Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
ICSC Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data and Quantum Computing

REPORT

AMBIENTE

Osservatorio sulle tendenze e le applicazioni del Supercalcolo

Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data and Quantum Computing

Osserv-azioni su...

ENERGIA DEL FUTURO

Tendenze e applicazioni del Supercalcolo, Big Data e Quantum Computing

Dicembre 2024

Indice

Indice 2
Introduzione 4
Una prospettiva globale sull'energia del futuro 5
A che punto siamo in Europa? 7
A che punto siamo in Italia? 8
Energia del futuro: quali casi d'uso? 10
Monitoraggio e Ottimizzazione Energetica 11
Monitoraggio e Big Data 12
IoT per la transizione digitale energetica: come, dove, perché 13
Le tecnologie abilitanti per il settore energetico nel Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data e Quantum Computing 14
La transizione energetica passa dai gemelli digitali e dai sistemi multi-energia: il progetto COMET 16
Previsioni meteo ed energia: il progetto W4E 17
Monitorare l'impatto energetico dell'Intelligenza Artificiale: il progetto gAIa 18
L'High-Performance Computing per ottimizzare la ricerca di risorse naturali: il progetto HPCalgo 19
Il machine learning al fianco delle simulazioni numeriche per la sostenibilità nel settore Oil & Gas: il progetto ML 20
L'High-Performance Computing per la modellizzazione degli impianti eolici: il progetto WTM. 21
Scenari e prospettive future per l'energia 22
I megatrend globali 22
Decarbonizzazione e transizione energetica 23
Elettrificazione dei consumi 23
Democratizzazione dell'energia e nascita dei *prosumer* 24
Digitalizzazione del settore 24
Resilienza delle infrastrutture critiche 24
Interdipendenze settoriali crescenti 24
I trend tecnologici chiave 25
Smart grid e reti intelligenti 25
Sistemi di accumulo avanzati 25
Internet of Energy 25
Digital Twin 25
Tecnologie per l'idrogeno verde 26
Quantum Computing 26
AI e Machine Learning 27
Edge Computing 27
Blockchain 27
I trend di mercato 28
Crescita delle energie rinnovabili 28
Nuovi modelli di business 28
Mercati energetici in evoluzione 29
Comunità energetiche 29
Mobilità elettrica e Vehicle-to-Grid (V2G) 29

Efficienza energetica 29
Trend geografici 29
Quattro scenari futuri per il settore dell'energia al 2040 31
Tech-Driven Energy Revolution 31
Fragmented Transition 32
Climate Crisis Response 32
Digital Energy Ecosystem 32
Bibliografia 33

Introduzione

Nel luglio 2021, l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) ha annunciato l'emergere di una nuova economia energetica globale, basata su tecnologie pulite e moderne come il solare, l'eolico, i veicoli elettrici e molte altre innovazioni.

Il settore energetico è al centro di una profonda trasformazione globale, guidata dalla necessità di garantire la sostenibilità ambientale, la sicurezza degli approvvigionamenti e la competitività economica.

In Italia, il settore energetico riveste un ruolo strategico non solo per il suo impatto economico, ma anche per la sua capacità di abilitare la transizione verso un modello sostenibile.

La struttura del report comprende quattro sezioni principali:

- Analisi del settore energetico in Europa e in Italia, con una panoramica sulle dinamiche attuali, le sfide e le opportunità specifiche del contesto italiano.
- Use case basati su dati raccolti tramite un questionario dedicato, che offrono una visione concreta sull'adozione dell'IA in diversi contesti aziendali e istituzionali italiani.
- Focus sui progetti della Fondazione ICSC con un'analisi delle iniziative più significative e del loro impatto sul settore.
- Trend e scenari futuri, che delineano le prospettive a lungo termine, evidenziando i principali sviluppi tecnologici, economici e normativi attesi.



Eleonora Barelli
Eleonora.barelli@ifabfoundation.org



Eleonora Ocello
Eleonora.ocello@ifabfoundation.org



Ethel Gallo
Ethel.gallo@ifabfoundation.org

Una prospettiva globale sull'energia del futuro

Il settore dell'energia è da tempo in fermento, e affronta sfide significative per rimodernarsi e transizionare a una fase di sostenibilità economica, sociale, e ambientale. In seguito all'Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici, trattato siglato nel 2015 da 195 Stati membri della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, sono avvenuti progressi significativi e continuativi.

Le policy sull'energia rendono questo settore incrementalmente competitivo e complesso. Il report "Global Energy Perspective 2024" di McKinsey&Company evidenzia che le energie rinnovabili incontreranno gli obiettivi individuati per il 2030 e continueranno a crescere. In generale, le tecnologie a basse emissioni di carbonio sono una delle chiavi per traghettare il panorama globale verso la transizione energetica. L'obiettivo ultimo è di raggiungere il Net Zero: una situazione in cui la differenza tra le emissioni di gas a effetto serra rilasciate in atmosfera e quelle rimosse dall'atmosfera è pari a zero.

