



enel

ADATTAMENTO

CLIMATICO

e **RESILIENZA**

L'approccio strategico del Gruppo Enel
alla gestione degli effetti
del cambiamento climatico



<<Eventi estremi come incendi, alluvioni e tempeste, sono sempre più frequenti e intensi, con impatti che mettono alla prova la resilienza delle comunità e la stabilità dei sistemi socio-economici. Non si tratta di un tema confinato alla responsabilità di singoli attori, come Governi, scienziati o aziende: è una sfida collettiva.

Il nostro obiettivo è contribuire in modo concreto alla costruzione di sistemi energetici sostenibili e resilienti, anche attraverso un mix di generazione elettrica ben bilanciato.>>

Flavio Cattaneo

CEO Enel Group

Introduzione

Il cambiamento climatico è già una realtà che produce effetti tangibili su persone, economie e infrastrutture. Eventi estremi - come incendi, alluvioni e tempeste - sono sempre più frequenti e intensi, con impatti che mettono alla prova la resilienza delle comunità e la stabilità dei sistemi socio-economici.

Non si tratta di un tema confinato alla responsabilità di singoli attori, come Governi, scienziati o aziende: è una sfida collettiva che richiede collaborazione, innovazione e responsabilità condivisa. Anche quando alcuni impatti straordinari non possono essere completamente evitati, preparazione, pianificazione e collaborazione sono fondamentali per affrontarli al meglio.

Accanto alla mitigazione - volta a ridurre le emissioni di gas serra e limitare l'aumento della temperatura - l'adattamento riveste un ruolo centrale. Mitigazione e adattamento non sono infatti alternative, ma due facce della stessa medaglia: senza mitigazione gli impatti futuri diventerebbero ingestibili, senza adattamento non potremmo convivere con

quelli già presenti e che dovremo in ogni caso affrontare. Per un operatore globale come Enel, con oltre 60.000 dipendenti, circa 68 GW di capacità rinnovabile gestita e 69,1 milioni di utenti serviti, costruire resilienza per l'adattamento climatico non è un'opzione ma una priorità strategica.

Il nostro obiettivo è contribuire in modo concreto alla costruzione di sistemi energetici sostenibili e resilienti, anche attraverso un mix di generazione elettrica ben bilanciato, insieme ai nostri stakeholder e alle comunità dove operiamo. Oltre ad essere un'azienda leader della transizione energetica, abbiamo anni di esperienza nell'adattamento e nella gestione dei fenomeni climatici, grazie a un patrimonio di dati sempre più ampio, strumenti innovativi e competenze specifiche.

Questo documento è un contributo al dialogo e alla collaborazione tra istituzioni, comunità scientifica e settore privato, per promuovere e realizzare soluzioni concrete, scalabili e sostenibili.

INTRODUZIONE	2	
1	IL FUTURO SI COSTRUISCE OGGI	4
	Il futuro del clima è già iniziato	6
	Il cambiamento climatico ha una velocità senza precedenti	7
	L'adattamento è un investimento, non un costo	7
2	LA STRATEGIA DI ADATTAMENTO DEL GRUPPO ENEL	8
	La valutazione del rischio climatico	9
	Come Enel declina la strategia di adattamento	9
	Reti di distribuzione	13
	Impianti di generazione elettrica	19
	Flessibilità e demand response	25
3	FATTORI CHIAVE PER L'ADATTAMENTO	27
	Governance multilivello e alleanze strategiche	28
	Public Policy e regolazione	29
	Finanza per l'adattamento	31
BIBLIOGRAFIA	32	



**IL FUTURO
SI COSTRUISCE
OGGI**

"L'adattamento non è più una scelta, né è in competizione con la mitigazione. È il veicolo di cura e rinnovamento verso una trasformazione collettiva."

Corrêa do Lago, Presidente COP30

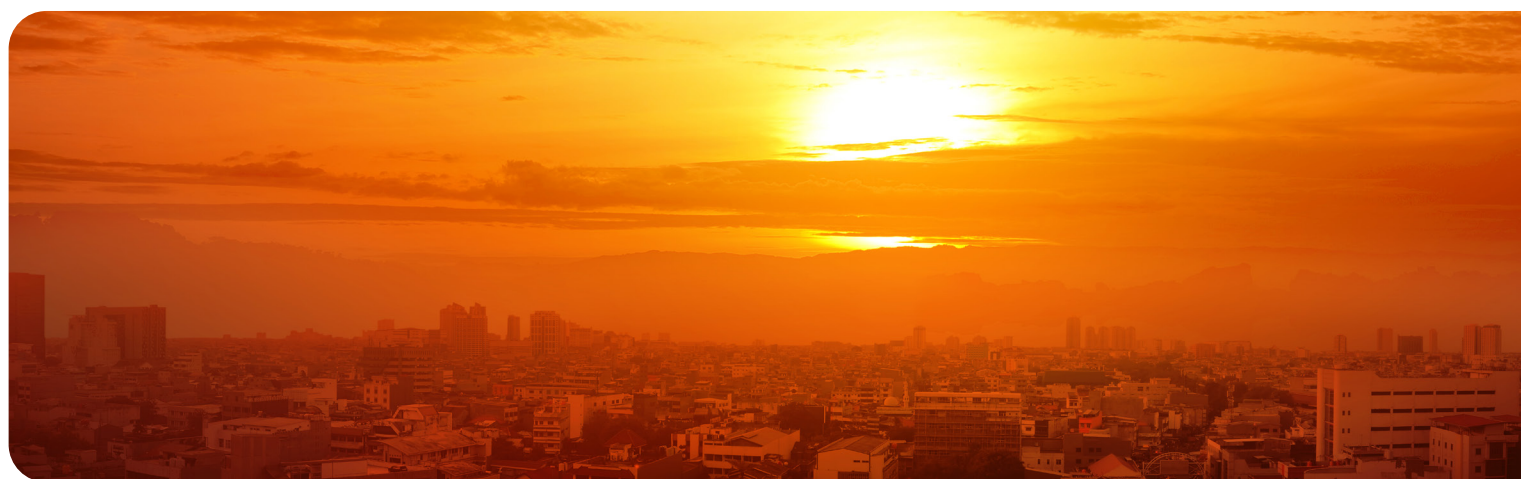
Il cambiamento climatico è una sfida globale nella quale mitigazione e adattamento rappresentano due dimensioni complementari.

La mitigazione ha l'obiettivo di ridurre o eliminare le emissioni di gas serra per minimizzare i cambiamenti climatici; l'adattamento riguarda il processo di rafforzamento della capacità di territori, comunità e sistemi socio-economici di fronteggiarli. In sintesi, l'obiettivo della mitigazione è evitare che si verifichino cambiamenti climatici ingestibili, quello dell'adattamento è gestire i cambiamenti climatici inevitabili.

Negli ultimi anni le evidenze e gli impatti crescenti hanno aumentato l'attenzione globale sulle necessità di adattamento, non più come risposta emergenziale, ma come soluzione strutturale per proteggere valore, rafforzare la resilienza e sostenere una transizione sostenibile. Nel 2015, l'Accordo di Parigi ha fissato l'impegno globale a contenere l'aumento della temperatura media ben al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali, e a intensificare gli sforzi per limitarlo a 1,5°C. Tuttavia, anche in un mondo in cui l'incremento di temperatura nel corso

del secolo sia inferiore a 1,5°C gli impatti saranno rilevanti, con incremento degli eventi estremi e degli effetti sugli ecosistemi: una transizione energetica lenta e inefficace implicherebbe uno sforzo di adattamento ancor più rilevante. Ad oggi, gli scenari energetici che considerano le policy correnti proiettano emissioni coerenti con un riscaldamento globale ben al di sopra dei 2°C¹. Al ritmo attuale delle emissioni di gas climalteranti (*Greenhouse gases*, GHG), in meno di 4 anni esauriremo il carbon budget, ovvero la quantità massima di GHG che può essere emessa per avere ancora il 50% di probabilità di mantenere il riscaldamento globale entro 1,5°C².

Le infrastrutture energetiche sono il veicolo di servizi fondamentali per la vita economica e sociale, e per questo centrali per l'adattamento climatico. I diffusi blackout elettrici degli ultimi mesi – causati o meno dal cambiamento climatico – hanno evidenziato quanto la resilienza delle infrastrutture energetiche sia cruciale, sia per l'erogazione di servizi essenziali per milioni di persone sia come piattaforma abilitante della transizione energetica.



1. IPCC Sixth Assessment Report (AR6) "Climate Change 2023", sezione 2.1.1; Coerente con un incremento della temperatura globale di ca 2,7°C al 2100 rispetto ai livelli pre-industriali. Basati su scenari climatici SSP2-RCP 4.5 [IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, SSP: Shared Socioeconomic Pathway, RCP: Representative Concentration Pathway]
2. Potsdam Institute for Climate Impact Research – Carbon clock



<<I cambiamenti del sistema climatico in atto continueranno nelle prossime decadi, anche in forma più pronunciata. Questo richiederà lo sviluppo di politiche di adattamento per gestire gli effetti di questi cambiamenti>>

Filippo Giorgi

Climatologo, Emerito presso il Centro Internazionale di Fisica Teorica "Abdus Salam" (ICTP)

Il ruolo cruciale della comunità scientifica

"È ormai un fatto inequivocabile che il riscaldamento globale sia in atto e che sia dovuto per la maggior parte alle emissioni di gas serra da attività umane, in primis anidride carbonica emessa dall'uso di combustibili fossili.

Gli effetti del riscaldamento globale sul sistema climatico terrestre sono ormai evidenti e colpiscono diversi settori della società sempre più duramente. Ondate di calore sempre più intense e frequenti, aumento di eventi meteorologici estremi sia di carattere alluvionale che siccitoso, fusione dei ghiacci continentali e marini, innalzamento del livello del mare sono solo alcuni di questi effetti. Uno degli aspetti che più preoccupano è la velocità con cui questi cambiamenti del sistema climatico stanno avvenendo, che è senza precedenti almeno negli ultimi 12000 anni. Anzi, i dati mostrano che essi sono in fase di accelerazione, come lo è l'andamento delle concentrazioni atmosferiche di gas serra.

Anche se le necessarie politiche di riduzione delle emissioni possono contenere il riscaldamento globale al di sotto di soglie di pericolo per lo sviluppo sostenibile della società, i cambiamenti del sistema climatico in atto continueranno nelle prossime decadi, anche in forma più pronunciata. Questo richiederà lo sviluppo di politiche di adattamento per gestire gli effetti di questi cambiamenti.

