globale;
- in cui si assume che le tensioni geopolitiche esacerbate dal conflitto Russia-Ucraina abbiano effetti prolungati, determinando un'accelerazione su elettrificazione e rinnovabili, e un maggior ricorso a LNG, per incrementare il

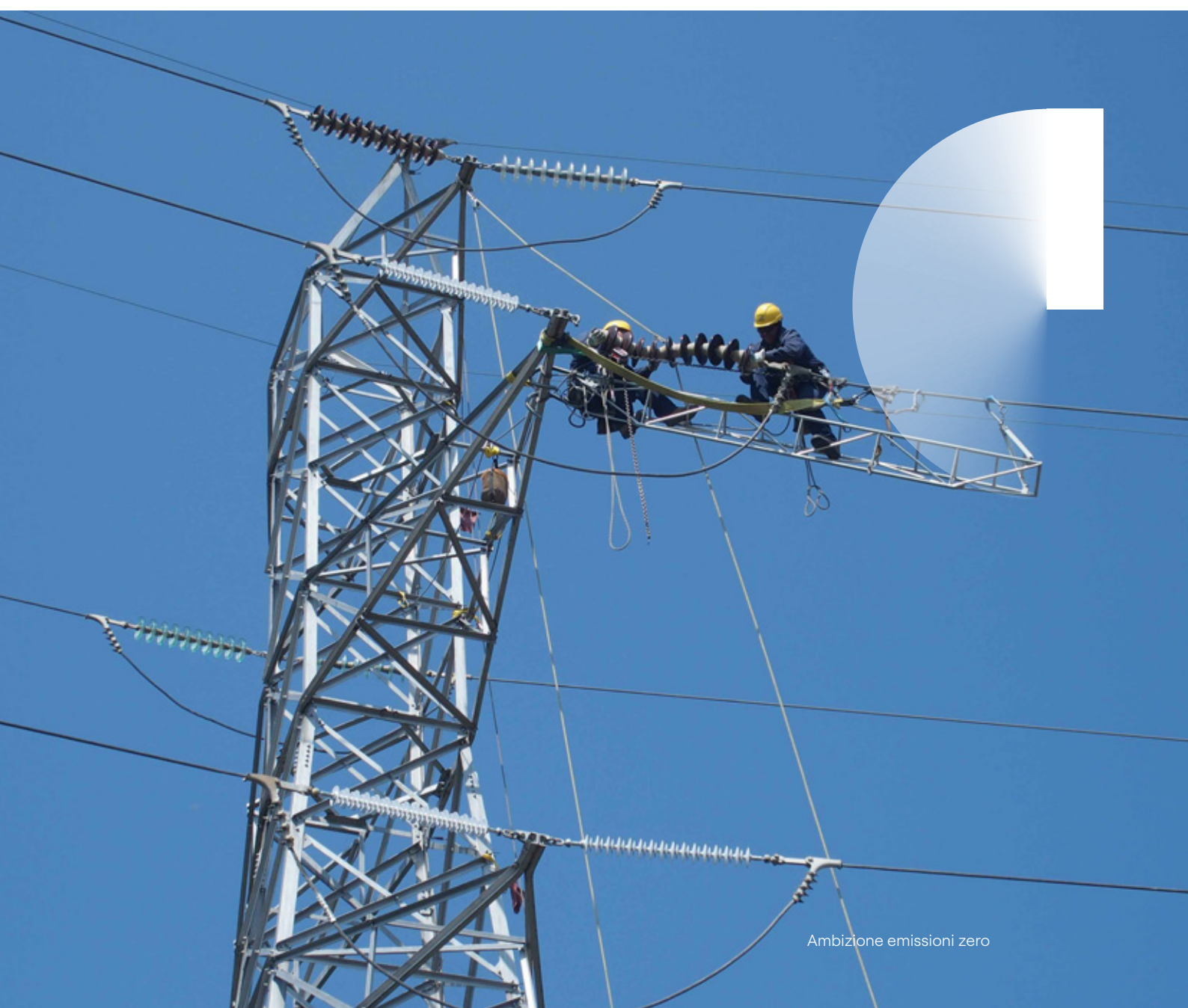
livello di sicurezza degli approvvigionamenti nel mutato contesto, soprattutto a livello europeo;

- caratterizzato da una aspettativa di Covid contenuto o endemico, con un alto tasso di vaccinazioni e senza la necessità di lockdown su larga scala.

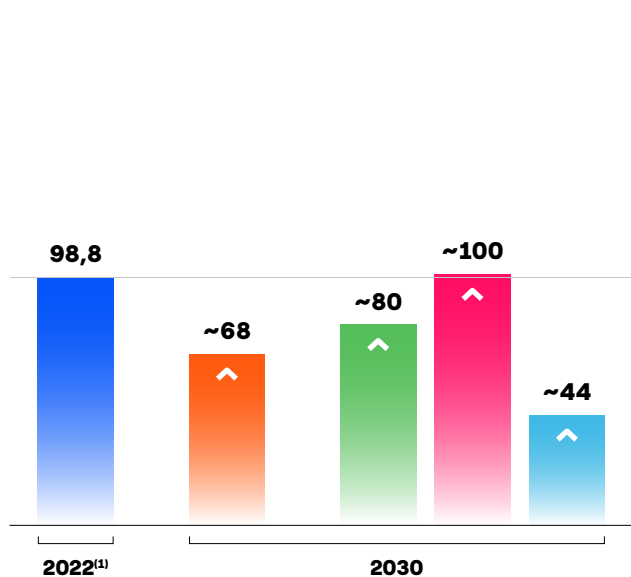
Per quanto riguarda l'ambizione climatica che caratterizza lo scenario di riferimento, si suppone una crescente elettrificazione dei consumi e un ulteriore sviluppo delle rinnovabili, anche a seguito delle politiche adottate per la sicurezza energetica (per esempio, REPowerEU nell'Unione europea, Inflation Reduction Act negli Stati Uniti). In questo scenario, a livello globale, governi, imprese, organizzazioni e cittadini partecipano efficacemente al comune sforzo di mitigazione delle emissioni di gas serra. Rispetto alla possibilità di assumere come scenario di riferimento per la pianificazione di lungo termine il raggiungimento dell'obiettivo più sfidante dell'Accordo di Parigi, ovvero stabilizzare la temperatura media globale

entro +1,5 °C, permane evidentemente l'incertezza che alcuni Paesi potrebbero mantenersi su traiettorie inerziali, ritardando il processo di decarbonizzazione verso emissioni nette zero entro il 2050.