Nonostante le innovazioni e i passi avanti, la richiesta di energia rimane globalmente elevata e si prevede che aumenterà del 18% entro il 2050, a causa della crescita della popolazione, dell'impatto delle economie emergenti e delle nuove esigenze del settore industriale. Allo stesso modo, i combustibili fossili continuano a essere una delle principali fonti di energia utilizzate in industria – tanto che soddisferanno ancora tra il 40% e il 60% della necessità di energia entro il 2050. La crescita delle fonti di energia a basse emissioni di carbonio, sebbene continuativa, difficilmente riuscirà a rispondere alla richiesta di energia – portando in ultima battuta a un incremento di 1.5°C delle temperature globali entro il 2050.

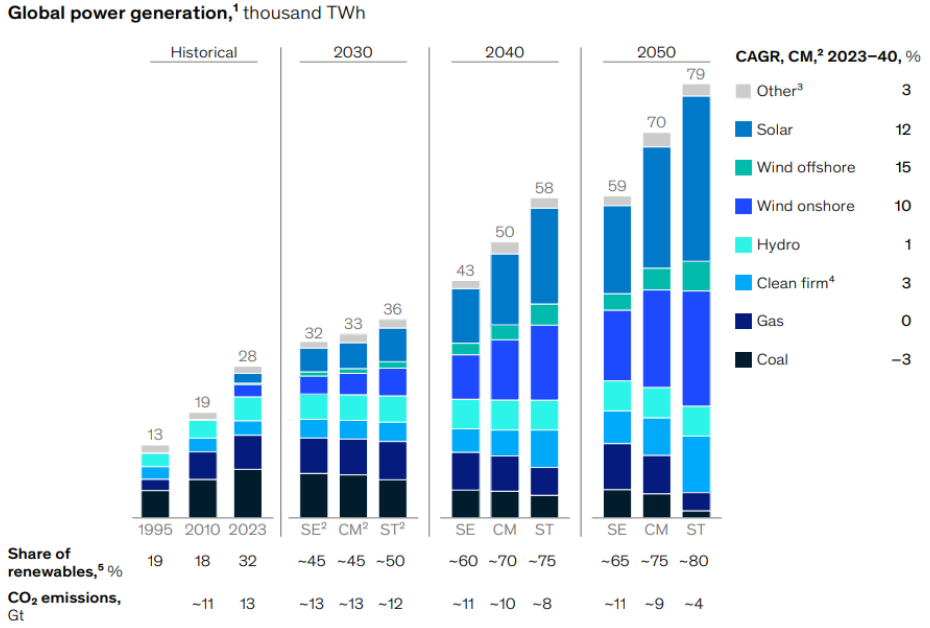


Figura 1. Il futuro della generazione dell'energia a livello globale nei prossimi 20 anni. Source: McKinsey, 2024

È evidente, dunque, che il focus sull'energia rinnovabile e sulla sostenibilità nell'approvvigionamento di energia è un tema caldo e complesso. Se da un lato i combustibili fossili sono ancora centrali al sistema energetico, le energie rinnovabili e a bassa emissione di carbonio hanno una crescita costante, tanto da aspettarsi che rappresentaranno tra il 65% e l'80% della generazione elettrica entro il 2050. La loro crescita è determinata da un mix di fattori: in parte, è influenzata dal basso costo delle materie prime, ma anche dagli incentivi dati dalle policy e dal miglioramento delle tecnologie che permettono di utilizzarle. Come ben esplicato in Figura 1, le energie rinnovabili hanno il potenziale di duplicare nei prossimi 20 anni.

Il futuro dell'energia è dunque dicotomico. Da una parte, l'energia generata da gas fossili rimarrà una componente importante della produzione di energia a livello globale – nonostante sia, eventualmente destinata a declinare in parte (Figura 2). Dall'altra, le fonti di energia rinnovabili stanno lentamente prendendo piede e cominciano a rispondere alle esigenze di comunità e industrie, andando a incontrare gli obiettivi prefissati dalle Nazioni Unite.