L'adattamento ha un carattere regionale e locale perché gli impatti del riscaldamento globale variano da area ad area. Ne consegue che la pianificazione e implementazione di piani di adattamento richiede informazione molto accurata sia climatica che su diversi tipi di impatti.

Il contributo della comunità scientifica è inoltre fondamentale nel trasformare i dati in informazioni strutturate e nel guidarne l'interpretazione in modo da rendere possibili analisi applicate sempre più efficaci e utili alla pianificazione delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici."

IL FUTURO DEL CLIMA È GIÀ INIZIATO

Il 2024 ha segnato un record di riscaldamento globale: per la prima volta le temperature medie globali hanno superato la soglia di 1,5°C, un livello di riscaldamento confermato anche nel 2025, 1,44°C secondo il WMO, che porta la media del triennio 2023-2025 a ~1.48°C. Fenomeni estremi come alluvioni e tempeste hanno iniziato a manifestarsi con sempre maggiore intensità e frequenza, mentre i costi economici e sociali legati a questi eventi continuano a crescere. Gli studi di *weather attribution* mostrano infatti che circa l'80% degli eventi meteo catastrofici è già

influenzato dal *climate change*³.

Le conseguenze economiche sono evidenti: nel 2024 le perdite globali dovute a disastri naturali hanno raggiunto i **320 miliardi di dollari**, ben al di sopra della media trentennale di **236 miliardi**⁴. In Europa, secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA), negli ultimi dieci anni i danni economici annuali provocati da eventi meteorologici sono stati **il doppio** rispetto alla media dei due decenni precedenti⁵.

3. Carbon Brief, Mapped: How climate change affects extreme weather around the world, 2024

4. Munich Re Natural disasters worldwide: Losses are on the rise as climate change strikes

5. European Environment Agency

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO HA UNA VELOCITÀ SENZA PRECEDENTI

L'elemento più rilevante del cambiamento climatico è la velocità con cui si sta verificando, ci muoviamo in un mondo che evolve più velocemente dei tradizionali approcci alla valutazione del rischio. Il cambiamento climatico attuale è più di 100 volte più rapido rispetto ai cicli naturali del passato: dopo l'ultima era glaciale la Terra si riscaldò di circa 0,001°C per decennio⁶. Dal 1850 il pianeta si riscalda di circa 0,06°C, con un aumento medio molto superiore registrato dal 1982, pari a 0,20-0,26°C⁷ per

decennio.

Questa rapidità amplifica l'incertezza e riduce drammaticamente l'efficacia dei modelli predittivi basati su dati storici. La velocità del cambiamento impone una trasformazione: passare da una gestione dei rischi basata su serie storiche ad approcci basati su scenari, proiezioni climatiche, dati e aggiornamenti continui. L'adattamento richiede la comprensione delle tendenze, la gestione della complessità e dell'incertezza.

"La velocità del cambiamento dalla metà del XX secolo è senza precedenti da millenni."

NASA, IPCC Sixth Assessment Report

L'ADATTAMENTO È UN INVESTIMENTO, NON UN COSTO

La sfida dell'adattamento consente di trasformare infrastrutture, sistemi e modelli di business rendendoli resilienti e profittevoli anche nella nuova normalità. La resilienza di sistemi e infrastrutture è fondamentale in qualsiasi ambito economico e sociale, sia per le economie emergenti, spesso più vulnerabili ed esposte, sia per quelle avanzate, che necessitano interventi su infrastrutture complesse e digitalizzate.

Evolgere verso l'adattamento crea valore nel lungo termine.

Gli investimenti in adattamento producono benefici su vari livelli: in primo luogo riducono gli impatti diretti degli eventi distruttivi, inoltre creano benefici economici indotti migliorando la capacità di creare valore, come nel caso delle attività economiche legate alle risorse naturali; infine, producono vantaggi sociali e ambientali, in termini di tutela della salute e degli ecosistemi.

Molti studi mirano a identificare il valore dell'adattamento riconoscendolo come un

investimento utile e profittevole a livello sistemico.

Uno studio BCG-University of Cambridge⁸ stima che il costo dell'inazione comporterebbe una perdita di PIL globale tra l'11% e il 27%, e potrebbe arrivare fino al 34% se la temperatura globale arrivasse ai 3°C entro il 2100. JP Morgan⁹ quantifica il ritorno sistemico degli investimenti in adattamento in un range compreso tra i 2\$ e i 43\$ per ogni dollaro speso. L'OECD¹⁰ stima il ritorno di interventi in adattamento tra 2-10\$ per ogni dollaro investito¹¹.

L'aumento dei costi associati agli eventi estremi sta esercitando pressione sui mercati assicurativi.

Ciò ha comportato aumenti significativi dei premi e limitazione delle garanzie prestate dagli assicuratori soprattutto a partire dal 2021. Pertanto, l'adattamento deve prevedere anche l'evoluzione degli strumenti di copertura finanziaria del rischio e una loro maggiore diffusione, al fine di garantire in futuro livelli adeguati di copertura a costi ragionevoli.

6. NASA Earth Observatory (<https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page3.php>)

7. NOAA 2023, Earth System Science Data 2024; NOAA 2025, What's the hottest Earth's ever been? (<https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/whats-hottest-earths-ever-been#:~:text=Since%201800%2C%2>)

8. BCG, University of Cambridge - Landing the Economic Case for Climate Action with Decision Makers, Mar 2025

9. JP Morgan - Building Resilience Through Climate Adaptation, 2025

10. Organization for Economic Co-operation and Development

11. Global Commission on Adaptation - Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience, 2019



2

**LA STRATEGIA DI
ADATTAMENTO
DEL GRUPPO
ENEL**

Negli anni, Enel ha affrontato un numero crescente di eventi climatici estremi che hanno avuto impatti significativi sugli asset aziendali e sul servizio ai clienti. Le emergenze legate a ondate di calore, tempeste di vento e piogge intense hanno provocato interruzioni di servizio in varie geografie, come in Italia, Cile e Brasile.

Gli impatti del cambiamento climatico rendono necessario

lo sviluppo di strategie e azioni in grado di assorbire gli shock e di operare in sicurezza anche quando le condizioni esterne cambiano. Obiettivo dell'adattamento climatico è rafforzare la resistenza degli asset riducendo i rischi e garantendo la redditività a lungo termine in un contesto climatico in evoluzione.

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO CLIMATICO

Il rischio climatico viene valutato combinando tre fattori:

- l'**hazard**, che descrive come ciascun fenomeno climatico evolverà in termini di intensità e frequenza in una determinata area;
- la **vulnerabilità** degli asset rispetto ai fenomeni climatici, che quantifica quanto l'asset è suscettibile di subire danni in caso di eventi climatici;

- l'**esposizione**, che esprime il valore degli asset nelle località soggette agli hazard.

Il rischio aumenta quando uno tra *hazard*, vulnerabilità ed esposizione cresce: anche un *hazard* moderato può causare danni se vulnerabilità ed esposizione sono elevate.

HAZARD	*	VULNERABILITÀ	*	ESPOSIZIONE
Valutare intensità e frequenza dei fenomeni climatici		Aumentare la capacità degli asset di operare in condizioni avverse (resilienza) e migliorare la capacità di gestire le emergenze e ripristinare l'operatività (Response)		Definire il valore tecnico ed economico degli asset/servizi coinvolti

COME ENEL DECLINA LA STRATEGIA DI ADATTAMENTO

La definizione dei piani di adattamento di Enel si basa sulla valutazione degli impatti del cambiamento climatico in coerenza con il framework descritto: valutazione degli hazard climatici, analisi di vulnerabilità e impatti al fine di incrementare la resilienza degli asset e la capacità di risposta ad eventi avversi, con conseguente riduzione della potenziale esposizione del Gruppo e dei territori in cui questo opera.

In Enel, gli scenari climatici vengono sviluppati secondo un processo definito, applicato per ogni business e geografia

di presenza, per produrre informazioni quantitative utili a supportare concretamente le decisioni:

- Identificazione dei fenomeni più importanti (es. alluvioni, ondate di calore, ...);
- Sviluppo degli scenari e definizione delle priorità, attingendo alle migliori fonti climatiche (istituti di ricerca, aziende private e dataset pubblici);
- Definizione di indicatori ad hoc per tracciare gli eventi rilevanti considerando le specificità del business (es. effetto delle ondate di calore sulle reti interrate).

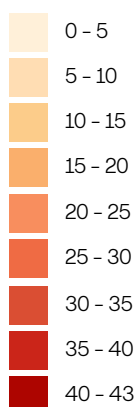
Le analisi si basano sui modelli globali dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): per studiare il comportamento delle principali variabili fisiche (temperatura, precipitazione, vento, ecc..) vengono usati più modelli climatici - cosiddetto ensemble di modelli - applicati a livello di singolo asset grazie a tecniche e algoritmi (downscaling e bias correction) messi a punto in collaborazione con partner scientifici come *The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)* ed

altri esperti di settore.

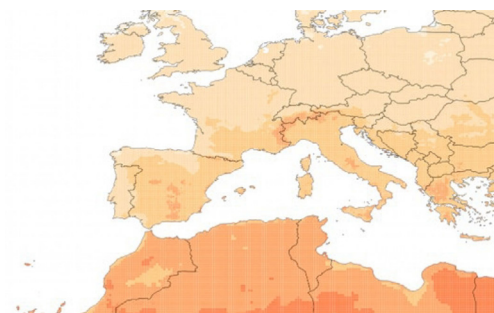
Il comportamento di ciascuna variabile viene poi analizzato su diversi scenari di evoluzione del clima. Le mappe seguenti mostrano, a titolo esemplificativo, l'aumento del numero di giorni all'anno caratterizzati da ondate di calore¹² negli scenari RCP 2.6 - compatibile con un riscaldamento globale inferiore a 2°C entro il 2100 - e RCP 8.5 - corrispondente a un riscaldamento superiore a 4°C - nel bacino del Mediterraneo e nelle Americhe.