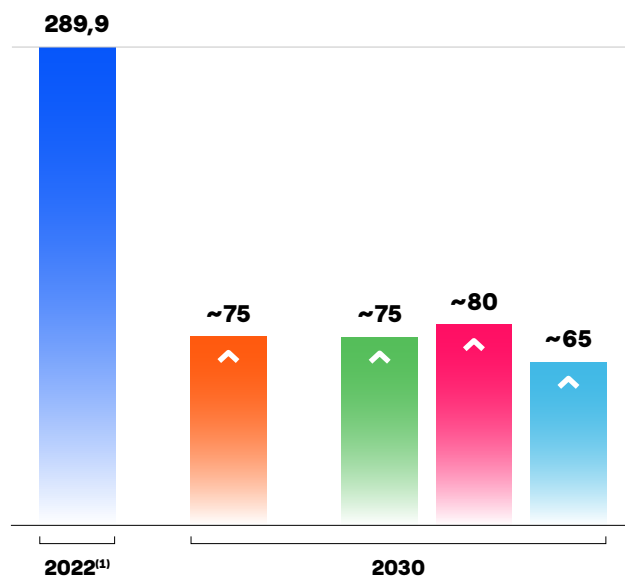
Le assunzioni sugli andamenti dei prezzi delle commodity in input allo scenario Paris sono coerenti con gli scenari esterni che raggiungono gli obiettivi dell'Accordo di Parigi. In particolare, si considera al 2030 una crescita sostenuta del prezzo della CO₂, causata dalla progressiva riduzione dell'offerta di permessi a fronte di una crescente domanda, e una marcata diminuzione dei prezzi del carbone, dovuta alla domanda in decrescita. Per quanto riguarda il gas, si ritiene che le tensioni sul prezzo si allenteranno nei prossimi anni, alla luce di un riallineamento tra domanda e offerta a livello globale. Infine, si prevede una progressiva stabilizzazione del prezzo del petrolio, di cui stimiamo il picco di domanda intorno al 2030.



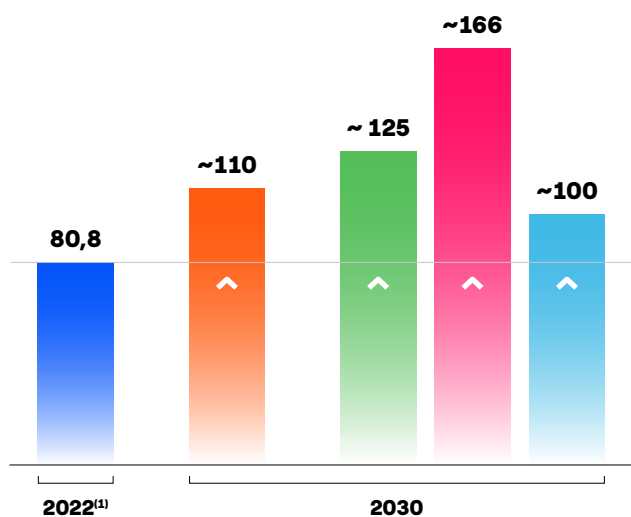
Brent (\$/bbl)



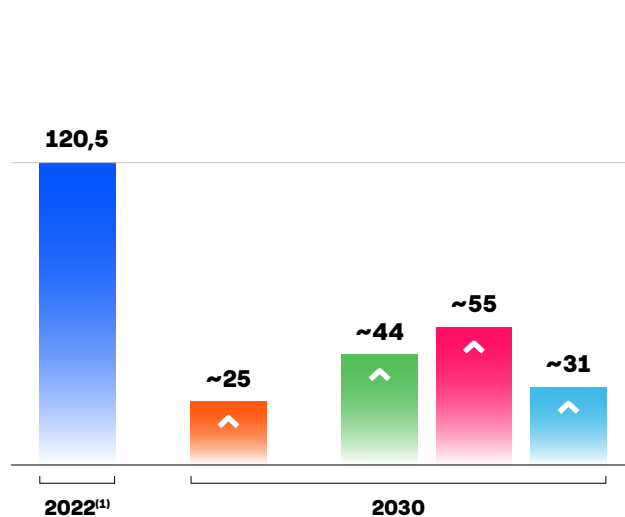
API2 (\$/t)



CO₂ EU - ETS (€/t)



TTF (€/MWh)



● Scenario Enel | ● Benchmark medio⁽²⁾ ● Benchmark massimo ● Benchmark minimo

(1) Consuntivo.

(2) Fonte: IEA – Sustainable Development Scenario and Net Zero Scenario; BNEF; IHS green case scenario; Enerdata green scenario. N.B. gli scenari utilizzati come benchmark sono stati pubblicati in diversi momenti dell'anno e potrebbero non essere aggiornati con le ultime dinamiche di mercato.

Rispetto allo scenario di riferimento, sono stati definiti scenari alternativi in funzione del grado di ambizione climatica assunta a livello globale e locale: uno scenario "Slower Transition", caratterizzato da una velocità di transizione più lenta, e uno scenario "Accelerated Transition", caratterizzato da un incremento di ambizione rispetto allo scenario di riferimento, in particolare per quanto riguarda alcune variabili caratteristiche della transizione

energetica, quali il tasso di elettrificazione dei consumi finali, la penetrazione di idrogeno verde o attitudini dei clienti finali verso modelli di consumo più sostenibili (per esempio, modal shift per quanto riguarda le modalità di trasporto pubblico/privato). Questi scenari vengono utilizzati per le sensitivity nelle valutazioni degli investimenti, gli stress test strategici, la valutazione dei rischi e l'identificazione di opportunità di business.

Gli scenari di transizione locale

Lo scenario di riferimento Enel – lo scenario Paris – copre tutte le geografie di presenza del Gruppo e prevede quindi un'ambizione climatica coerente con il raggiungimento dell'Accordo di Parigi, sostenuta da una crescente elettrificazione dei consumi finali di energia e dallo sviluppo di capacità rinnovabile.

La declinazione degli scenari a livello locale è stata impostata secondo due approcci complementari:

- nei principali Paesi di presenza è stato utilizzato un approccio "bottom up", mediante l'utilizzo di modelli fondamentali per la simulazione dell'equilibrio di lungo termine dell'intero sistema energetico, imponendo esplicitamente al sistema Paese un vincolo sull'evoluzione delle emissioni di CO₂. La valorizzazione delle variabili di scenario rilevanti per le attività del Gruppo (tra cui la domanda elettrica, il tasso di elettrificazione, la capacità rinnovabile e di generazione distribuita, il numero di veicoli elettrici e la produzione di idrogeno verde) è quindi determinata con l'ausilio di modelli dedicati con un orizzonte temporale fino al 2050, in un'ottica di minimizzazione dei costi per il sistema, imponendo un vincolo alle emissioni di CO₂;
- per il resto dei Paesi di interesse, le principali variabili di scenario sono state determinate attraverso analisi statistiche su dati interni e di consenso rispetto a scenari esterni allineati agli obiettivi dell'Accordo di Parigi, messi a disposizione da enti e provider nazionali e internazionali accreditati.

La definizione di scenari di transizione interni è motivata dalla necessità di disporre di maggiore flessibilità modellistica e di maggiore granularità geografica e operativa per le principali variabili che impattano i differenti business di Enel rispetto agli scenari che i principali provider esterni mettono a disposizione. Questi ultimi sono tipicamente delineati e resi pubblici su perimetri globali o regionali, con alcune eccezioni per Paesi di dimensioni particolarmente rilevanti, che solo raramente corrispondono ai Paesi di presenza o di interesse del Gruppo.

Europa, focus Italia e Spagna

Nello scenario Paris, i Paesi europei hanno un trend di decrescita delle emissioni coerente con il pacchetto europeo "Fit for 55", grazie a una maggiore elettrificazione dei consumi finali, supportata da un crescente contributo delle rinnovabili nel mix di generazione elettrica.

Italia

In Italia, lo scenario Paris, più ambizioso rispetto al piano nazionale in vigore (Piano Nazionale Integrato per il Clima e l'Energia, 2020), vede un aumento dell'elettrificazione al 30% al 2030 (rispetto al 22% del 2021, con un livello di generazione rinnovabile tale da soddisfare più del 70% della

domanda elettrica (rispetto a circa il 55% previsto nel piano nazionale).