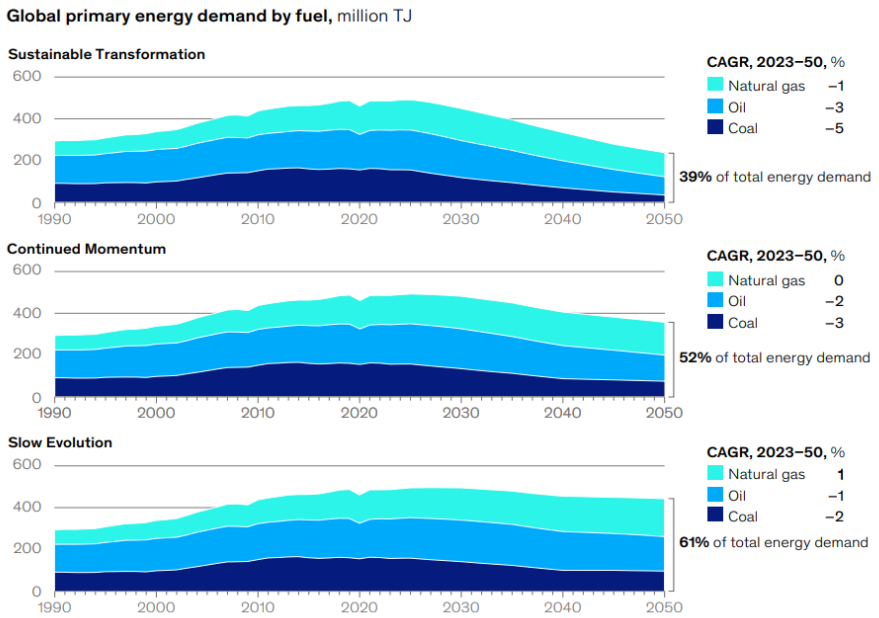


Figura 2. La richiesta di energia da fonti fossili declinerà entro il 2050. Source: McKinsey, 2024

A che punto siamo in Europa?

La Commissione Europea ha rilasciato nel settembre 2024 la relazione "Stato dell'Unione dell'energia 2024". Il report si incentra sui progessi dell'Unione Europea verso un sistema energetico più sicuro, competitivo e sostenibile. L'UE ha tra i suoi obiettivi di realizzare la transizione verso l'energia pulita facendo, allo stesso tempo, fronte a rischi critici per la sicurezza dell'approvigionamento energetico. Allo stesso tempo, l'impegno europeo si è mosso per mantenere sotto controllo il mercato dell'energia, incentivando allo stesso tempo la competitività.

I valori del report sono molto positivi ed evidenziano quanto sia determinante l'importanza che l'Europa assegna alle energie rinnovabili e pulite, e quanto venga investito verso il raggiungimento della neutralità carbonica. Nel primo semestre del 2024, il 50% dell'elettricità nell'UE è stato generato da fonti rinnovabili. L'energia eolica, in particolare, ha superato il gas, diventando la seconda fonte energetica dopo il nucleare. Sul fronte delle emissioni, l'UE ha registrato una riduzione del 32,5% tra il 1990 e il 2022, nonostante nello stesso periodo l'economia sia cresciuta del 67%.

L'Unione Europea si è distinta anche per la sua leadership globale in materia di energie rinnovabili. Durante la COP28, ha guidato iniziative per triplicare la capacità di produzione di energia rinnovabile e raddoppiare i miglioramenti nell'efficienza energetica a livello mondiale, segnando un impegno deciso verso l'abbandono dei combustibili fossili.

Nonostante questi risultati, rimangono sfide significative. Gli obiettivi attuali per le rinnovabili e l'efficienza energetica non sono ancora sufficienti per ridurre le emissioni nette di almeno il 55% entro il 2030. Inoltre, la competitività industriale dell'UE deve essere potenziata per fronteggiare una concorrenza internazionale sempre più intensa. Un altro tema delicato è l'aumento del rischio di povertà energetica, insieme alle disparità nei prezzi dell'energia rispetto ad altri grandi mercati globali.

Per affrontare queste sfide, la Commissione sottolinea la necessità di maggiori investimenti nelle infrastrutture integrate, che sono fondamentali per sostenere l'elettrificazione e la decarbonizzazione dell'economia. Si punta, inoltre, a promuovere tecnologie pulite come l'idrogeno verde, il fotovoltaico e i piccoli reattori modulari. Accanto a ciò, un ruolo centrale sarà svolto dal Fondo sociale per il clima, che dal 2026 al 2032 mobiliterà almeno 86,7 miliardi di euro per supportare ristrutturazioni energetiche, riscaldamento pulito e mobilità sostenibile.

In conclusione, la relazione ribadisce che, nonostante i progressi significativi, l'UE deve affrontare con urgenza nuove sfide per raggiungere gli obiettivi climatici del 2030. Servono politiche ambiziose, investimenti strutturali e un forte coordinamento tra gli Stati membri per consolidare la posizione dell'Europa come leader globale nella transizione energetica.

A che punto siamo in Italia?

Il Rapporto sulle Politiche Energetiche 2023 dell'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA) mette in evidenza i significativi progressi compiuti dall'Italia nella transizione energetica, ma anche le sfide che il Paese deve affrontare per garantire un futuro energetico sostenibile ed efficiente.

L'Italia ha fatto importanti passi avanti nel ridurre la propria dipendenza dal carbone e dai combustibili fossili russi, una dipendenza che in passato ha caratterizzato gran parte del sistema energetico nazionale. Le ambiziose politiche adottate hanno consentito al Paese di ridurre le emissioni di gas serra di quasi il 30% tra il 2005 e il 2020, in linea con gli obiettivi fissati dal Piano Nazionale Energia e Clima (PNIEC). Questo progresso riflette un cambio di priorità verso una transizione energetica orientata all'uso delle fonti rinnovabili.