Δ DAYS

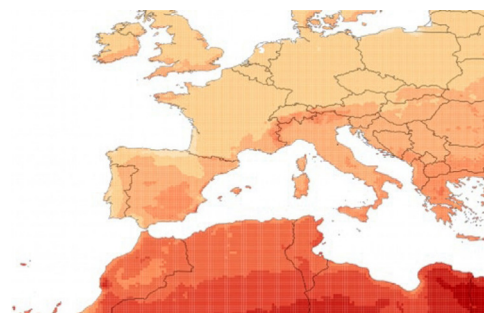
RCP vs historical



RCP 2.6



RCP 8.5

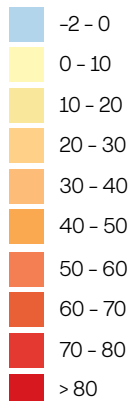


▲ Immagine 2.1

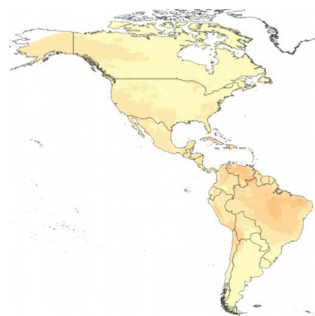
Variazione media di giorni all'anno caratterizzati da ondate di calore (definite secondo il WSDI - Warm Spell Duration Index) negli scenari RCP 2.6 e RCP 8.5 (2030-2050) rispetto allo storico (1990-2020) in Europa centrale e meridionale

Δ DAYS

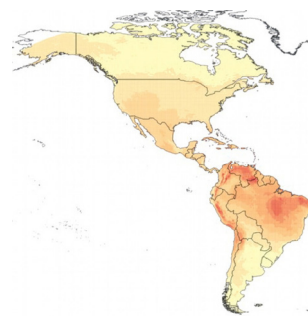
RCP vs historical



RCP 2.6



RCP 8.5



▲ Immagine 2.2

Variazione media di giorni all'anno caratterizzati da ondate di calore (definite secondo il WSDI) negli scenari RCP 2.6 e RCP 8.5 (2030-2050) rispetto allo storico (1990-2020) nelle Americhe.

¹². In particolare, vengono utilizzati l'ISSP1-RCP2.6 (best case; <2°C al 2100), SSP2-RCP4.5 (~2.7 °C al 2100) e SSP5-RCP8.5 (>4 °C al 2100).

LE ANALISI CLIMATICHE AD ALTA RISOLUZIONE

Per valutare gli effetti del cambiamento climatico a livello del singolo asset (ad esempio un singolo impianto eolico), è necessario implementare **analisi climatiche ad alta risoluzione**. Queste analisi sono fondamentali nel supportare decisioni più robuste e mirate per l'adattamento e per ottimizzare gli investimenti in resilienza.

Tra le informazioni prodotte dalla ricerca e le esigenze pratiche di chi gestisce le infrastrutture esiste tuttavia un divario significativo: sono necessari strumenti più accessibili e orientati alle applicazioni, sviluppati anche coinvolgendo aziende e istituzioni che dovranno servirsene.

Per individuare con maggiore precisione le aree e le strutture più esposte ai rischi, è importante disporre di dati e modelli capaci di fornire proiezioni dettagliate su scala puntuale e informazioni chiare su **limiti e livelli di incertezza**.

Migliorare il coordinamento tra enti pubblici, operatori privati e comunità scientifica rappresenta una delle principali sfide per trasformare le analisi in azioni concrete.

Per tradurre le analisi di scenario in piani di adattamento è necessario modellare le vulnerabilità specifiche dei diversi asset del Gruppo. Questo permette di individuare le soluzioni di adattamento più efficaci. Tali soluzioni mirano sia a rafforzare la Resilienza, intesa come capacità di operare in condizioni sempre più sfidanti, sia a potenziare la risposta agli impatti degli eventi avversi (**Response**).

In particolare, si seguono i seguenti passaggi:

- ▶ **Hazard:** vengono definiti indicatori specifici che descrivono i fenomeni climatici rilevanti per ogni tipologia di asset e sviluppate proiezioni per valutarne l'evoluzione futura secondo diversi scenari;
- ▶ **Vulnerabilità:** si sviluppano metodologie per quantificare la vulnerabilità di ciascun tipo di asset, combinando poi gli hazard climatici e le vulnerabilità in modo da valutare i potenziali impatti per ogni scenario climatico;
- ▶ **Priorità di adattamento:** si analizzano gli impatti climatici e le priorità di adattamento, considerando le caratteristiche di siti e asset specifici. In questa fase si effettuano valutazioni costo-beneficio per individuare gli interventi necessari ed efficaci;
- ▶ **Piano di Adattamento:** le esigenze di adattamento vengono consolidate in un piano d'azione per aumentare la resilienza e la capacità di risposta (Response) ad eventi avversi, incluse risorse, misure tecniche, processi e procedure.

Le informazioni ottenute grazie ad un approccio brevettato¹³ vengono quindi integrate nei processi,

informando le decisioni del Gruppo e le attività aziendali come, ad esempio, interventi sugli asset operativi, valutazione investimenti, *business development*, *risk control* e accesso a fonti di finanziamento agevolate. La strategia assicurativa si occupa infine di gestire il rischio residuo e la copertura da eventi catastrofici. Ogni tecnologia e tipologia di asset necessita di misure di adattamento specifiche, descritte nelle sezioni successive. Alcune pratiche invece sono trasversali, ad esempio:

- sistemi di *weather alerting* che consentono di attivare tempestivamente lo stato di preallerta, mobilitando risorse e attrezzature adatte ad affrontare l'emergenza;
- strumenti e procedure per ottimizzare identificazione e gestione dei guasti e il ripristino del servizio;
- ispezioni visive, termografiche e sensoristica per mappare necessità di manutenzione preventiva e garantire sempre lo stato ottimale degli asset.

A partire dal 2021, Enel ha definito una policy di Gruppo per gestire rischi e opportunità legati al cambiamento climatico. La policy "*Climate change risks and opportunities*" definisce un approccio comune per integrare queste tematiche nei processi aziendali, migliorando la resilienza e la creazione di valore sostenibile a lungo termine. Inoltre, per massimizzare l'efficacia delle misure di resilienza e *response*, Enel si impegna costantemente nel dialogo con tutti gli stakeholder in modo da catalizzare ogni forma di collaborazione utile al miglioramento del servizio verso i suoi clienti.

13. "Metodo per generare mappe di rischio su infrastrutture localizzate o distribuite", brevetto rilasciato dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy

Oltre a valutare i rischi fisici legati al *climate change* per le proprie attività, Enel ha avviato un'analisi dei rischi climatici per le principali filiere di approvvigionamento, tra cui moduli fotovoltaici, turbine eoliche, batterie stazionarie, cavi, trasformatori, colonnine di ricarica e materie prime come gas e carbone, concentrandosi sui siti produttivi e sulle principali rotte commerciali. Eventi climatici

estremi, sempre più frequenti e intensi, possono infatti compromettere il trasporto, le forniture e il funzionamento degli impianti produttivi (come nel caso delle condizioni di siccità nell'area del Canale di Panama nel 2023-2024, che hanno dimostrato come il cambiamento climatico possa influenzare la logistica globale).

FRONTIERE TECNOLOGICHE PER L'ADATTAMENTO

L'innovazione tecnologica rappresenta uno strumento chiave e un'opportunità per accelerare ed agevolare il percorso di adattamento delle reti elettriche e degli impianti di generazione agli effetti del cambiamento climatico, rafforzandone la resilienza e la capacità di reagire agli impatti di eventi estremi.

Le principali iniziative che Enel sta testando e introducendo riguardano:

1. L'adozione di **infrastrutture di comunicazione innovative**, come ad esempio i satelliti *Low Earth Orbit* (LEO), per assicurare la connettività e il controllo degli asset anche in aree remote o durante le emergenze a supporto delle squadre operative e delle attività di esercizio e manutenzione.
2. **La digitalizzazione e l'automazione** delle reti elettriche, con l'introduzione di soluzioni di *edge computing*, automazione diffusa e di intelligenza artificiale per:
 - Diagnosticare lo stato di salute dei componenti e dei sistemi critici (es. telecontrollo) e abilitare modelli di manutenzione predittiva.
 - Identificare in anticipo situazioni di rischio e pianificare azioni di intervento (ad esempio inerenti la gestione della vegetazione intorno alle reti o il *work force management* in condizioni di emergenza).
 - Localizzare con precisione i guasti in media e bassa tensione, anche su linee interrato e migliorare la stima dello stato della rete per minimizzare il tempo di ripristino dell'operatività.
3. L'implementazione di **soluzioni di diagnostica e controllo avanzato** degli impianti di generazione.

Ad esempio, per fronteggiare condizioni di scarsità di acqua, negli impianti idroelettrici sono state adottate soluzioni in grado di operare a velocità variabile e aumentare il range operativo delle turbine idroelettriche verso portate ridotte, contribuendo così alla resilienza degli impianti, alla tutela dell'ecosistema fluviale e aumentando la produzione rinnovabile.

RETI DI DISTRIBUZIONE

Hazard climatici e sfide dell'adattamento

L'infrastruttura elettrica è esposta alle condizioni meteorologiche avverse e, quindi, anche agli effetti del cambiamento climatico, che possono compromettere qualità e continuità della fornitura di energia. Eventi estremi - come ondate di calore, tempeste di vento, alluvioni e neve/ghiaccio - possono danneggiare le infrastrutture elettriche compromettendo la continuità del servizio. Anche variazioni croniche come l'innalzamento delle temperature medie possono avere effetti sulla performance delle reti. In particolare, le principali fonti di rischio sono:

- **Ondate di calore** che possono danneggiare i cavi interrati

causando interruzioni, compresi guasti multipli;

- **Tempeste di vento** che possono causare danni alle linee aeree (ad esempio, con la caduta di alberi sulle linee) e aumentare il rischio di incendi;
- **Alluvioni** che possono causare danni alla rete in cavo interrato e/o allagamenti nelle cabine primarie;
- **Ghiaccio** che si può accumulare sui conduttori aerei provocandone la rottura;
- **Incendi** con rischio particolarmente rilevante dove insistono reti aeree e vegetazione.

Acute events - Impact matrix 2025



Resilienza

In coerenza con la strategia di Gruppo, Enel Grids declina linee guida e le misure per incrementare resilienza e capacità di risposta secondo uno schema chiamato "4R": **Risk Prevention, Readiness, Response e Recovery**. Tale schema contiene tutte le fasi fondamentali per gestire e migliorare la resilienza delle infrastrutture con una vista end to end: dalle misure di rinforzo e ridondanza preventive, fino alla gestione efficiente ed efficace dell'operatività in campo a seguito del verificarsi di un evento climatico estremo, incluso il pronto ripristino dei servizi.