Lo scenario Slower Transition è costruito ipotizzando di rimanere sostanzialmente ancorati all'attuale Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima in termini di ambizione nella riduzione delle emissioni, uno scenario macroeconomico meno ottimista rispetto allo scenario Paris, soprattutto nei primissimi anni, una maggiore pressione lato prezzi e approvvigionamenti di combustibili fossili e materie prime.

Lo scenario Accelerated Transition mantiene l'ambizione dello scenario Paris per quanto riguarda la decarbonizzazione, ipotizza una più efficace revisione dei processi autorizzativi degli impianti rinnovabili che porta a un leggero aumento del trend di installazioni, una più rapida riduzione dei costi delle tecnologie di produzione dell'idrogeno verde e una conseguente sua maggiore penetrazione nei settori hard-to-abate, a discapito dell'idrogeno blu e grigio (idrogeno prodotto da gas, rispettivamente con e senza l'utilizzo di tecnologie CCS). In aggiunta, una maggiore attenzione da parte delle persone rispetto al cambiamento climatico favorisce comportamenti di maggiore "consapevolezza climatica" come lo shift modale nel settore dei trasporti (maggiore utilizzo di trasporto a basse emissioni – per esempio, il trasporto pubblico).

Spagna

Per la Spagna, il livello di ambizione definito nel piano nazionale è in linea con il raggiungimento degli obiettivi dell'Accordo di Parigi; in considerazione di ciò, lo scenario Paris prevede al 2030 un tasso di elettrificazione del 32% (rispetto al 24% al 2021) e uno sviluppo di capacità rinnovabile tale da portare a oltre l'80% la quota della domanda di elettricità soddisfatta con generazione rinnovabile (rispetto al 53% al 2021). Lo scenario alternativo Slower Transition, invece, assume un ritardo nelle politiche implementative per una maggiore penetrazione di rinnovabili e tecnologie elettriche, in particolare per quanto riguarda le auto private. Lo scenario Accelerated Transition mantiene l'ambizione dello scenario Paris, prevedendo una più rapida adozione dei processi autorizzativi per le rinnovabili. In aggiunta, lo scenario presuppone un più alto incentivo all'elettrificazione degli edifici e una piena adozione della strategia nazionale sull'idrogeno verde, che consente di accelerare la costruzione di impianti rinnovabili accoppiati a elettrolizzatori prima del 2030.

America Latina, focus Brasile e Cile

Brasile

Per il Brasile, lo scenario Paris, più ambizioso rispetto al piano nazionale in vigore (*Plano Decenal de Expansão de Energia 2031, 2022*) in termini di riduzione di emissioni, vede un aumento dell'elettrificazione al 25% al 2030 (rispetto al 22% del 2021), con un livello di generazione rin-

novabile tale da soddisfare più dell'88% della domanda elettrica (rispetto a circa l'82% previsto nel piano nazionale). Lo scenario Slower Transition è costruito ipotizzando di seguire il trend crescente di emissioni dell'attuale piano nazionale (*Plano Decenal de Expansão de Energia 2031*), con minore espansione di impianti idroelettrici in favore di nuova capacità termica (gas) e uno scenario macroeconomico meno ottimista rispetto allo scenario Paris, soprattutto nei primissimi anni.

Lo scenario Accelerated Transition accresce l'ambizione dello scenario Paris per quanto riguarda la decarbonizzazione, ipotizzando un'accelerazione nella definizione del framework regolatorio per la costruzione di impianti eolici offshore, con conseguente maggiore sfruttamento del potenziale di questa tecnologia, una penetrazione di generazione solare distribuita più significativa e un maggiore sviluppo delle tecnologie di produzione dell'idrogeno verde.

Cile

Per quanto riguarda il Cile, lo scenario Paris è costruito in coerenza con lo scenario Net-Zero definito nel documento governativo PELP (*Planificación Energética a Largo Plazo*) in

termini di riduzione delle emissioni, e include obiettivi ambiziosi relativi alla produzione ed esportazione di idrogeno verde. Analogamente allo scenario governativo, prevede la chiusura di tutte le centrali elettriche a carbone entro il 2035, un aumento della tassa sulla CO₂, e raggiunge livelli elevati di elettrificazione dei trasporti, tramite il divieto di vendita di veicoli convenzionali entro il 2040 e il vincolo di elettrificazione del 100% della flotta degli autobus urbani a partire dal 2040.

Lo scenario Slower Transition è caratterizzato da una transizione energetica più lenta, incentrata sull'applicazione delle misure e delle politiche attuali, meno ambiziose rispetto a quelle incluse nello scenario Paris.

Lo scenario Accelerated Transition raggiunge emissioni nette zero al 2050 e prevede, rispetto allo scenario Paris, un'accelerazione del processo di elettrificazione di tutti i settori dell'economia, incluso il trasporto, anticipando al 2035 il divieto di vendita di veicoli convenzionali, un obiettivo più ambizioso in termini di esportazione dell'idrogeno verde, il 100% del mix di generazione elettrica soddisfatto da fonti rinnovabili entro il 2050, il phase-out del carbone entro il 2030, e un ulteriore aumento delle tasse sulle emissioni di CO₂.

Lo scenario climatico fisico

All'interno del framework descritto sopra, ogni narrativa di scenario è stata elaborata in modo da perseguire coerenza tra gli scenari di transizione energetica e gli scenari climatici. Negli scenari, il ruolo del cambiamento climatico è sempre più importante e produce effetti non solo in termini di transizione dell'economia verso emissioni Net-Zero, ma anche in termini di impatti fisici, classificabili in:

- **fenomeni acuti**, cioè fenomeni di breve durata ma particolarmente intensi, come le alluvioni, gli uragani ecc. con potenziali impatti sugli asset (per esempio, danni e interruzioni del business);
- **fenomeni cronici** relativi a modifiche strutturali del clima, come il trend di aumento della temperatura, l'innalzamento del livello del mare ecc., che possono determinare, per esempio, una variazione costante della produzione degli impianti e una modifica dei profili di consumo dell'energia elettrica nei settori residenziale e commerciale.

Questi fenomeni sono analizzati nel loro comportamento proiettato al futuro selezionando il migliore dato a disposizione tra dati output di modelli climatologici a diversi livelli di risoluzione e dati storici.

Tra le proiezioni climatiche sviluppate dall'"Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC) su scala globale, il Gruppo ne

ha selezionate tre, coerenti con quelle considerate nell'ultimo rapporto dell'IPCC nell'ambito del sesto ciclo di valutazione (AR6). Tali scenari sono associati a pattern di emissioni legati a un livello del cosiddetto "Representative Concentration Pathway" (RCP), ognuno dei quali è collegato a uno dei cinque scenari socio-economici definiti dalla comunità scientifica come Shared Socioeconomic Pathways (SSP):

- **SSP1-RCP 2.6**: compatibile con un range di riscaldamento globale al disotto dei 2 °C, rispetto ai livelli preindustriali (1850-1900), entro il 2100 (l'IPCC proietta ~+1,8 °C in media rispetto al periodo 1850-1900); nelle analisi che considerano sia variabili fisiche sia variabili di transizione, il Gruppo associa lo scenario SSP1-RCP 2.6 agli scenari Paris e Accelerated Transition;
- **SSP2-RCP 4.5**: compatibile con uno scenario intermedio, in cui si prevede un aumento medio di temperatura di circa 2,7 °C entro il 2100, rispetto al periodo 1850-1900. Lo scenario RCP 4.5 è quello che più rappresenta l'attuale contesto climatico e politico a livello globale e le correlate ipotesi di transizione. Tale scenario proietta un riscaldamento globale coerente con l'intorno delle stime di incremento di temperatura che considerano le policy correnti a livello globale⁽³⁾; nelle analisi che considerano sia variabili fisiche sia variabili di transizione, il Gruppo associa lo scenario SSP2-RCP 4.5 allo scenario Slower Transition;

(3) Climate Action Tracker thermometer, stime di riscaldamento globale al 2100 considerando gli attuali "Policies & action" e "2030 targets only" (aggiornamento novembre 2022).