Storicamente, il gas naturale ha avuto un ruolo centrale nel sistema energetico italiano, rappresentando il 41% del consumo totale nel 2021, con il 94% importato e il 41% proveniente dalla Russia. Tuttavia, i cambiamenti geopolitici e le crescenti preoccupazioni sulla sicurezza energetica hanno spinto l'Italia a ridurre drasticamente la dipendenza dalle importazioni russe, che sono scese al 3% entro la fine del 2022. Questi risultati sono stati resi possibili grazie a investimenti nelle infrastrutture per il gas naturale liquefatto (GNL) e alla diversificazione delle rotte di approvvigionamento.

L'energia rinnovabile ha registrato una significativa crescita, coprendo oltre il 20% del consumo totale di energia nel 2020, superando gli obiettivi europei. Tuttavia, negli ultimi anni l'espansione della capacità rinnovabile ha rallentato a causa di ostacoli normativi e lungaggini burocratiche nei processi di autorizzazione. Per raggiungere gli ambiziosi obiettivi fissati per il 2030 e rispettare il piano REPowerEU, l'Italia deve semplificare le normative e accelerare l'installazione di impianti solari ed eolici.

L'efficienza energetica, in particolare nel settore edilizio, rappresenta un pilastro della strategia energetica italiana. Gli edifici rappresentano circa il 40% del consumo energetico del Paese. Programmi come il Superbonus 110%, che offre incentivi fiscali per le ristrutturazioni energetiche, hanno contribuito a ridurre i consumi. Tuttavia, nonostante abbiano stimolato gli investimenti, questi programmi sono stati criticati per inefficienze, costi elevati e un accesso limitato per le famiglie a basso reddito. Futuri interventi dovranno ottimizzare questi strumenti per renderli più inclusivi e garantire che abbiano un impatto significativo, soprattutto sulle popolazioni vulnerabili.

Nonostante i successi raggiunti, l'Italia deve affrontare diverse sfide. I prezzi dell'energia nel Paese sono tra i più alti in Europa, principalmente a causa delle tasse elevate e della dipendenza dalle importazioni. Questo pone un notevole peso economico sulle famiglie, in particolare quelle a basso reddito, che spendono una quota sproporzionatamente elevata del loro reddito per l'energia. La povertà energetica rimane un problema significativo, colpendo circa l'8% delle famiglie italiane. Le misure di supporto esistenti, sebbene utili, spesso non raggiungono i nuclei familiari più bisognosi, evidenziando la necessità di interventi più mirati.

Le limitazioni infrastrutturali rappresentano un altro ostacolo per gli obiettivi energetici del Paese. I lunghi processi di autorizzazione per i progetti di energie rinnovabili e la modernizzazione delle reti ritardano i progressi cruciali. Allo stesso tempo, l'Italia continua a fornire significativi sussidi ai combustibili fossili, come le riduzioni fiscali sul diesel, che contrastano con gli obiettivi climatici e rallentano la transizione verso fonti di energia più pulite.

Guardando al futuro, l'Italia ha numerose opportunità per accelerare la transizione energetica. È essenziale snellire i processi di autorizzazione e fornire incentivi più forti per i progetti di energia rinnovabile. Un maggiore supporto alle regioni, in particolare per affrontare le disparità tra Nord e Sud Italia nella generazione di energia rinnovabile, contribuirà a creare un sistema energetico più equilibrato. La diversificazione delle importazioni energetiche, l'espansione delle infrastrutture per il GNL e gli investimenti in tecnologie emergenti come l'idrogeno verde e il biometano rafforzeranno la sicurezza energetica e la resilienza del Paese.

Raggiungere la neutralità carbonica entro il 2050 richiederà una trasformazione radicale del sistema energetico italiano. Questo obiettivo comporterà un completo passaggio alle energie rinnovabili, un'elettrificazione diffusa del trasporto e del riscaldamento, e l'integrazione dell'idrogeno nei settori in cui l'elettrificazione non è tecnicamente o economicamente fattibile. Le tecnologie per la cattura e lo stoccaggio del carbonio avranno un ruolo chiave nella gestione delle emissioni residue derivanti dai processi industriali. Programmi come il Superbonus dovranno evolversi per garantire maggiori risparmi energetici, assicurando al contempo che siano accessibili a chi ne ha più bisogno, come le famiglie a basso reddito e gli inquilini delle case popolari.

I progressi compiuti dall'Italia nella transizione energetica sono significativi, ma il percorso futuro richiede sforzi coordinati e riforme strategiche. Affrontando i colli di bottiglia infrastrutturali, eliminando gradualmente i sussidi ai combustibili fossili e promuovendo una maggiore coerenza delle politiche, l'Italia potrà consolidare il suo ruolo di leader nella transizione energetica globale. Allineando questi sforzi con il Green Deal europeo, non solo il Paese raggiungerà i suoi obiettivi nazionali, ma stabilirà anche un esempio per altre nazioni impegnate verso un futuro energetico sostenibile ed equo.