Nella definizione delle necessità di adattamento (Risk Prevention), i dati climatici vengono utilizzati per valutare i trend futuri dei fenomeni climatici più rilevanti e i potenziali effetti nelle aree di concessione. Gli interventi per aumentare la resilienza delle reti possono essere di due tipologie:

- Ridurre la vulnerabilità degli elementi della rete, ad

esempio utilizzando cavi interrati del tipo "jointless" ovvero con il minor numero possibile di giunzioni, riducendo i punti deboli e quindi la probabilità che si verifichi un guasto;

- Aumentare la ridondanza e la flessibilità, diminuendo la probabilità che un guasto causi l'interruzione diffusa del servizio e riducendone quindi l'impatto. Ad esempio, aumentando le interconnessioni e la capacità di sezionare porzioni di rete per limitare il numero di utenti disconnessi.

All'interno di questa strategia, Enel Grids si dota anche di strumenti di **Readiness e Response** per ottimizzare l'identificazione dei guasti, la loro gestione e il ripristino del servizio nel minor tempo possibile a seguito di un evento climatico estremo. Quando necessario, vengono anche istituite delle task force interne a supporto del personale locale.

Un aspetto importante riguarda anche l'adozione di procedure e linee guida per la gestione delle emergenze che identificano ruoli e responsabilità ben definiti e che prevedono formazione, simulazioni delle situazioni di emergenza e partnership con enti specifici per rendere le squadre operative capaci di intervenire tempestivamente.

A tal proposito Enel è parte attiva nel costruire un modello di security che preveda intervento e collaborazione, in

tutte le fasi dell'emergenza, con tutti gli attori coinvolti (Protezione Civile, Forze di Polizia, altre aziende che prestano servizi essenziali), i cui pilastri principali sono:

- Rafforzamento del rapporto pubblico-privato e stipula di protocolli di intesa con Istituzioni locali e forze di Polizia;
- Simulazioni di crisi realizzate in collaborazione con le forze di polizia civile, polizia militare e protezione civile;
- Strumenti comuni di previsione meteo di eventi climatici avversi.

↳ ADATTAMENTO IN PRATICA | ITALIA - Resilienza alle ondate di calore

Le alte temperature sono una criticità in particolare per le reti in cavo interrato. In Italia questo fenomeno è particolarmente rilevante durante il periodo estivo. Un'ondata di calore produce effetti negativi, quali:

- **riduzione significativa della capacità massima dei cavi** dovuta al perdurare di temperature molto elevate per diversi giorni consecutivi e condizioni specifiche del terreno, dovute precipitazioni scarse o assenti durante il periodo;
- **aumento del rischio di guasti alle infrastrutture** causato da condizioni operative eccezionali che superano i

parametri di progettazione standard (definiti secondo le norme del Comitato Elettrotecnico Italiano, CEI), per effetto del concomitante forte aumento del carico, in termini di potenza di picco e consumo, e del permanere delle alte temperature anche nelle ore notturne;

- **fenomeno dei "guasti multipli" sui cavi**, ovvero un aumento dei guasti che, insieme al picco prolungato di domanda dovuto alle alte temperature, spingono al limite il sistema aumentando ulteriormente la possibilità di disservizi.

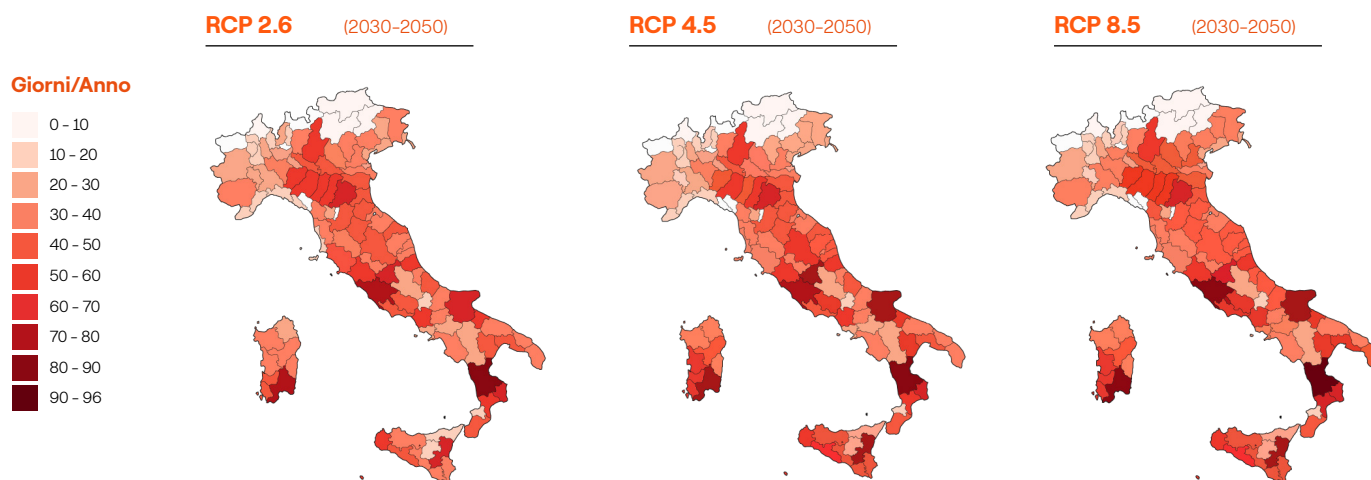


▲ Immagine 2.3

Impatto del surriscaldamento del terreno su cavi elettrici interrati

Le ondate di calore che hanno interessato la zona di Catania, in Italia, nel luglio 2023, hanno reso evidente la necessità di studiare un'evoluzione dei modelli di resilienza delle reti di distribuzione.

Come mostrato nell'immagine 2.4, le ondate di calore (fenomeno già di grande impatto nel presente) conosceranno un diffuso aumento della durata e della frequenza in ogni scenario futuro e su tutto il territorio italiano.



▲ Immagine 2.4

Scenari ondate di calore su provincie italiane

Per aumentare la resilienza delle reti italiane, è stato elaborato un piano di azione finalizzato a diminuire le interruzioni di servizio e il loro impatto sulla rete incrementando robustezza e ridondanza, attraverso:

- ricostruzione e potenziamento di porzioni della rete di

media tensione (MT) interrata esistente con componenti intrinsecamente resilienti;

- aumento del grado di ri-alimentabilità della rete attraverso nuove linee MT in uscita da Impianti Primari esistenti.



↳ ADATTAMENTO IN PRATICA | SPAGNA - Resilienza alle ciclogenesi

Le tempeste cicloniche atipiche e le ciclogenesi esplosive sono un fenomeno climatico particolarmente rilevante nella penisola iberica. Entrambi gli eventi sono di tipo ciclonico, caratterizzati da precipitazioni abbondanti e venti estremi. I due eventi, nonostante gli effetti simili, scaturiscono da situazioni meteorologiche differenti.

La più critica, la ciclogenesi esplosiva, si produce per una repentina diminuzione della pressione atmosferica, che può comportare precipitazioni abbondanti, anche superiori a 100 mm al giorno, combinate con venti che possono superare i 150 km/h.



▲ Immagine 2.5

. Effetti delle ciclogenesi esplosive

Le reti aeree di distribuzione sono esposte a questo tipo di sollecitazioni che possono danneggiare i sostegni e i cavi, sia direttamente sia per l'impatto con alberi e altri oggetti.

Sebbene il regolatore spagnolo per il momento non consideri il riconoscimento o l'incentivo al miglioramento della resilienza della rete elettrica nell'attuale schema di remunerazione, sono stati messi in atto piani per il miglioramento della qualità del servizio e altre iniziative volte a fronteggiare situazioni di emergenza per le infrastrutture elettriche:

- piani di adeguamento, interrimento e rinforzo delle linee aeree per aumentare la resilienza delle infrastrutture esistenti;
- interventi per aumentare la magliatura della rete e la possibilità di rialimentazione in caso di guasti;
- installazione di strumenti di automazione e telecontrollo per velocizzare i tempi di ripristino del servizio;
- piani operativi di contingenza condivisi con le istituzioni locali.

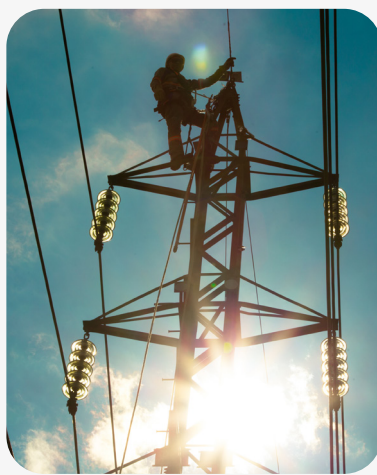
↳ ADATTAMENTO IN PRATICA | SUD AMERICA - Resilienza alle tempeste

Le reti elettriche del Sud America sono particolarmente esposte a tempeste di vento e pioggia rilevanti per l'elevata presenza di linee elettriche aeree. Ad esempio, nel 2024 Santiago del Cile è stata interessata in agosto da un evento meteorologico di eccezionale intensità, con raffiche di vento superiori ai 120 km/h che ha causato l'interruzione di circa 200 linee di media tensione e il danneggiamento di diverse centinaia di sostegni.

Nel mese di ottobre dello stesso anno, la città di San Paolo ha subito un fenomeno atmosferico di pari gravità, con

venti che hanno superato i 100 km/h, in questo caso, con più di 200 linee di media tensione e 17 di alta tensione fuori servizio. Come confermato dagli studi di attribuzione, entrambe le tipologie di eventi estremi sono state rese più intense e frequenti dal cambiamento climatico.

In entrambe le circostanze, al fine di garantire il ripristino tempestivo della rete, sono stati impiegati numerosi gruppi elettrogeni - oltre 500 in Brasile - e sono state mobilitate squadre di supporto provenienti da altri Paesi.



▲ Immagine 2.6

Brasile - interventi sulla rete elettrica

Per mitigare l'impatto di eventi simili in futuro, la **strategia del Gruppo prevede diverse iniziative**, tra cui:

- Interventi di **incremento della resilienza** delle reti;
- La definizione di un processo strutturato per la gestione di **task force internazionali**;
- Metodologie di analisi predittiva avanzata per la **gestione della vegetazione** al fine di ridurre le interferenze con l'infrastruttura elettrica;
- Esercitazioni e simulazioni operative, finalizzate a testare l'efficacia delle **risposte all'emergenza** e il coordinamento tra tutti gli attori coinvolti;
- Accordi e memorandum d'intesa con le **autorità** e le **forze dell'ordine locali**.

Ad esempio, a partire dal 2024 è stato pianificato un programma strutturato che prevede diverse esercitazioni, nei principali Paesi dell'America Latina in cui il Gruppo opera, Brasile, Argentina, Cile e Colombia.