- **SSP5-RCP 8.5:** compatibile con uno scenario dove non si attuano particolari misure di contrasto al cambiamento climatico. In tale scenario si stima un aumento della temperatura globale di circa +4,4 °C, rispetto ai livelli preindustriali, entro il 2100.

Il Gruppo considera lo scenario RCP 8.5 come un worst case climatico, utilizzato per valutare gli effetti dei fenomeni fisici in un contesto di cambiamento climatico particolarmente forte, ma attualmente ritenuto poco probabile. Lo scenario RCP 2.6 viene utilizzato sia per l'assessment dei fenomeni fisici sia per le analisi che considerano una transizione energetica coerente con gli obiettivi più ambiziosi in termini di mitigazione.

Le analisi effettuate sugli scenari fisici hanno considerato sia i fenomeni cronici sia i fenomeni acuti. Il Gruppo considera, per la descrizione di specifici eventi complessi di interesse, dati e analisi effettuati sia da soggetti privati sia da istituzioni pubbliche e accademiche.

Gli scenari climatici sono globali e, al fine di definirne l'effetto nelle aree di rilevanza per il Gruppo, devono essere analizzati a livello locale. Tra le partnership attive, è in corso una collaborazione con il dipartimento di Scienze della Terra dell'International Centre for Theoretical Physics (ICTP) di Trieste. Nell'ambito di tale collaborazione l'ICTP fornisce le proiezioni delle principali variabili climatiche con una risoluzione che varia da maglie di ~12 km a ~100 km di lato e orizzonte temporale 2020-2050. Le principali variabili in questione sono rappresentate da temperatura, precipitazioni di neve e pioggia e radiazione solare. Rispetto alle analisi condotte in passato, gli studi correnti si basano sull'utilizzo di più modelli climatici regionali: quello elaborato dall'ICTP unito ad altre cinque simulazioni, selezionate come rappresentative dell'ensemble di modelli climatici attualmente presenti in letteratura. L'output dell'ensemble è rappresentativo dei vari modelli climatici, mediati tra loro. Questa tecnica è solitamente utilizzata nella comunità scientifica per ottenere un'analisi più robusta e scevra da eventuali bias e mediata sulle diverse assunzioni che po-

trebbero caratterizzare il singolo modello.

Per alcune variabili climatiche specifiche, come la raffica di vento, il Gruppo si serve anche di altri provider specializzati nel tema.

In questa fase di studio, le proiezioni future sono state analizzate per Italia, Spagna e tutti i Paesi di interesse del Gruppo in Sud America, Centro America e Nord America, ottenendo, anche grazie all'utilizzo dell'ensemble di modelli, una più definita rappresentazione dello scenario fisico. Inoltre, in maniera analoga il Gruppo sta analizzando anche i dati relativi alle proiezioni climatiche per l'Africa, l'Asia meridionale e il Sud-est asiatico, coprendo così tutte le principali geografie di presenza del Gruppo a livello globale.

L'ICTP fornisce anche supporto scientifico nell'interpretazione di qualsiasi altro dato climatico acquisito. Si utilizzano comunque scenari climatici nei Paesi di interesse del Gruppo, in maniera tale da consentire una omogenea valutazione del rischio climatico.

Alcuni di questi fenomeni sottendono elevati livelli di complessità, in quanto non dipendono solo dai trend climatici ma anche dalle specifiche caratteristiche del territorio, e necessitano un'ulteriore attività modellistica per una loro rappresentazione ad alta risoluzione. Per questo motivo, oltre agli scenari climatici forniti dall'ICTP, il Gruppo ricorre anche all'utilizzo di mappe di Natural Hazard, che consentono di ottenere, con un'elevata risoluzione spaziale, i tempi di ritorno di una serie di eventi, quali, per esempio, tempeste, uragani e alluvioni. L'utilizzo di queste mappe, come descritto nella sezione "I rischi e le opportunità legati al cambiamento climatico", è ampiamente consolidato nel Gruppo, che si serve già di questi dati basati sull'orizzonte storico per ottimizzare le strategie assicurative. Inoltre, è in corso il lavoro necessario per poter usufruire di queste informazioni elaborate anche in coerenza con le proiezioni degli scenari climatici.

Integrazione degli scenari climatici nel modello di Open Country Risk

Enel si è dotata di un modello di valutazione quantitativa di **Open Country Risk** capace di monitorare puntualmente la **rischiosità dei Paesi all'interno del proprio perimetro**, includendo quattro componenti di rischio:

- **fattori economici:** misurazione della resilienza economica dei singoli Paesi, definita come equilibrio della loro posizione verso l'esterno, efficacia delle politiche interne, vulnerabilità del sistema bancario e corporativo, appetibilità in termini di crescita economica, e infine una **quantificazione degli eventi climatici estremi come causa di stress a livello ambientale ed economico**;
- **fattori istituzionali e politici:** valutazione sulla robustezza delle istituzioni e del contesto politico;
- **fattori sociali:** approfondita analisi dei fenomeni sociali e dei diritti umani volta a misurare il livello di benessere, inclusione e progresso sociale;
- **fattori energetici:** misurazione dell'efficacia del sistema energetico e del suo posizionamento all'interno del

processo di transizione energetica e della lotta ai cambiamenti climatici, fattori indispensabili per valutare la sostenibilità degli investimenti in un orizzonte di medio-lungo termine.

Questo lavoro ha, dunque, consentito di **integrare nel modello di Open Country Risk anche una dimensione legata al cambiamento climatico**.

Nello specifico, l'introduzione di eventi climatici estremi all'interno dell'Open Country Risk consente di elaborare una valutazione sull'evoluzione di alcuni hazard climatici a livello Paese su scala globale in maniera omogenea. In particolare, è stato adottato un approccio modulare che consentirà in maniera evolutiva di migliorare progressivamente le analisi includendo nuovi fenomeni fisici e affinando metodologie e dati di riferimento.

Attualmente, sono inclusi quattro fenomeni climatici: due legati alle temperature estreme, uno relativo alle piogge intense e uno alla siccità. Si sta inoltre studiando la possibilità di introdurre altri fenomeni come il vento estremo e l'innalzamento del livello del mare. I fenomeni sono descritti con un indice numerico, elaborato sulla base della distribuzione mondiale con una risoluzione di ~100 km x 100 km e sintetizzati in un indice composito.