Energia del futuro: quali casi d'uso?

Il settore dell'energia è tra i più delicati e cruciali per il benessere economico, sociale e ambientale del futuro. A livello internazionale, europeo e nazionale diverse realtà politiche si stanno muovendo per affrontare le sfide previste nel migliore dei modi possibile, rispondendo, per quanto possibile, alla richiesta di energia con fonti rinnovabili. Allo stesso tempo, ingenti fondi vengono stanziati per la ricerca e il miglioramento delle tecnologie già esistenti, in ottica di un futuro in cui sarà possibile raggiungere il Net Zero.

Abbiamo mappato alcuni esempi virtuosi di realtà, piccole e grandi, che utilizzano le nuove tecnologie (Big Data, Supercalcolo, Intelligenza Artificiale) per migliorare sistemi di generazione e monitoraggio di energia, in ottica di una sostenibilità presente e futura delle stesse.

Nei paragrafi seguenti, presentiamo alcuni casi d'uso, evidenziando:

- abstract del progetto;
- benefici attesi e/o obiettivi del progetto;
- tecnologia, se presente, utilizzata nel progetto.

Per condividere nuovi casi d'uso, si può compilare il form al seguente link: https://forms.office.com/e/6ZNCp04rUW .

Monitoraggio e Ottimizzazione Energetica

Astreo è una startup che supporta le aziende manifatturiere italiane nel ridurre il consumo energetico e l'impatto ambientale, in piena coerenza con gli obiettivi del Piano di Transizione 5.0. Grazie alla sua soluzione basata su Industrial IoT, Astreo consente di ottimizzare l'efficienza energetica, offrendo un significativo risparmio sui costi in bolletta, stimato fino al 30%.

Attraverso l'utilizzo di sensori IoT progettati e assemblati internamente, l'azienda monitora in modo dettagliato i consumi energetici e le emissioni di carbonio delle singole macchine, contribuendo così a migliorare la sostenibilità operativa e riducendo al contempo l'impatto ambientale.

Astreo si propone di aiutare le aziende a migliorare la sostenibilità e l'efficienza energetica, garantendo una significativa riduzione dei costi operativi e un controllo puntuale delle emissioni di carbonio. La capacità di identificare le inefficienze operative, combinata con l'analisi dei dati, consente alle aziende di ottimizzare l'uso delle risorse.

La piattaforma cloud integrata offre un controllo costante dei parametri energetici attraverso funzionalità avanzate come la generazione automatica di report e alert, migliorando ulteriormente la gestione aziendale e l'impatto ambientale complessivo.

La tecnologia alla base delle soluzioni di Astreo è costituita da sensori IoT progettati internamente, in grado di raccogliere e monitorare i dati relativi ai consumi energetici e allo stato delle macchine in tempo reale. I dati raccolti vengono analizzati attraverso algoritmi avanzati, progettati per identificare inefficienze e suggerire interventi correttivi.

L'interfaccia centralizzata della piattaforma cloud permette di visualizzare le informazioni in modo chiaro e accessibile, generando automaticamente alert e report personalizzati. La soluzione è progettata per essere compatibile con qualsiasi tipo di macchina industriale, grazie a un approccio machine agnostic, ed è caratterizzata da una facile implementazione plug-and-play, che ne semplifica l'adozione anche in contesti complessi.

Astreo®
CONNECTED FUTURE
https://www.astreotech.com/

Monitoraggio e Big Data

Energy Intelligence è un'azienda attiva a livello nazionale che offre servizi e consulenza energetica per enti privati. La sua attività si basa sul controllo e l'analisi dei flussi energetici tramite una piattaforma IoT proprietaria. Nel contesto della transizione energetica, caratterizzata da un numero crescente di attori che immettono energia prodotta da impianti fotovoltaici distribuiti, l'azienda si posiziona come un punto di riferimento per la gestione e l'ottimizzazione dei flussi di energia.

Per affrontare le sfide legate alla contabilizzazione e alla gestione di questi nuovi sistemi, Energy Intelligence necessita di una base dati capace di gestire grandi quantità di dati energetici mantenendo alte prestazioni anche con l'aumentare dei volumi.

L'obiettivo di Energy Intelligence è garantire una gestione efficiente e a lungo termine dei flussi energetici generati dagli impianti fotovoltaici distribuiti sul territorio. Per raggiungere questo scopo, l'azienda sfrutta tecnologie Big Data che consentono di gestire volumi sempre più grandi di dati in modo rapido e affidabile. Questo approccio migliora non solo la capacità di contabilizzare e monitorare i flussi energetici, ma anche le prestazioni dei motori di Intelligenza Artificiale utilizzati per analizzare questi dati. L'adozione di Big Data, infatti, porta vantaggi significativi in termini di accesso, consultazione e analisi dei dati, con un impatto positivo sui prodotti e servizi già operativi.