Tra le **misure** di adattamento **specifiche per quest'area** ci sono l'installazione di dispositivi tecnologici che permettono di disalimentare solamente la porzione di rete direttamente impattata e quindi il minor numero di clienti possibile, e l'evoluzione dei materiali e/o l'interramento reti nelle aree ad alto impatto di vegetazione al fine di **incrementare la resilienza** delle infrastrutture e di conseguenza il servizio verso i clienti.

ADATTAMENTO PER LE RETI ELETTRICHE IN BRASILE

Enel opera reti di distribuzioni in tre aree distinte in Brasile, Ceará, Rio de Janeiro, São Paulo, servendo oltre 15 milioni di clienti. Le principali azioni implementate per l'adattamento sono:

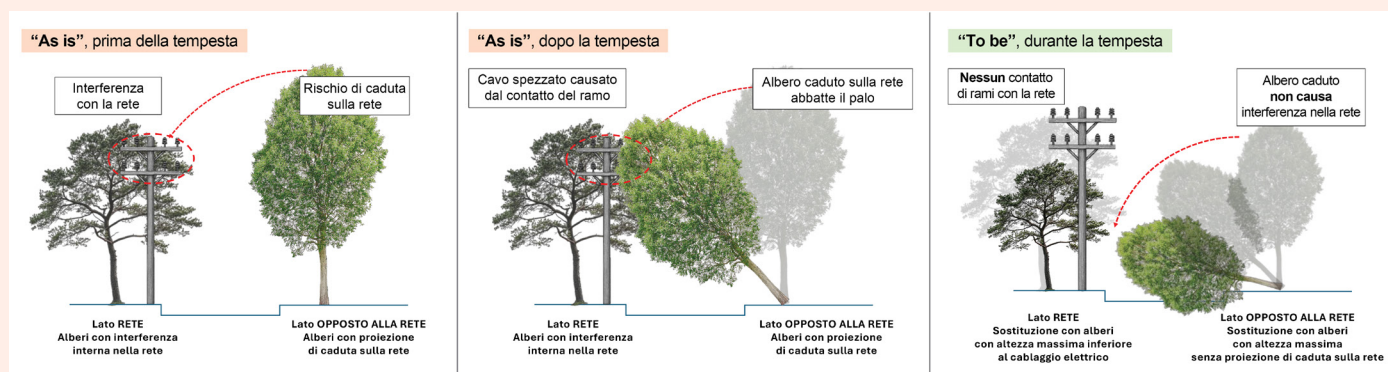
- Interventi per migliorare la resilienza delle reti, raddoppio delle attività di gestione della vegetazione e incremento del personale e della velocità di intervento;
- Miglioramento del supporto ai clienti (ad es. una piattaforma online che informa i clienti in tempo reale sulle aree coinvolte da interruzione e sui tempi di ritorno in servizio);
- Esercitazioni mirate, che simulano situazioni di Contingenza a San Paolo in modo integrato con gli altri attori coinvolti;
- Attivazione di una task force Internazionale di personale qualificato Enel in caso di contingenze;
- "Hortas em Rede" – Giardini in Rete: un progetto di Enel São Paulo che valorizza i terreni sotto le linee elettriche, riducendo i costi di manutenzione e migliorando la sicurezza.

Gli effetti positivi di queste iniziative si riscontrano nelle performance operative, che hanno registrato **miglioramenti significativi in tutte e tre le aree di concessione**. I dati del 2025 confrontati con quelli dell'anno precedente evidenziano la riduzione della durata delle interruzioni - del **16% a Rio de Janeiro** e del **24% nell'area di Ceará**, che arrivano a oltre il **30% nell'area di San Paolo** - e dei clienti coinvolti, che sono **diminuiti di oltre il 40%** nell'area di **Ceará** e oltre l'**60% nelle altre aree di concessione**.

Le maggiori criticità sono dovute agli eventi meteorologici che provocano la caduta di alberi sulle linee elettriche. In alcune città, come San Paolo, la rete è quasi interamente aerea e attraversa aree con vegetazione fitta e ad alto fusto. In molti tratti le linee passano attraverso le fronde degli alberi, aumentando notevolmente i danni provocati dagli eventi climatici estremi.

Un'iniziativa per eliminare gli impatti di questi eventi è la **realizzazione di corridoi di sicurezza lungo le linee**, sostituendo le specie esistenti con altre a basso fusto, in modo che eventuali cadute non impattino le linee. Una soluzione strutturale, già adottata in numerosi contesti urbani, è l'**interramento delle linee**.

Tuttavia, entrambe le soluzioni **richiedono necessariamente l'intervento delle istituzioni locali**, indispensabile per consentire agli operatori di migliorare la resilienza dell'infrastruttura e la qualità del servizio.



▲ Immagine 2.7

Benefici dei corridoi di sicurezza lungo le linee

LE SFIDE DEI MODELLI CLIMATICI IN AMERICA LATINA

Gli scenari climatici in Sud America sono caratterizzati in genere da un alto livello di incertezza che deriva dalla complessità delle dinamiche climatiche regionali, influenzate da fenomeni come El Niño e La Niña, che alterano ciclicamente temperature e precipitazioni con effetti variabili da zona a zona.

Inoltre, **i modelli climatici globali spesso hanno difficoltà a rappresentare con sufficiente affidabilità le condizioni locali del continente sudamericano**. L'applicazione di tali output è più complessa sia perché i modelli disponibili per questa area geografica sono pochi sia perché i segnali mostrano alto grado di incertezza.

La collaborazione tra il settore della ricerca, le istituzioni pubbliche e il comparto privato deve accelerare per migliorare la qualità, la risoluzione e l'accessibilità dei dati climatici. Questa è infatti fondamentale per sviluppare strumenti informativi più affidabili, aggiornati e mirati, capaci di supportare efficacemente i decisori nella pianificazione strategica e nella gestione dei rischi legati ai cambiamenti climatici.

IMPIANTI DI GENERAZIONE ELETTRICA

Hazard climatici e sfide dell'adattamento

Gli impianti di generazione sono esposti agli eventi meteorologici e ogni tecnologia (ad es. eolico, fotovoltaico, idroelettrico) è soggetta a diversi fenomeni a seconda delle specifiche caratteristiche. Mentre gli eventi estremi possono causare danni e riduzione o interruzione dell'operatività degli impianti, variazioni croniche delle condizioni meteo e delle risorse rinnovabili possono

incrementarne o ridurne la produzione.

A partire dalla mappatura dei fenomeni rilevanti a livello globale, vengono condotte annualmente analisi sui rischi climatici acuti (vedi immagine 2.8) e cronici al fine di stimare l'impatto futuro a medio/lungo termine sugli impianti di generazione del Gruppo.

Acute events - Impact matrix 2025

TECNOLOGIA	PRIORITÀ					
	HEATWAVES	FLOODING/ HEAVY PRECIPITATION	HEAVY SNOW/ ICING	HAIL	WINDSTORM	WILDFIRES
Thermal	●	●	○	○	●	●
Solar	●	●	●	●	●	●
Wind	●	●	●	●	●	●
Hydro	●	●	●	○	●	○

▲ Immagine 2.8

Fenomeni acuti rilevanti per tecnologia

L'analisi degli eventi acuti sugli impianti di generazione viene effettuata in due fasi:

- **screening preliminare** degli hazard a cui sono esposti gli impianti di generazione di Enel, considerando le specifiche vulnerabilità e identificando gli impianti a maggior rischio;
- **analisi dettagliata degli impianti a maggior rischio**, per individuare le possibili misure di adattamento, anche con analisi costo-beneficio, per prevenire danni diretti e perdite di produzione.

Per valutare i rischi sul parco di generazione, il Gruppo ha sviluppato l'indice AERI (Acute Events Risk Index).

L'AERI è un indicatore sintetico del rischio per gli impianti rinnovabili dovuta a eventi climatici acuti, che combina la

vulnerabilità del singolo asset a un determinato fenomeno climatico e i relativi scenari climatici futuri. In particolare, mostra la quota di capacità installata a rischio più elevato, sulla base dell'evoluzione degli scenari nel periodo 2030-2050 rispetto al periodo di riferimento. Sugli impianti più esposti si effettuano le analisi di maggior dettaglio per individuare le azioni di adattamento necessarie, valutando costi e benefici.

Infine, per valutare l'impatto degli effetti cronici del cambiamento climatico sulla produzione degli asset del Gruppo, sono state sviluppate funzioni specifiche che associano ogni variazione delle variabili climatiche (ad es. temperatura, radiazione, velocità del vento, precipitazioni) alle probabili variazioni della producibilità elettrica degli impianti in portafoglio.



Impianti fotovoltaici

I principali fenomeni climatici rilevanti per la tecnologia fotovoltaica sono:

- **Alluvioni, grandinate e raffiche di vento:** possono danneggiare le infrastrutture e causare interruzioni nella produzione;
- **Ondate di calore:** riducono la produzione dei moduli fotovoltaici, la cui efficienza è inversamente proporzionale alla temperatura; le ondate di calore riducono inoltre la capacità di conversione elettrica degli inverter (effetto derating);
- **Variazione della radiazione solare:** influenza la produzione degli impianti fotovoltaici.

Enel ha introdotto una ampia gamma di azioni di adattamento per contenere questi effetti, tra cui:

- **Protezioni strutturali**, come, ad esempio, il rinforzo strutturale di pannelli e componenti fissi degli impianti;

- **Gestione del rischio idraulico** tramite, ad esempio, l'innalzamento delle componenti elettriche, la creazione di canali/argini di protezione, l'utilizzo di pompe per drenaggio forzato, l'impermeabilizzazione di sottostazioni e unità di conversione e la stabilizzazione del terreno contro fenomeni erosivi;

- **Sistemi di gestione della temperatura degli impianti e mitigazione del derating** quali sistemi protezione dalla radiazione solare diretta, sistemi di raffreddamento potenziati e riduzione del rapporto DC/AC allo scopo di massimizzare la produttività dei pannelli.

- **Prevenzione incendi** grazie al potenziamento delle attività di pulizia vegetazione e fasce "tagliafuoco", l'utilizzo di vernici/intonaci ignifughi, la predisposizione di serbatoi d'acqua per rispondere alle emergenze e l'installazione di telecamere termiche per che aiutino a rilevare tempestivamente condizioni di rischio.

↳ ADATTAMENTO IN PRATICA | Tempesta di vento su “El Paso”, Colombia

All'inizio del 2023, presso l'impianto fotovoltaico di El Paso si è verificata una tempesta di vento, con raffiche superiori ai 100 km/h, che ha causato danni a oltre 20 strutture (inclusi disallineamento e rottura di pannelli fotovoltaici).