Italia

Fenomeni acuti: sono stati analizzati diversi fenomeni acuti sul territorio italiano, tra cui il rischio incendio, le piogge estreme e le ondate di calore. Di questi fenomeni, i primi due sono stati descritti usando metriche standard, ampiamente utilizzate in letteratura. Per le ondate di calore è stata inoltre definita, in aggiunta alle metriche standard, una metrica *ad hoc* per Enel Grids, identificata correlando i fenomeni estremi del passato che possono essere po-

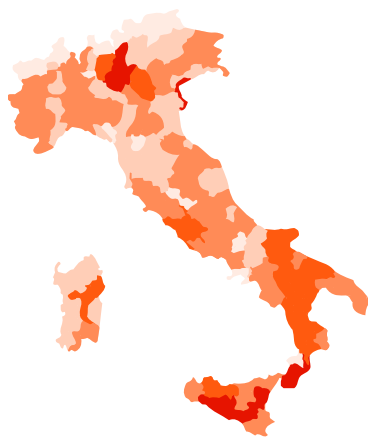
tenzialmente dannosi per le reti interrate⁽⁴⁾. I risultati nello scenario RCP 2.6 sono mostrati in figura. Il numero medio di giorni all'anno caratterizzati da ondate di calore tenderà quindi ad aumentare rispetto allo storico, con maggiore intensità nelle aree che già oggi soffrono maggiormente del fenomeno. La situazione risulta inoltre peggiorativa negli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.



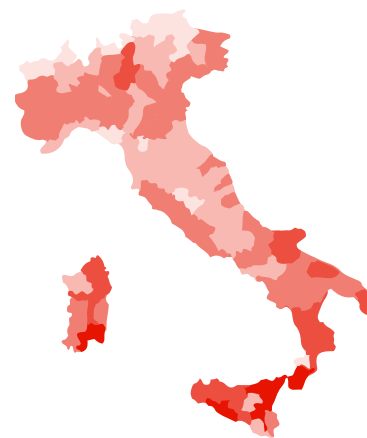
STORICO

RCP 2.6

Giorni all'anno storico



Δ giorni – RCP 2.6 vs storico



Giorni all'anno per provincia caratterizzati da ondate di calore nel periodo storico (1990-2020) e variazione media di giorni nello scenario RCP 2.6 (2030-2050) rispetto allo storico mostrato a sinistra.

Le precipitazioni estreme sono state studiate calcolando la variazione delle piogge giornaliere al di sopra del novantacinquesimo percentile, calcolate come millimetri annuali medi nei periodi di riferimento. In tutti gli scenari analizzati, si osserva nel periodo 2030-2050 un generale aumento delle piogge estreme, accompagnato però da una lieve diminuzione della somma annuale delle precipitazioni giornaliere se si escludono quelle acute. Questo aumento risulta inoltre maggiormente significativo a nord-est della penisola e sulla costa tirrenica.

Come già emerso dalle analisi pubblicate precedentemente dal Gruppo, anche il rischio incendio subirà variazioni importanti, aumentando nei vari scenari climatici considerati. In particolare, il rischio incendio è descritto tramite il

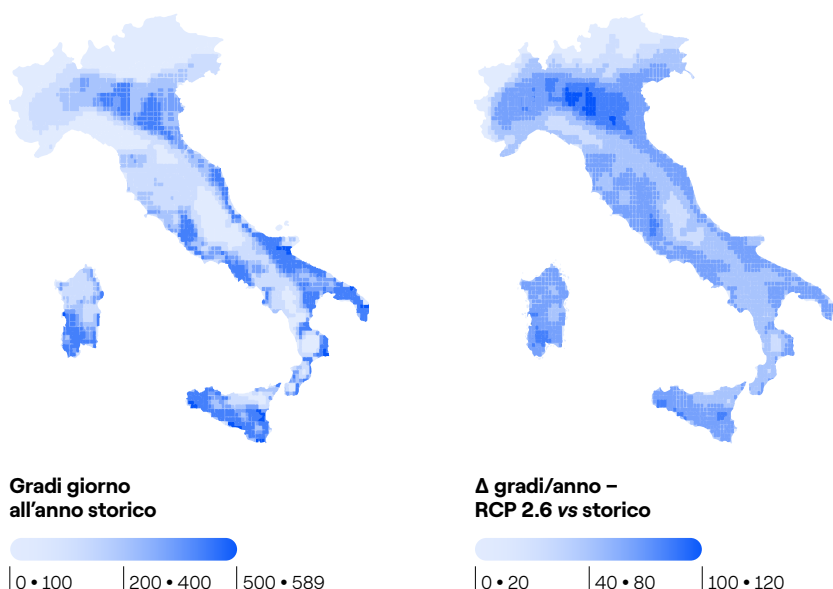
Fire Weather Index (FWI), un indicatore ampiamente utilizzato a livello internazionale, che tiene in conto la temperatura, l'umidità, la pioggia e il vento al fine di stimare un indice di rischio incendio. I dati, forniti dall'ICTP, possono essere utili a caratterizzare l'andamento del rischio incendio per supportare il business nella sua corretta gestione. Gli studi condotti, che esaminano la variazione nelle proiezioni al 2030-2050 rispetto al 1990-2020, evidenziano come in tutti gli scenari si riscontri un aumento del numero di giorni ad alto rischio (valore dell'indice > 45) nella stagione estiva. Questo cambiamento interessa principalmente le isole e le regioni meridionali del Paese, dove l'aumento dei giorni a rischio estremo va da circa +6 a +8 giorni rispetto allo storico.

(4) Sono stati calcolati per provincia il numero di giorni medi all'anno sottoposti alle seguenti condizioni: almeno 5 giorni consecutivi caratterizzati da temperatura minima al di sopra del novantacinquesimo percentile della distribuzione storica (1990-2020) e almeno 18 °C. Questi cinque giorni devono anche essere caratterizzati da assenza di pioggia e almeno uno di questi deve essere caratterizzato da una temperatura massima superiore al novantacinquesimo percentile della distribuzione storica (1990-2020). Questa metrica è stata calcolata su tutto il territorio italiano alla risoluzione originale dei dati climatici (~12 km x 12 km). I dati ad alta risoluzione sono stati quindi aggregati a livello provinciale considerando come un'unica ondata di calore il fenomeno che insiste allo stesso tempo su più pixel all'interno della stessa provincia e prendendo come durata l'ampiezza massima combinando i diversi pixel.

Fenomeni cronici: i cambiamenti cronici di temperatura possono essere analizzati per avere informazioni circa i potenziali effetti sulla richiesta di raffrescamento e riscaldamento dei sistemi energetici locali. Analogamente a quanto fatto nel 2020, per la misurazione del fabbisogno termico sono stati utilizzati gli Heating Degree Days (HDD), ovvero la sommatoria, estesa a tutti i giorni dell'anno con $T_{media} \leq 15 \text{ }^\circ\text{C}$, delle differenze tra la temperatura interna ($T_{interna}$ assunta $18 \text{ }^\circ\text{C}$) e la temperatura media, e i Cooling Degree Days (CDD), ovvero la sommatoria, estesa a tutti i giorni dell'anno con $T_{media} \geq 24 \text{ }^\circ\text{C}$, delle differenze tra la T_{media} e la $T_{interna}$ (assunta $21 \text{ }^\circ\text{C}$), rispettivamente per il fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento. I dati medi per Paese sono stati calcolati come media sulla nazione,

pesando ogni nodo geografico per la popolazione grazie all'utilizzo degli Shared Socioeconomic Pathways associati a ogni scenario RCP. Si mostrano in figura i CDD calcolati sul territorio italiano ad alta risoluzione per lo storico e la variazione media attesa nello scenario RCP 2.6. Si mostra inoltre la distribuzione della popolazione utilizzata come peso per il calcolo a livello nazionale⁽⁵⁾. In generale, si osserva nel periodo 2030–2050 un aumento dei CDD che risultano sempre maggiori rispetto al periodo storico, con un andamento crescente nei diversi scenari RCP 2.6 (+~45%), RCP 4.5 (+~80%) e RCP 8.5 (+~110%). Si osserva invece una riduzione del fabbisogno di riscaldamento, che risulta -8% nello scenario RCP 2.6, -12% nell'RCP 4.5 e -16% nell'RCP 8.5 rispetto al periodo 2000–2020.