La piattaforma IoT proprietaria di Energy Intelligence è supportata da un'infrastruttura Big Data avanzata, progettata per gestire grandi flussi di dati energetici in tempo reale. Questa infrastruttura garantisce alte prestazioni, anche in presenza di volumi di dati in rapido aumento, e alimenta i motori di Intelligenza Artificiale dell'azienda. L'integrazione di tecnologie Big Data e AI consente a Energy Intelligence di ottimizzare i processi di monitoraggio e gestione energetica, migliorando l'efficienza operativa e la capacità di innovare nel settore.

Energy intelligence
smart & green solutions

https://www.energyintelligence.it/

IoT per la transizione digitale energetica: come, dove, perché

Le soluzioni IoT rappresentano uno strumento fondamentale per favorire la twin transition, ovvero la sinergia tra transizione digitale e sostenibilità ambientale. Grazie alla capacità di generare risparmio nel breve termine e di innescare percorsi virtuosi su diversi verticali – come energia, manutenzione e salute – queste tecnologie offrono un approccio innovativo e scalabile alla gestione delle risorse.

Smart Domotics, leader nel settore dell'Efficienza Energetica 4.0, si distingue per lo sviluppo di soluzioni Made in Italy che combinano comfort e risparmio energetico. Il sistema Smart-Dom consente il monitoraggio dei consumi energetici e dei parametri ambientali, la raccolta e l'analisi dei dati su una piattaforma cloud, oltre a introdurre automazioni progettate per ottimizzare l'uso dell'energia.

Le soluzioni di Smart Domotics offrono un risparmio energetico concreto e misurabile, garantendo un rapido ritorno sull'investimento. Grazie alla loro flessibilità e semplicità di utilizzo, sono ideali per un'ampia gamma di utenti, dai privati residenziali alle attività commerciali e industriali, fino agli enti pubblici. Queste caratteristiche non solo favoriscono il risparmio energetico immediato, ma aprono la strada a una gestione energetica più sostenibile e integrata su lungo termine.

Smart Domotics integra un sistema IoT avanzato per monitorare e gestire i consumi energetici e i parametri ambientali in tempo reale. I dati raccolti vengono analizzati attraverso una piattaforma cloud proprietaria, progettata per fornire informazioni dettagliate e utili a ottimizzare l'efficienza energetica. Il sistema introduce automazioni intelligenti che ottimizzano i consumi riducendo gli sprechi, il tutto attraverso un design scalabile e non invasivo che si adatta facilmente sia agli edifici nuovi che a quelli già esistenti. Smart Domotics offre una soluzione completa e accessibile che rende la digitalizzazione energetica alla portata di tutte le tipologie di utenti.

SMARTDOMOTICS
easy living

https://www.smartdomotics.it/

Le tecnologie abilitanti per il settore energetico nel Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data e Quantum Computing

Numerosi progetti del Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data e Quantum Computing affrontano temi con impatto sul settore energetico.

Sebbene i progetti siano collocati su più Spoke, il principale riferimento per lo sviluppo di applicazioni di High-Performance Computing e Intelligenza Artificiale all'ambito energetico è lo Spoke 6 di ICSC – Multiscale Modelling & Engineering Applications. Gli obiettivi dello Spoke, coordinato da Fabio Sciarrino (Università di Roma "Sapienza") e Sergio Saponara (Università di Pisa), vanno dalla modellazione multiscala di sistemi cibernetici/fisici complessi che si evolvono su più scale di tempo e spazio, allo sviluppo di modelli, algoritmi e codici in grado di sfruttare le capacità delle risorse di calcolo ad alte prestazioni.

SPOKE 6
Multiscale Modelling
& Engineering Applications

Figura 3. Logo dello Spoke ICSC capofila dei progetti in ambito Energy.

Lo Spoke include competenze nello sviluppo di Digital Twin e di metodologie di progettazione basate su modelli, nonché l'uso di tecniche di simulazione che fanno ampio uso di modelli numerici avanzati implementati presso i principali centri di ricerca attraverso l'uso intensivo di strutture HPC e Big Data.

La caratteristica di questo Spoke è la capacità di affrontare globalmente problemi che abbracciano diverse discipline, coinvolgendo più scale (dalla scala sub-nanoscopica di elettroni e atomi, alla mesoscala e alla macroscala), insiemi di dati eterogenei e di grandi dimensioni e approcci interdisciplinari e multifisici, combinati con la capacità unica di tradurre le tecnologie numeriche e analitiche in applicazioni di diretto interesse e utilizzo per diversi campi scientifici e ingegneristici a livello nazionale e internazionale.

Colmare il divario tra le scale e sviluppare algoritmi e codici in grado di sfruttare la potenza di calcolo delle moderne architetture informatiche rappresentano fattori chiave per lo sviluppo di tecnologie abilitanti in un'enorme varietà di applicazioni ingegneristiche e la promozione di una società basata sulla conoscenza.