Per far fronte a questo tipo di fenomeni, sono stati installati sensori di vento a ultrasuoni, che offrono una maggiore precisione nel rilevamento delle tempeste di vento rispetto a quelli analogici e sono in grado di attivare tempestivamente il comando di posizionamento in modalità “stow” ovvero in una posizione di sicurezza o “riposo” del pannello, solitamente piatta o inclinata per ridurre il rischio di danni.



▲ Immagine 2.9
Impatto del vento estremo su impianto solar “El Paso”

Impianti eolici

I principali fenomeni climatici rilevanti per la tecnologia sono:

- **Variazione pattern di vento:** riducono la prevedibilità della produzione eolica, influenzando la pianificazione energetica. In aree soggette a siccità o desertificazione, la maggiore esposizione a polveri e sabbia può accelerare l'usura delle componenti in movimento;
- **Raffiche di vento:** possono danneggiare le turbine, le pale e le torri, causando guasti meccanici o elettrici e interruzioni della produzione;

- **Ondate di calore e freddo:** possono compromettere l'efficienza dei sistemi di produzione.

Enel pone in campo le seguenti azioni di adattamento, sempre in un'ottica costi-benfici per garantire il funzionamento e la sicurezza degli impianti in condizioni climatiche estreme:

- **sistemi per rilevare la formazione di ghiaccio** e assicurare l'operatività a basse temperature e in condizioni di vento estremo;
- potenziamento dei **sistemi di raffreddamento**.



➔ ADATTAMENTO IN PRATICA | Stress termico e caldo estremo su “Valle de Los Vientos”, Cile e “Chisholm View” Stati Uniti

L'impianto di “Valle de Los Vientos” in Cile si trova in una zona desertica caratterizzata da forte escursione termica che sottopone a stress i sistemi elettrici, riducendone potenzialmente il ciclo di vita.

Per adattare l'impianto a queste condizioni, si è provveduto all'installazione diretta di un condotto per aumentare il flusso d'aria nel sistema di raffreddamento del generatore, permettendo di regolare significativamente la temperatura anche a pieno regime. Inoltre, è stato potenziato il sistema di isolamento delle componenti del generatore della turbina. Questo è un esempio di come soluzioni sviluppate grazie all'esperienza nella gestione di condizioni particolarmente estreme possono diventare best practice per l'adattamento degli impianti elettrici delle turbine eoliche. Questa

soluzione, infatti è attualmente applicata a tutti i siti che saranno sempre più esposti a condizioni di forte caldo e bassa densità dell'aria.

Un'ondata con temperature superiori ai 40°C è avvenuta invece nel maggio 2024 negli Stati Uniti nell'impianto di “Chisholm View” provocandone la rottura della “Gearbox” (ovvero il componente meccanico che permette di variare il rapporto di trasmissione tra il motore e le pale, consentendo alla turbina di adattarsi a diverse velocità).

In questo secondo caso, si è deciso di adattare l'impianto alle condizioni di calore raggiunte, utilizzando un nuovo olio sintetico avanzato sulla nuova Gearbox sostituita, con un indice di viscosità più affidabile e maggiori capacità di protezione.



▲ Immagine 2.10
Intervento su impianti eolici

Impianti idroelettrici

I principali fenomeni climatici rilevanti per la tecnologia idroelettrica sono:

- **Alterazioni della disponibilità** e la stagionalità delle **risorse** idriche: fenomeni come la riduzione dei ghiacciai, l'alterazione dei regimi di precipitazione, la siccità prolungata
- **Riduzione di efficienza e affidabilità** degli impianti: eventi estremi come alluvioni possono ridurre la produzione energetica e aumentando il rischio di danni alle infrastrutture.

Enel interviene con molteplici azioni di adattamento per gestire e ridurre i potenziali effetti del cambiamento

climatico sulle risorse idroelettriche:

- **Repowering e flessibilizzazione** degli impianti per incrementare l'efficienza e adattarsi alle variazioni dei regimi di portata;
- **Impianti fotovoltaici flottanti** su bacini propri e di terzi che contribuisce alla riduzione del fenomeno dell'evaporazione;
- **Rimozione selettiva sedimenti** per incrementare la flessibilità di funzionamento;
- **Coordinamento stakeholders** per gestire emergenze siccità ed eventi meteo acuti (piene).

↳ ADATTAMENTO IN PRATICA | Impianti fotovoltaici galleggianti – Italia

Enel sta sperimentando l'utilizzo di impianti fotovoltaici galleggianti utili per produzione di energia da fonti rinnovabili senza consumo di suolo, riducendo, al contempo, l'evaporazione e migliorando la produzione del pannello per il raffreddamento ottenuto dalla vicinanza con l'acqua.

Gli impianti di Venaus, Montelupo e Narzole in Italia sono i primi realizzati dal Gruppo Enel in questa modalità.

A Venaus è in corso, inoltre, l'installazione di un sistema di "de-sedimentazione" in continuo, alimentato dall'impianto, che garantisce una pulizia costante ed automatica dei canali afferenti ai bacini idrici, in modo da mantenere la capacità carico e riducendo la possibilità di ostruzioni in caso di eventi estremi.



▲ Immagine 2.11

Impianti fotovoltaici flottanti di Venaus e di copertura canale a Narzole

Impianti di generazione termoelettrica

I principali fenomeni climatici rilevanti per le tecnologie termoelettriche sono:

- **aumento cronico della temperatura** dell'aria e acqua e la riduzione delle risorse idriche, importanti per il raffreddamento, riducono l'efficienza e la capacità operativa delle centrali termoelettriche;
- **eventi climatici estremi** come le ondate di calore, che mettono ulteriormente sotto pressione gli impianti, compromettendone l'affidabilità e richiedendo adeguamenti tecnologici e gestionali per garantire efficienza e la sicurezza energetica.

Enel pone in campo le seguenti azioni di adattamento, sempre in un'ottica costi-benefici, per garantire il funzionamento e la sicurezza degli impianti termoelettrici a gas in condizioni climatiche estreme:

- **Sistemi di raffreddamento alternativi/potenziati** per migliorare lo scambio termico, aumentando così la soglia di derating, ovvero il livello di temperatura a partire dalla quale c'è un peggioramento delle performance;
- **Upgrade delle turbine a gas** per aumentare la potenza dell'impianto e compensare il *derating* dovuto alla temperatura dell'aria

Negli ultimi anni, inoltre, Enel ha portato avanti una serie di investimenti volti ad aumentare le prestazioni dei propri impianti a ciclo combinato (CCGT) per ridurre il derating dovuto alle ondate di calore e contemporaneamente migliorare l'efficienza di detti impianti, riducendo l'emissione specifica di CO₂ per unità di energia prodotta.

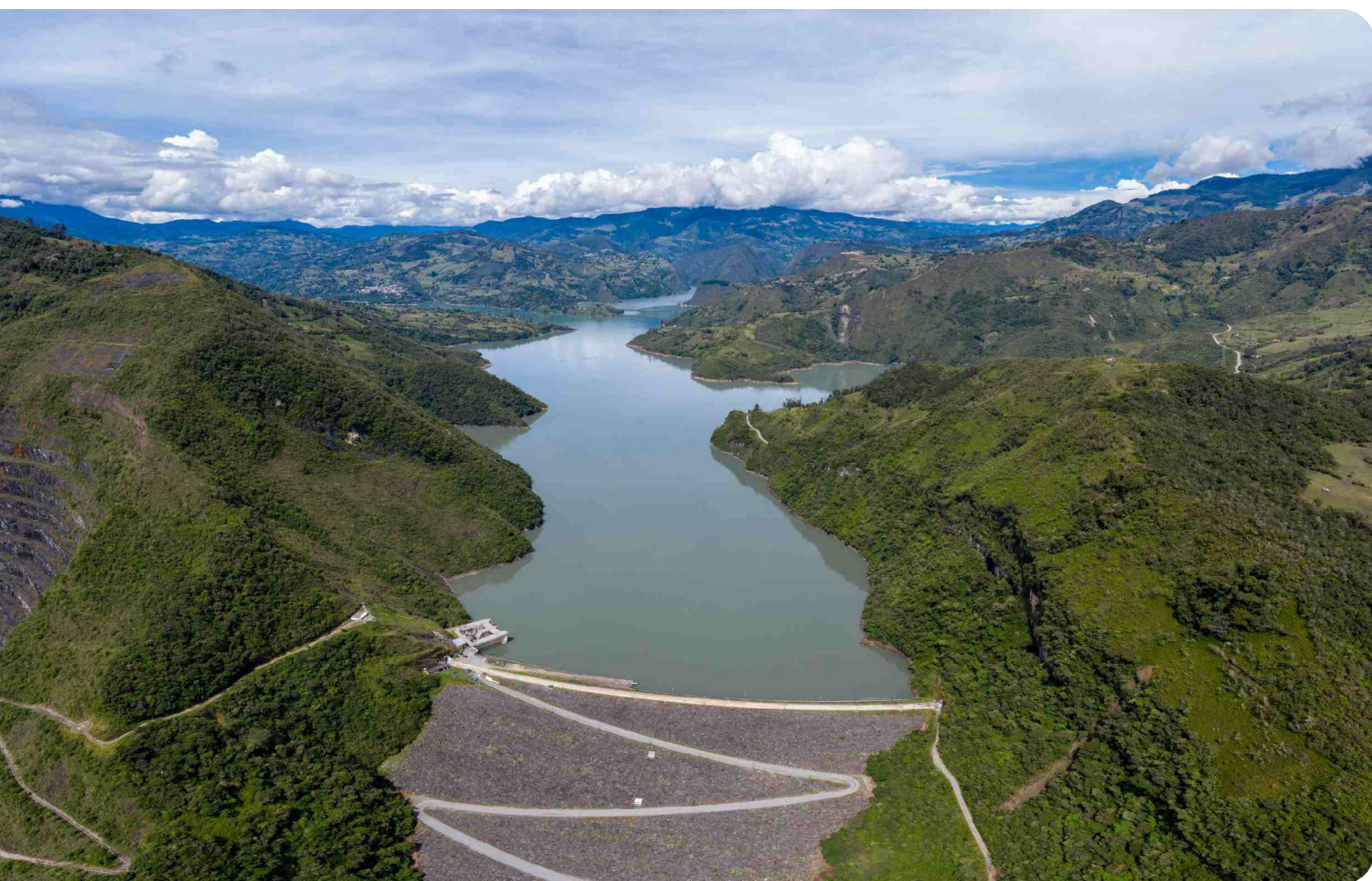
IL RUOLO STRATEGICO DELLE RISORSE IDROELETTRICHE

L'idroelettrico rappresenta una risorsa importante per la resilienza climatica grazie alla sua capacità di:

- Mitigare la siccità, in quanto bacini idroelettrici rilasciano acqua in modo controllato per garantire approvvigionamento idrico, supportare l'agricoltura e preservare gli ecosistemi;
- Gestire le alluvioni, poiché regolano i flussi fluviali riducendo i picchi di piena, proteggendo comunità e infrastrutture;
- Favorire la transizione energetica, perché facilitano l'integrazione di fonti rinnovabili variabili non programmabili come eolico e solare, contribuendo alla stabilità della rete.