Gradi giorno di raffrescamento (CDD)



Gradi giorno di raffrescamento (CDD) nel periodo storico (1990–2020) e variazione attesa nello scenario RCP 2.6. A destra è rappresentata la distribuzione di popolazione (1990–2020) sulla stessa griglia dei modelli climatici, dove sono evidenti le zone maggiormente popolate che pesano maggiormente nel calcolo della metrica a livello Paese.

Per quanto riguarda le piogge totali, sono state analizzate le variazioni di questo fenomeno nei bacini di interesse per la produzione idroelettrica del Gruppo. Da quest'analisi, in cui è stato confrontato il periodo 2030–2050 con il pe-

riodo 1990–2020, non emergerebbero cambi significativi, con una tendenza generale di lieve diminuzione nel Centro e Sud Italia nello scenario RCP 2.6.

Distribuzione di popolazione

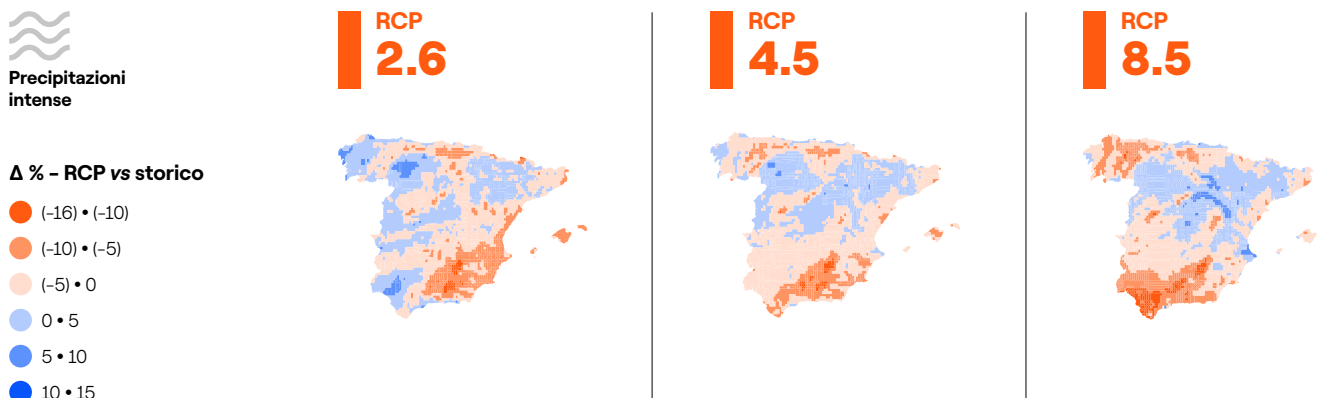


(5) Si noti che nei diversi SSP cambia la densità di popolazione mentre la distribuzione della popolazione sul territorio rimane pressoché invariata.

Spagna

Fenomeni acuti: in Spagna è stato innanzitutto analizzato il fenomeno delle precipitazioni acute, calcolate come millimetri annuali medi nei periodi di riferimento⁽⁶⁾. Come si può vedere nella figura seguente, in cui si confronta il periodo 2030-2050 con il periodo storico 1990-2020, questo evento acuto subirà variazioni nella maggior parte del ter-

ritorio spagnolo già nello scenario RCP 2.6. In particolare, le precipitazioni intense aumenteranno a nord, mentre diminuiranno a sud-est. Negli altri scenari, le precipitazioni intense diminuiranno in tutto il sud del Paese (nell'RCP 8.5 questa riduzione interessa anche il nord-ovest).



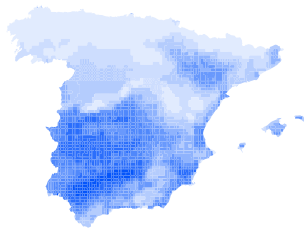
Variazione percentuale della precipitazione acuta nei diversi RCP (2030-2050) rispetto al valore storico (1990-2020).

Per quanto riguarda il rischio incendio, la zona della Spagna che vedrà il maggior aumento, rispetto al periodo storico, del numero di giorni all'anno con Fire Weather Index > 45 (cioè a rischio estremo) è il Centro-Sud in tutti gli scenari futuri. Questo incremento risulta più intenso negli scenari peggiorativi (RCP 8.5) rispetto allo scenario RCP 2.6. Le ondate di calore, come già evidenziato dalle analisi pubblicate precedentemente dal Gruppo, saranno più diffuse geograficamente e più frequenti nel periodo 2030-2050, in particolar modo nella parte meridionale del Paese.

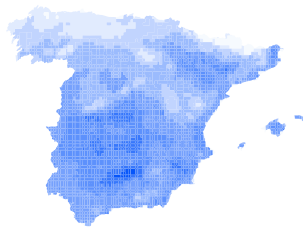
Fenomeni cronici: l'analisi sulla potenziale richiesta di raffrescamento e riscaldamento è stata affinata e aggiornata in maniera analoga a quanto fatto per l'Italia. In termini di Heating Degree Days e di Cooling Degree Days, nel periodo 2030-2050, rispetto al periodo 1990-2020, si stima una riduzione degli HDD in tutti gli scenari, da circa -10% nell'RCP 2.6 a -20% nell'RCP 8.5, e l'RCP4.5 che si posiziona nel mezzo. I dati confermano anche l'aumento dei CDD (+34%) nello scenario RCP 2.6 e una loro variazione rispettivamente pari a +61% e +87% negli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

(6) Le precipitazioni estreme sono la somma delle piogge giornaliere al di sopra del novantacinquesimo percentile della distribuzione storica in un dato periodo.

Gradi giorno di raffrescamento (CDD)



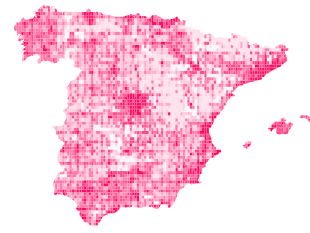
Gradi giorno all'anno storico



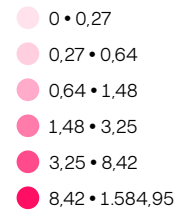
Δ gradi/anno – RCP 2.6 vs storico



Distribuzione di popolazione



Popolazione (migliaia di persone)



Gradi giorno di raffrescamento (CDD) nel periodo storico (1990-2020) e variazione attesa nello scenario RCP 2.6. A destra è rappresentata la distribuzione di popolazione (1990-2020) sulla stessa griglia dei modelli climatici, dove sono evidenti le zone maggiormente popolate che pesano maggiormente nel calcolo della metrica a livello Paese.

Per quanto riguarda le piogge totali, sono state analizzate le variazioni di questo fenomeno nei bacini di interesse per la produzione idroelettrica del Gruppo. Da quest'analisi, i

dati non evidenziano variazioni sensibili confrontando lo scenario RCP 2.6 (2030-2050) e lo storico (1990-2020), con una tendenza generale di lieve diminuzione.