Lo Spoke 6 si pone come principale obiettivo principale l'individuazione di una serie di progetti scientifici Flagship: Materiali avanzati e nuovi dispositivi; Analisi dei grandi dati e IA; Fluidodinamica computazionale; Green Energy; Scienza della vita; HPC per sistemi complessi; Sistemi elettromagnetici

Queste attività sono svolte in stretta collaborazione tra Università (Sapienza, UniPI, UniFI, UniPV, UniRomaTV, UniBO, UniCAL, UniMORE, PoliTO, POliMI), centri di ricerca (CNR) e industrie.

Per massimizzare l'impatto delle attività scientifiche e di ricerca relative alle 7 Flagship, i fondi per l'innovazione previsti da ICSC sono stanziati per la realizzazione di proof-of-concept di dimostratori, in risposta alle esigenze e sfide provenienti dalle principali aziende dell'ecosistema industriale italiano: ThalesAlenia Space, Leonardo, Terna, Ficantieri, Autostrade per l'Italia, Ferrovie dello Stato, ENI, Engineering. Anche le piccole e medie imprese e le associazioni sono coinvolte attraverso la fondazione IFAB.

I fondi per l'innovazione sono stati destinati allo sviluppo di progetti in diversi ambiti: Predictive Health Management (PHM) basato sull'AI per infrastrutture mission-critical (satelliti spaziali, veicoli aerei, generazione di turbomacchine ad energia verde, strade intelligenti e sistema di trasporto ferroviario,...); Digital Twin di motori a propulsione verde, di parchi di turbine eoliche per la generazione di energia rinnovabile e di veicoli marini subacquei; HPC e AI per sistemi di costellazioni spaziali distribuite per l'osservazione della terra e per la simulazione e l'ottimizzazione di infrastrutture energetiche e critiche, nonché di reti complesse.

In questo report presentiamo alcuni progetti, finanziati da ICSC, che stanno venendo realizzati in partnership tra le aziende, le università e gli istituti di ricerca afferenti al Centro Nazionale. Ne riassumiamo gli obiettivi e il concept alla base, dando anche una vista su come la piattaforma abilitante del Centro Nazionale sia un punto di partenza per progetti così diversi ma accomunati dalla necessità di individuare solide fonti di dati, forme di raccolta e analisi di dati, di costruire modelli basati su questi dati e dall'effettuare analisi che ne valorizzino la quantità e varietà, con un impatto trasformativo sul settore energetico.

La transizione energetica passa dai gemelli digitali e dai sistemi multi-energia: il progetto COMET

La transizione energetica rappresenta una sfida cruciale per il settore energetico, richiedendo un cambiamento paradigmatico che coinvolga diversi attori e affronti questioni complesse come regolamentazioni, driver economici e aspetti socio-ambientali.

In questo contesto, il progetto Co-simulation of Multi-energy systems for Energy Transition (COMET), coordinato da Eni in collaborazione con il Politecnico di Milano e il Politecnico di Torino entro lo Spoke 6, si pone come obiettivo lo sviluppo di una piattaforma innovativa di co-simulazione basata su gemelli digitali per supportare il design, lo sviluppo e la validazione di nuove soluzioni e tecnologie per i sistemi multi-energia (Multi-Energy Systems - MES).

I MES rappresentano un elemento chiave per migliorare l'efficienza energetica, integrando la produzione, distribuzione, accumulo e conversione di energia tra diversi vettori. Tuttavia, la loro complessità intrinseca richiede strumenti avanzati per la loro analisi e ottimizzazione.

COMET affronta questa sfida proponendo una piattaforma che consente la creazione di rappresentazioni virtuali del mondo reale, combinando modelli di simulazione per analizzare il sistema da diverse prospettive (distribuzione energetica, ICT, aspetti finanziari e normativi) e su scale spazio-temporali multiple, dal livello di singole abitazioni fino a intere città.

La piattaforma COMET sarà particolarmente utile per una vasta gamma di attori del settore energetico: operatori di reti di distribuzione, aggregatori di risorse energetiche, amministratori pubblici, decisori politici, energy manager e comunità energetiche. Questi ultimi, in particolare, rappresentano una nuova figura emergente che punta all'adozione di fonti rinnovabili e sistemi di accumulo, per favorire l'autoproduzione e il consumo locale di energia, promuovendo mercati peer-to-peer.

Il progetto non solo contribuirà a migliorare la gestione energetica e a ridurre le emissioni di carbonio, ma fornirà anche un framework concettuale solido per affrontare le sfide della transizione energetica, offrendo soluzioni innovative e sostenibili per il futuro dell'energia.

eni

Politecnico di Torino

POLITECNICO MILANO 1863

Previsioni meteo ed energia: il progetto W4E

Il legame tra previsioni meteorologiche e settori come l'energia e le infrastrutture è sempre più centrale, poiché le condizioni climatiche influenzano significativamente la produzione e la distribuzione energetica e lo stress sulle reti infrastrutturali. Tuttavia, l'interpretazione qualitativa e quantitativa degli impatti downstream legati al clima è ancora lontana dall'essere ideale.