Questa multifunzionalità rende **l'idroelettrico un asset strategico per i Paesi e un pilastro per la gestione sostenibile delle risorse idriche** in un contesto di cambiamento climatico. Per ridurre i rischi e assicurare la continuità del servizio sono essenziali la manutenzione programmata, l'analisi dei dati in tempo reale e la capacità di intervenire tempestivamente in caso di eventi estremi.

Operare un impianto idroelettrico richiede conoscenze tecniche avanzate in ingegneria, idrologia, elettromeccanica e normativa ambientale: solo personale qualificato può monitorare correttamente i flussi d'acqua, prevenire guasti agli impianti, gestire le emergenze e ottimizzare la produzione energetica.



FLESSIBILITÀ DEMAND RESPONSE

Il Gruppo Enel gestisce, oltre agli asset di generazione, risorse per la flessibilità per il sistema, come capacità di accumulo elettrochimico (BESS, *battery energy storage systems*) di oltre 3GW, e gestisce un ampio portafoglio di demand response relativo a clienti industriali, commerciali e residenziali, per circa 9GW. **Le batterie e i sistemi di accumulo energia sono un asset molto importante nella strategia del Gruppo, poiché favoriscono lo sviluppo delle rinnovabili, forniscono flessibilità e resilienza al sistema.** Esse svolgono inoltre un ruolo importante nel garantire la continuità del servizio a fronte di eventi estremi e della variabilità delle fonti rinnovabili e della domanda, influenzate anche dal cambiamento climatico.

Il demand response, o DR, è la capacità dei clienti finali di ridurre o spostare temporaneamente i propri consumi elettrici in risposta a segnali di mercato o a esigenze di rete. Rappresenta uno strumento sempre più utile per la gestione flessibile della domanda e la sicurezza del sistema elettrico, in un contesto di forte crescita sia delle fonti rinnovabili non programmabili che della domanda elettrica. Il DR è considerato una misura potenzialmente utile sia per rafforzare la resilienza operativa del sistema elettrico che

per supportare le attività di recovery in situazioni di stress causate da eventi meteorologici intensi.

In particolare, il DR può contribuire a mitigare gli impatti di diversi eventi estremi:

- **Ondate di calore**, che aumentano significativamente la domanda elettrica per il raffrescamento, sovraccaricando le reti: in questo contesto, il DR può contribuire a contenere i picchi di carico, riducendo il rischio di interruzioni e alleggerendo la pressione sulle infrastrutture;
- **Tempeste di vento, alluvioni, ghiaccio e incendi** che possono danneggiare fisicamente le linee e causare interruzioni di rete: il DR può alleggerire il carico nelle aree a rischio, contribuendo a contenere il numero di clienti disconnessi in caso di sezionamento della rete, e facilitare un ripristino graduale.

Ad esempio, nel caso di ghiaccio, può aiutare riducendo il carico in aree critiche, prevenendo blackout estesi e facilitando una riattivazione controllata; nel caso di incendi, può preventivamente aiutare a ridurre la domanda in zone identificate come vulnerabili.

↳ ADATTAMENTO IN PRATICA | Episodi di Demand Response

Il DR ha già dimostrato di generare benefici tangibili nei sistemi elettrici di diversi Paesi. Di seguito alcuni esempi in Nord America e Australia:

- **Giugno 2025:** in Nord America il caldo estremo ha richiesto un uso record di DR. Dal 23 al 25 giugno, sono stati messi a disposizione della rete più di 2 GW, gestendo con successo oltre 90 interventi di dispacciamento;
- **Luglio 2023:** Durante un'ondata di calore eccezionale in Texas e Arizona, la DR ha aiutato a evitare emergenze. Incentivando la riduzione dei consumi nelle ore di punta, si sono prevenuti blackout e mantenuta la stabilità del

sistema;

- **Dicembre 2022:** Durante la tempesta Elliott in Nord America, molti impianti andarono fuori servizio. La DR fu decisiva per ridurre i consumi e ripristinare la stabilità della rete, evitando blackout diffusi;
- **Nel 2018 in Australia**, nell'ambito del programma Frequency Control Ancillary Services (FCAS), la partecipazione di capacità DR e batterie ha contribuito a ridurre i costi del servizio di circa 70 milioni di AUD rispetto all'anno precedente.





3

**FATTORI
CHIAVE PER
L'ADATTAMENTO**

L'adattamento climatico rappresenta una delle sfide più complesse e articolate del nostro tempo e richiede per questo un approccio integrato capace di combinare interventi specifici e contestualizzati a livello locale con una visione strategica e di sistema su scala nazionale e internazionale. Questa sfida implica sia la trasformazione di infrastrutture, sistemi economici e tessuti urbani, ma anche nuove modalità di governance e politiche pubbliche.

Il successo delle strategie di adattamento dipende in larga misura dalla capacità degli enti pubblici di svolgere un ruolo di leadership per orientare le risorse pubbliche e private verso soluzioni resilienti e innovative. È importante, inoltre, che ci sia coerenza tra le politiche nazionali, quelle sovranazionali e gli obiettivi globali di sviluppo sostenibile e si definiscano framework incentivanti per gli investimenti in resilienza.

La collaborazione tra tutti gli stakeholder, anche con partenariati multilivello, insieme a un approccio multidisciplinare, sono fattori necessari per affrontare un tema così ampio e complesso con soluzioni efficaci sostenibili e socialmente legittimate. In questo senso, il ruolo istituzionale include la promozione del dialogo costante e costruttivo con una pluralità di stakeholder,

quali la comunità scientifica, il settore industriale e le sue associazioni, il mondo finanziario, le organizzazioni della società civile.

In questa sfida, la finanza è un fattore abilitante essenziale. Per realizzare misure di adattamento efficaci e assicurare resilienza e sicurezza socioeconomica, è fondamentale potenziare i meccanismi finanziari e orientare nuovi investimenti, anche tramite fondi internazionali, per sostenere soprattutto le aree e le infrastrutture più vulnerabili e le infrastrutture strategiche. Più in particolare, i fondi pubblici di organismi internazionali (es. Banca Mondiale, Banca Europea per gli Investimenti, etc.), regionali (es. European Recovery Fund) o nazionali di natura agevolata possono giocare un ruolo chiave nell'accelerare gli investimenti in adattamento.

In sintesi, l'adattamento climatico richiede coordinamento istituzionale e investimenti mirati per potenziare la resilienza di infrastrutture e territori. Le soluzioni di adattamento devono essere costruite coinvolgendo tutti gli stakeholder ed abilitate da risorse finanziarie, strumenti regolatori e politiche adeguate, promuovendo l'adattamento come un'opportunità di crescita.

GOVERNANCE E ALLEANZE STRATEGICHE PER L'ADATTAMENTO

Il coinvolgimento attivo e coordinato di tutti gli attori della società è un fattore chiave. Le partnership pubblico-private giocano un ruolo strategico per mobilitare risorse e know-how e concorrere alla costruzione di risposte efficaci e durature. Tali collaborazioni devono essere inquadrare all'interno di una governance multilivello, che valorizzi le competenze locali, favorisca la co-progettazione e garantisca coerenza tra obiettivi climatici e politiche di sviluppo.

L'integrazione dell'adattamento climatico nella pianificazione urbanistica, territoriale e infrastrutturale è un passaggio cruciale. Inserire criteri di resilienza nei piani regolatori, nei bilanci pubblici e nelle strategie settoriali – dalla mobilità alla gestione delle risorse idriche – consente di anticipare gli impatti climatici e ridurre le vulnerabilità sistemiche. Le infrastrutture energetiche sono un elemento cardine di questa strategia di sicurezza e resilienza.



PIANI DI ADATTAMENTO NAZIONALI

La definizione e l'implementazione dei Piani di Adattamento Nazionali (NAP) stimola la collaborazione efficace tra pubblico e privato in diversi modi:

- **Quadro strategico:** Una visione chiara e obiettivi a lungo termine, identificando priorità nazionali e locali, sono essenziali per orientare gli investimenti privati
- **Fabbisogni d'investimento:** delineano le necessità, il ruolo del pubblico e le opportunità per il settore privato
- **Coordinamento multi-stakeholder:** facilita la collaborazione e la condivisione di conoscenze e best practice coinvolgendo controparti private, accademiche e comunità
- **Sviluppo capacità e trasparenza:** rafforzare capacità e trasferimento tecnologico, garantendo trasparenza e monitoraggio dei progressi per attrarre ulteriori investimenti.

Per rafforzare l'efficacia delle politiche di adattamento ai cambiamenti climatici, è fondamentale garantire una piena coerenza tra gli strumenti di pianificazione a livello regionale e nazionale.

Ad esempio, per quanto riguarda l'Europa, è cruciale garantire che il Piano di Adattamento dell'UE e i Piani Nazionali per l'Energia e il Clima (NECP) operino su livelli complementari, con obiettivi e misure coerenti e sinergici. Il nuovo framework europeo (Climate Resilience and Risk Management Integrated Framework e European Climate Adaptation Plan), atteso nel 2026, sarà un'occasione importante per definire governance e strumenti per produrre azioni.

PUBLIC POLICY E REGOLAZIONE

La sfida dell'adattamento non è solo tecnologica, ma anche istituzionale, finanziaria e normativa. Fonti internazionali autorevoli - come il sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR6), le indicazioni dell'OCSE e le raccomandazioni della Global Commission on Adaptation - evidenziano la necessità di integrare i processi decisionali di lungo termine sull'adattamento climatico, supportandoli con opportune linee guida¹⁴ e meccanismi di incentivazione.

In questo senso, la regolazione è uno strumento chiave per trasformare l'adattamento climatico in una componente strutturale e duratura dello sviluppo economico sostenibile, specialmente per infrastrutture cruciali come quelle di distribuzione dell'energia. È indispensabile definire quadri regolatori chiari, stabili e coerenti, che rendano le misure di adattamento efficaci, praticabili e replicabili su larga scala.