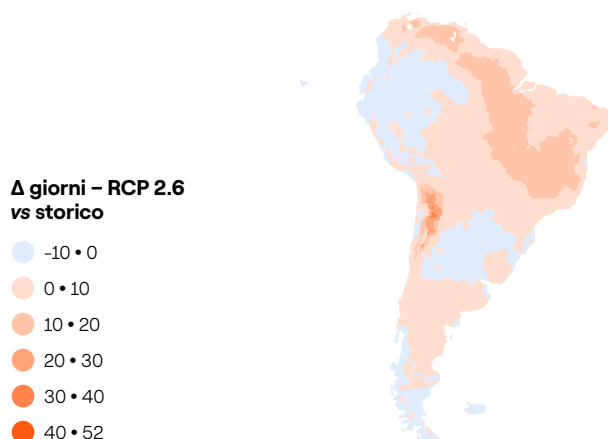
America Latina

Fenomeni acuti: il rischio incendio, misurato come numero di giorni all'anno con FWI > 45 (rischio estremo), varia da zona a zona. Come evidenziato nella figura seguente a sinistra, da un confronto tra scenario RCP 2.6 (2030-2050) e periodo storico (1990-2020), il numero di giorni a rischio alto di incendi aumenta nella maggior parte del Brasile e nel deserto di Atacama. Nelle zone restanti del Sud America rimane invariato o diminuisce leggermente. È interessante evidenziare come il rischio incendio aumenti soprattutto in zone con i valori attuali di Normalized Difference

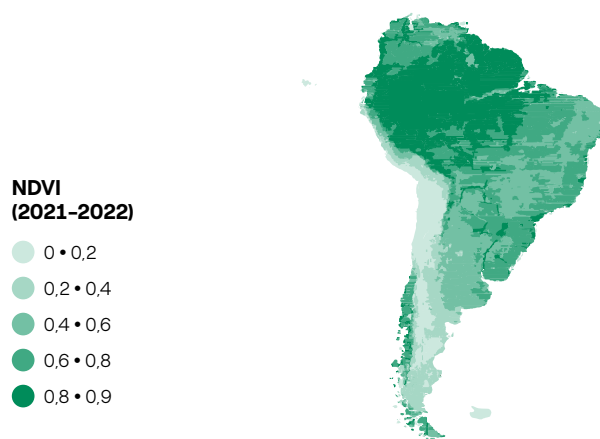
Vegetation Index (NDVI) più bassi (da come si evince dalla figura seguente a destra⁽⁷⁾), cioè in aree con poca vegetazione. L'eccezione è data da alcune zone dell'Amazzonia, al centro del Brasile, dove si hanno sia un incremento importante di numero di giorni a rischio incendio estremo sia elevata copertura vegetale. Combinare indice di rischio incendio e vegetazione è importante in quanto quest'ultima può servire da combustibile e aumentare la probabilità di propagazione di un eventuale incendio.

(7) La cartina a destra rappresenta un'elaborazione dei dati NASA riguardanti il Normalized Difference Vegetation Index del periodo giugno 2021-giugno 2022. L'NDVI quantifica la vegetazione misurando la differenza tra la luce nel vicino infrarosso (che la vegetazione riflette fortemente) e la luce rossa (che la vegetazione assorbe). Questo è un buon indicatore di crescita e densità di vegetazione. Più l'NDVI aumenta, più la vegetazione è abbondante e sana.

Fire Weather Index RCP 2.6



Normalized Difference Vegetation Index



Variazione nel numero di giorni medi all'anno con FWI > 45 tra RCP 2.6 (2030-2050) e storico (1990-2020) (sinistra) e indice di vegetazione NDVI del periodo giugno 2021-giugno 2022 (destra).

Per valutare il fenomeno delle temperature estreme si può utilizzare l'indicatore standard "Warm Spell Duration Index" (WSDI)⁽⁸⁾. Confrontando il periodo 2030-2050 con il periodo 1990-2020, i dati mostrano un incremento significativo dei giorni caratterizzati da ondate di calore già nello scenario RCP 2.6, specialmente in alcune aree del Brasile, in Colombia, in Perù e nel Cile settentrionale. Questo aumento delle temperature estreme sarà ancora più accentuato in scenari peggiorativi (RCP 8.5).

Per quanto riguarda le precipitazioni estreme, sono state considerate le piogge giornaliere superiori al novantesimo percentile, analogamente a quanto fatto per Italia e Spagna. Le variazioni future per questo fenomeno acuto sono meno omogenee. Nello scenario RCP 2.6 in alcune aree, come, per esempio, a nord del Brasile e nell'Argentina settentrionale, sono proiettate riduzioni rispetto al periodo storico di riferimento. In altre zone, invece, come nella parte ovest della Colombia e in alcune aree di Brasile e Perù, sono attesi incrementi delle piogge intense.

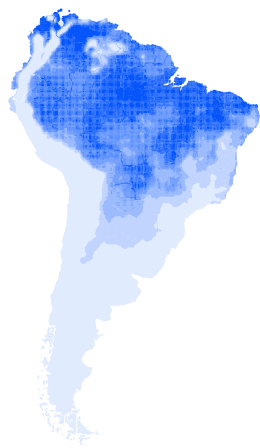
Fenomeni cronici: è stato effettuato lo studio delle potenziali variazioni nella richiesta di riscaldamento e raffresca-

mento legate ai cambiamenti cronici delle temperature. Anche in questo caso sono state calcolate le variazioni di Heating Degree Days e di Cooling Degree Days, nel periodo 2030-2050, rispetto al periodo 1990-2020, a partire dai dati di 6 modelli, con una risoluzione di 25 km x 25 km. I dati medi per Paese sono stati calcolati come media sulla nazione, pesando ogni nodo geografico per la popolazione grazie all'utilizzo degli Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) associati a ogni scenario RCP. In ogni Paese studiato, i CDD aumentano progressivamente in tutti gli scenari: nello scenario RCP 2.6 aumentano del 35%⁽⁹⁾ in Cile, mentre l'incremento è tra il 13% e il 18% negli altri Paesi considerati. Nello scenario RCP 4.5 tale aumento diventa del 113% in Cile e poco superiore al 25% per Argentina, Brasile e Perù, mentre si attesta al 18% per la Colombia. L'incremento dei CDD rispetto al periodo storico è ancora più marcato nello scenario RCP 8.5. Per quanto riguarda gli HDD, nello scenario RCP 2.6 si stima una riduzione considerevole in Colombia (-52%), Brasile (-21%) e Perù (-14%) e una lieve diminuzione in Cile (-5%). Tale trend si intensifica nello scenario RCP 4.5: ~-62% in Colombia, ~-27% in Brasile, ~-20% in Perù e -8% in Cile.

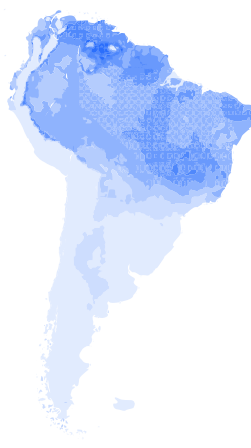
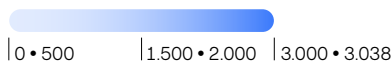
(8) Il WSDI considera ondate di calore caratterizzate da almeno 6 giorni consecutivi con una temperatura giornaliera massima superiore al novantesimo percentile della distribuzione storica.