In particolare, la sicurezza energetica richiede un approccio collettivo, basato sulla condivisione di buone pratiche tra gestori, autorità regolatorie e stakeholder, nonché normative tecnico-economiche e meccanismi tariffari adeguati che indirizzino e sostengano gli investimenti necessari. La normativa deve quindi evolvere da una logica emergenziale e reattiva, a una logica di abilitazione sistemica, capace di favorire la resilienza, l'innovazione tecnologica e la rimozione degli ostacoli burocratici e finanziari allo sviluppo infrastrutturale. Questa evoluzione normativa e regolatoria è necessaria per costruire un sistema energetico capace di adattarsi dinamicamente agli impatti climatici e di assicurare continuità e qualità del servizio a cittadini e imprese.

¹⁴. Alcuni esempi: European Commission, 2021 - "Climate Resilience Proofing Guidelines"; Canada Standard Council, 2016 - "Climate Resilient Built Environment (CRBE)" dell'energia elettrica.

A tal fine, per quanto riguarda le reti elettriche, il disegno degli schemi di remunerazione deve essere tale da indirizzare e premiare gli sforzi e gli investimenti volti a migliorare la resilienza delle infrastrutture,

garantendo agli operatori le risorse adeguate a pianificare, realizzare e mantenere infrastrutture resilienti. Inoltre, è importante promuovere una cultura della collaborazione e dell'innovazione continua.

BEST PRACTICE REGOLATORIE PER LA RESILIENZA

In particolar modo nel contesto delle reti di distribuzione, risulta cruciale disporre di un quadro regolatorio stabile e chiaro che incentivi, attraverso meccanismi specifici, gli investimenti in resilienza. Al regolatore è richiesto infatti di riconoscere il valore strategico degli interventi volti a rafforzare l'infrastruttura elettrica contro eventi estremi, stimolando il distributore ad agire proattivamente in questo ambito.

La regolazione italiana in materia di resilienza delle reti rappresenta un modello tra i più avanzati e innovativi a livello mondiale. L'Autorità di regolazione di settore ha lavorato negli ultimi anni ad individuare le priorità del sistema, stabilendo meccanismi regolatori e strumenti per incentivare gli investimenti degli operatori in resilienza e qualità. A partire dal 2024, il regolatore ha introdotto un nuovo modello di incentivazione per interventi di sviluppo sulle reti di distribuzione¹⁵, tra cui quelli della resilienza, che prevede tra l'altro:

- **Analisi costi-benefici positiva:** gli interventi possono accedere al modello di incentivazione solo se l'analisi costi-benefici (Cost-Benefit Analysis, CBA) ha un esito positivo (ovvero benefici maggiori dei costi). Nella valutazione dei benefici sono considerati anche la riduzione della probabilità di guasto, il numero di clienti che ne beneficiano e il concetto di Value of Lost Load (VoLL) ossia il valore economico attribuito all'energia "non fornita".
- **Scenari climatici futuri:** per progettare interventi realmente efficaci nel lungo periodo, gli operatori possono basarsi su proiezioni di eventi estremi (es. ondate di calore), anziché su dati storici, così da tenere conto degli impatti attesi del cambiamento climatico.

In conclusione, il modello di incentivazione si basa su una logica di valorizzazione del beneficio sistemico: agli operatori che realizzano interventi ammessi e conformi ai criteri stabiliti, viene riconosciuto un premio che restituisce parte del valore generato per il sistema, incoraggiando investimenti mirati e comportamenti virtuosi.

15. • Delibera 18 dicembre 2018 - 668/2018/R/eel: Incentivazione economica degli interventi di incremento della resilienza delle reti di distribuzione dell'energia elettrica.
 • All. A alla delibera 566/2019/R/eel - , Titolo 10 Resilienza del sistema elettrico.
 • Delibera 27 dicembre 2023 614/2023/R/eel
 • Lo Schiavo, C. Turconi, F. Villa, Regulatory incentives for improving the resilience of electricity distribution grids in Italy, 25th CIRED, 2019
 • All. A alla delibera 617/2023/R/eel - Titolo 10 - Disposizioni di incentivazione correlata ai benefici degli interventi sulle reti di distribuzione

FINANZA PER L'ADATTAMENTO

La finanza è essenziale per scalare l'adattamento a livello globale. Non solo per colmare il crescente divario tra fabbisogni e risorse disponibili – il cosiddetto *adaptation finance gap* –, che nel 2023 ha raggiunto oltre 360 miliardi di dollari annui secondo l'Adaptation Gap Report (UNEP¹⁶, 2024) ma per creare le condizioni affinché le soluzioni più efficaci diventino accessibili e replicabili.

Secondo le stime, la quota della finanza di adattamento si attesta intorno al 5% del totale della finanza climatica (dati 2021–2022) ed entro il 2030 i flussi attuali potrebbero essere quattro volte inferiori al necessario¹⁷. Per incrementare i flussi verso l'adattamento, alcuni aspetti sono importanti:

- Migliorare il **tracciamento** e le metodologie di **misurazione** degli investimenti e degli impatti di questi interventi;
- **Programmi** di finanziamento **chiari** e **mirati**, sia di istituzioni pubbliche nazionali internazionali, regionali che nazionali attraverso strumento di sussidio diretto (grants) o prestiti agevolati (da Banche di Sviluppo e/o *Export Credit Agencies*, ECAs);
- **Migliore percezione dei rischi e dei rendimenti** per il settore privato e collaborazione pubblico-privato, anche diversificando gli strumenti finanziari (ad esempio, garanzie, *blended finance*, *result-based finance*) e incentivando la collaborazione tra pubblico e privati.

Ad esempio, nel 2021, BEI Global ha messo a disposizione del Gruppo Enel un *financing framework* che ha portato per il Gruppo un totale equivalente a circa 900 milioni di euro a supporto di piani di investimento mirati in America Latina (in particolare Brasile e Cile) sia per reti che impianti rinnovabili.

Il contributo della finanza si articola su più livelli, inclusi

strumenti per attrarre capitali privati. Secondo *Climate Policy Initiative*, su 60 istituzioni finanziarie pubbliche esaminate, solo 13 hanno formulato impegni pubblici specifici per la finanza di adattamento. In questo senso le banche multilaterali di sviluppo hanno un ruolo importante. Iniziative come il *Global Shield against Climate Risks*¹⁸, il *Green Climate Fund* o i *Climate Adaptation Windows dell'African Development Bank* mostrano come gli strumenti finanziari possano sbloccare capitali privati in contesti ad alto rischio climatico o con scarsa capacità fiscale.

Il sistema finanziario può contribuire a scalare l'adattamento integrando i rischi fisici e di transizione legati al climate change nei framework decisionali e di allocazione del capitale. Ad esempio, iniziative come il *Climate Risk Investment Framework* di IIGCC¹⁹ e quelle intraprese da parte delle banche centrali per valutare i rischi e informare le attività di vigilanza²⁰ (es. ECB, BoE²¹) stanno spingendo verso un'allocazione più informata e resiliente, generando segnali di mercato per imprese e territori.

Infine, la finanza è importante anche per rafforzare le capacità scientifiche e tecnologiche: sviluppare dati e scenari climatici, sostenere innovazione tecnologica, promuovere la cooperazione territoriale e garantire accesso equo ai finanziamenti, soprattutto per le comunità vulnerabili e i paesi a basso reddito.

È auspicabile quindi il perseguimento di obiettivi di finanziamento dell'adattamento climatico. Per riuscirci è importante coinvolgere settore pubblico e privato in piani di investimento mirati e rafforzare le infrastrutture strategiche, con particolare attenzione per la sicurezza energetica.

16. United Nations Environment Programme

17. State and Trends in Climate Adaptation Finance 2024 – Climate Policy Initiative, Global Center on Adaptation

18. Iniziativa lanciata nella COP27 per aumentare la protezione finanziaria per le popolazioni vulnerabili

19. Institutional Investors Group on Climate Change

20. ECB Annual Report on supervisory activities 2024 – Supervisory priorities for 2024–2026; ECB Press release July 2025 – ECB to adapt collateral framework to address climate-related transition risks

21. European Central Bank (ECB); Bank of England (BOE)

BIBLIOGRAFIA

- ACER, "Methodology for calculating the value of lost load, the cost of new entry and the reliability standard", 2020.
- Climate Policy Initiative and Global Center on Adaptation, State and Trends in Climate Adaptation Finance, 2024.
- European Commission, Political Guidelines For The Next European Commission 2024–2029, 2024.
https://commission.europa.eu/document/download/e6cd4328-673c-4e7a-8683-f63ffb2cf648_en?filename=Political%20Guidelines%202024-2029_EN.pdf
- Eurelectric, Strengthening climate resilience – Strategies for enhancing DSO resilience against climate change, 2025.
<https://www.eurelectric.org/wp-content/uploads/2025/07/Strengthening-climate-resilience-Strategies-for-enhancing-DSO-resilience-against-climate-change.pdf>
- F. Giorgi, Thirty Years of Regional Climate Modeling: Where Are We and Where Are We Going next?, 2019.
doi:10.1029/2018JD030094.
- Gigi Owen, Global Environmental Change: What makes climate change adaptation effective? A systematic review of the literature, 2020.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S09593780193120267>
- Global Commission on Adaptation, Adapt now: a global call for leadership on climate resilience, 2019.
https://gca.org/wpcontent/uploads/2019/09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf
- Institutional Investors Group on Climate Change (IIGCC), Climate Resilience Investment Framework (CRIF), 2025.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Global Warming of 1.5°C, 2018 special report on the impacts of global warming of 1.5 °C.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Sixth Assessment Report (AR6), 2021–2023.
- International Energy Agency (IEA), Climate Resiliency for Energy Security, 2022.
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/10229b31-fd82-4371-b92c-a554f95369ea/ClimateResilienceforEnergySecurity.pdf>
- L. Marchisio, F. Genoese, F. Vedovelli, F. Salterini and S. Costa, Estimating the Value of Lost Load in Italy through outage cost surveys, 2022 AEIT International Annual Conference (AEIT), Rome, Italy, 2022, pp. 1–5.
- OECD, Accelerating climate adaptation: A framework for assessing and addressing adaptation needs and priorities – Economic Policy Papers, 2024.
<http://dx.doi.org/10.1787/8afaueb8-en>
- Prein A.F., Langhans W., Fosser G., et al., A review on regional convection permitting climate modeling: Demonstrations, prospects, and challenges, 2015. doi:10.1002/2014RG00047.
- UN Environment Program (UNEP), Adaptation Report, 2024.
<https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2024>
- World Resources Institute (WRI), The Triple Dividend of Building Climate Resilience: Taking Stock, Moving Forward, 2022. DOI
<https://doi.org/10.46830/wriwp.21.00154>