(9) In Cile l'incremento percentuale risulta più marcato che negli altri Paesi del LATAM perché i valori assoluti dei CDD sono molto bassi. Nello storico, infatti, i CDD risultano molto vicini allo zero in quasi tutto il Paese, con valori di qualche grado centigrado all'anno solo nella zona centrale.

Gradi giorno di raffrescamento (CDD)



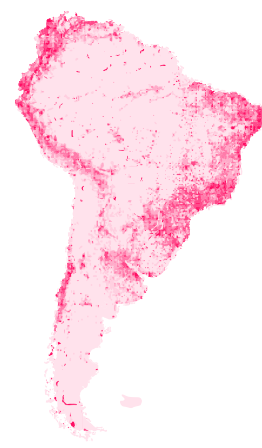
Gradi giorno all'anno storico



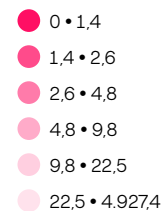
Δ gradi/anno – RCP 2.6 vs storico



Distribuzione di popolazione



Popolazione (migliaia di persone)



Gradi giorno di raffrescamento (CDD) nel periodo storico (1990–2020) e variazione attesa nello scenario RCP 2.6. A destra è rappresentata la distribuzione di popolazione (1990–2020) sulla stessa griglia dei modelli climatici, dove sono evidenti le zone più popolate che pesano maggiormente nel calcolo della metrica a livello Paese.

Per quanto riguarda le piogge totali, sono state analizzate le variazioni nei bacini di interesse per la produzione idroelettrica del Gruppo. Le analisi, che confrontano le proiezioni 2030–2050 nei tre scenari rispetto al periodo storico 1990–2009, mostrano un trend di riduzione delle piogge in Argentina e Colombia. In Brasile si proietta per l'RCP 2.6 un leggero aumento o una lieve diminuzione delle precipita-

zioni totali a seconda del gruppo di bacini in considerazione. In Perù, invece, le piogge rimarranno sostanzialmente invariate nell'RCP 2.6. Infine, anche in Cile, come per Argentina e Colombia, le proiezioni indicano una riduzione delle precipitazioni totali nello scenario a più basse emissioni, ma che potrebbe già essersi manifestata negli ultimi anni (diminuzione già effettiva rispetto ai livelli storici).

Nord e Centro America

Fenomeni acuti: per il Nord America e il Centro America è stata innanzitutto analizzata la variazione dei frost days, cioè del numero medio di giorni di gelo all'anno⁽¹⁰⁾, nei vari scenari futuri (2030–2050) rispetto allo storico (1990–2020). Da come si può osservare dalle cartine nella figura seguente, i frost days diminuiranno soprattutto nella parte

a ovest della macroregione, con variazioni maggiori in termini di magnitudine in scenari RCP peggiorativi. Va sottolineato come la diminuzione di frequenza non esclude un aumento di intensità di questo fenomeno acuto, che è un tema che al momento il Gruppo sta approfondendo.

(10) Per la precisione, i frost days sono il numero di giorni all'anno in cui la temperatura minima T_{min} è < 0 °C.

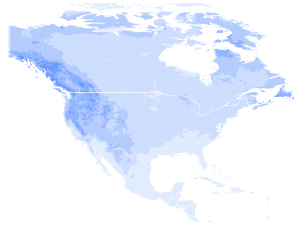


Freddo estremo

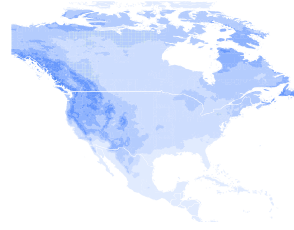
Δ giorni/anno - RCP vs storico

- -17 • -14
- -14 • -12
- -12 • -10
- -10 • -8
- -8 • -6
- -6 • -4
- -4 • -2
- -2 • 1

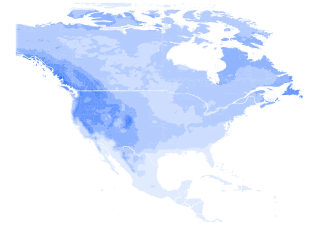
RCP 2.6



RCP 4.5



RCP 8.5



Variazione del numero medio di frost days all'anno tra i vari RCP (2030-2050) e lo storico di modello (1990-2020).

Per quanto riguarda le ondate di calore, come per il Sud America, si è studiato il WSDI. Confrontando il periodo 2030-2050 con lo storico 1990-2020, un aumento significativo dei giorni caratterizzati da ondate di calore **è atteso** già nello scenario RCP 2.6, specialmente in Centro America e lungo la costa occidentale del Nord America. Questo aumento del WSDI sarà ancora più accentuato nell'RCP 8.5. Il numero di giorni annuali con rischio incendio elevato, cioè con FWI > 45, rimane sostanzialmente invariato nella maggior parte della macroregione nello scenario RCP 2.6 (2030-2050) rispetto allo storico (1990-2020). Nelle aree occidentali degli Stati Uniti e del Messico sono invece attesi aumenti del numero di giorni a rischio alto, che incrementano più lo scenario è peggiorativo.

Infine, le precipitazioni acute attese aumenteranno in quasi tutto il Nord America nello scenario RCP 2.6 rispetto allo storico. Va sottolineato che la magnitudine di questi aumenti varia da area ad area. In Centro America, invece, sempre nell'RCP 2.6 le precipitazioni intense diminuiranno nella parte centrale della regione. Nelle altre zone rimarranno invariate o aumenteranno leggermente.

Fenomeni cronici: come si evince dalla figura sottostante, la temperatura media annuale aumenta in tutti gli scenari futuri (2030-2050) rispetto allo storico (1990-2020). In generale, gli aumenti sono maggiori nell'RCP 8.5 rispetto all'RCP 2.6. Le zone che diventeranno più calde sono quelle dell'estremo nord in tutti gli RCP.

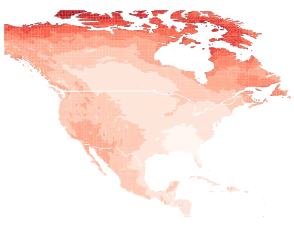


Temperatura media

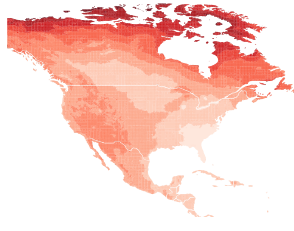
Δ °C - RCP vs storico

- 0,67 • 1
- 1 • 1,5
- 1,5 • 2
- 2 • 2,5
- 2,5 • 2,65

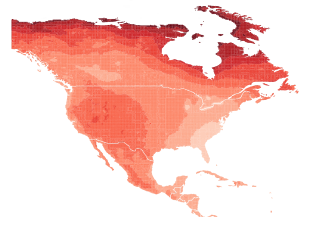
RCP 2.6



RCP 4.5



RCP 8.5



Variazione della temperatura media tra i vari RCP (2030-2050) e lo storico di modello (1990-2020).

Confrontando i vari RCP (2030-2050) e lo storico di modello (1990-2020), le piogge totali annuali attese tendono a diminuire in Centro America, mentre a seconda dell'area in Nord America rimarranno invariate o aumenteranno.

Per maggiori informazioni si rimanda alla Relazione Finanziaria Annuale Consolidata 2022.