Il progetto W4E - Weather 4 Energy & Infrastructure, coordinato da IFAB in collaborazione con Illumia e supportato da partner di spicco come Autostrade, CNR, Cineca, ENEA, ENI, Engineering, Politecnico di Bari, Terna e Università di Firenze, si propone di colmare questo divario attraverso lo sviluppo di un framework innovativo per previsioni meteorologiche accurate e proiezioni climatiche avanzate. Il progetto è collocato entro lo Spoke 0 in collaborazione con Spoke 4 e 5 di ICSC.

Il progetto si concentra sulla generazione di dati dettagliati, come la produzione di energia eolica o fotovoltaica in specifici siti, la variazione dell'ampacità delle linee elettriche in Italia e scenari futuri che simulano gli stress sulla rete di asset stradali ed energetici. Grazie alla collaborazione con esperti di modellistica e simulazione, il consorzio implementerà tecniche statistiche avanzate e flessibili per creare strumenti quantitativi ad alta precisione.

I prodotti finali di W4E avranno un alto livello di maturità tecnologica, permettendo agli stakeholder di utilizzarli in modalità semi-operativa. Questi strumenti saranno inoltre scalabili e adattabili a diversi casi d'uso e settori, garantendo un impatto duraturo e la possibilità di ulteriori miglioramenti futuri. Gli effetti attesi sul sistema infrastrutturale italiano sono molteplici, tra cui una migliore gestione delle reti energetiche e stradali, una maggiore resilienza alle condizioni climatiche estreme e un supporto decisionale basato su dati affidabili e aggiornati.

Monitorare l'impatto energetico dell'Intelligenza Artificiale: il progetto gAIa

L'intelligenza artificiale è ormai una componente imprescindibile di molte applicazioni innovative, ma il suo impatto ambientale rappresenta una sfida cruciale. Le soluzioni di AI, infatti, richiedono significative risorse computazionali che si traducono in un elevato consumo energetico e, di conseguenza, in notevoli emissioni di CO2.

Il progetto gAIa - Green AI Application, coordinato da Intesa San Paolo in collaborazione con il Politecnico di Torino, si pone l'obiettivo di affrontare questa problematica sviluppando strumenti per valutare l'impatto ambientale delle applicazioni basate su AI. Il progetto è condotto entro le attività di Spoke 1.

L'idea alla base del progetto è creare metodologie e tool in grado di fornire una stima affidabile e realistica del consumo energetico delle soluzioni AI, rappresentando così il punto di partenza per implementare approcci di Green AI. Tali strumenti saranno fondamentali per aiutare sviluppatori e aziende a comprendere e ridurre l'impronta ambientale delle loro applicazioni, in linea con le raccomandazioni della Commissione Europea volte a governare e abbattere le emissioni di CO2 legate agli asset software.

gAIa non solo promuove l'adozione di pratiche più sostenibili nel settore tecnologico, ma si allinea anche alle esigenze di innovazione responsabile, fornendo un contributo essenziale alla transizione energetica e alla costruzione di un futuro digitale più verde.

INTESA SANPAOLO

Politecnico di Torino
1859

L'High-Performance Computing per ottimizzare la ricerca di risorse naturali: il progetto HPCalgo

Le sfide di ottimizzazione su larga scala sono onnipresenti nel settore dell'energia, sia per la complessità matematica intrinseca che per l'enorme scala dei dati da processare.

Il progetto HPCalgo, coordinato da ENI entro lo Spoke 6 in collaborazione con il dipartimento di Fisica della Sapienza Università di Roma, mira a sviluppare algoritmi di ottimizzazione avanzati e adatti ad essere eseguiti con High-Performance Computing, in grado di affrontare i principali colli di bottiglia delle soluzioni attuali.

Un caso emblematico sono i problemi inversi utilizzati nella ricerca di risorse naturali, come metalli, che comportano l'ottimizzazione non convessa di dati gravitazionali e magnetici su un dominio geospaziale di milioni di voxel. Allo stesso tempo, problemi logistici, come il Vehicle Routing Problem (VRP) con vincoli complessi, rientrano nella classe degli NP-hard, richiedendo un approccio computazionale sofisticato.

HPCalgo sfrutta tecniche avanzate derivate dallo studio di sistemi fortemente disordinati, come i vetri di spin. Tra queste, si includono metodi di Monte Carlo avanzati con mosse a cluster e repliche parallele, nonché algoritmi di message-passing per calcolare probabilità marginali in distribuzioni di probabilità complesse. La sinergia tra l'esperienza industriale di ENI e l'eccellenza accademica della Sapienza garantisce un approccio innovativo e complementare, con il potenziale per rivoluzionare il settore.

Questo progetto rappresenta un passo avanti significativo per risolvere problemi critici nel settore energetico, ottimizzando processi chiave e affrontando sfide di grande scala con un'efficienza senza precedenti. HPCalgo non solo migliorerà la competitività industriale, ma fornirà strumenti decisivi per affrontare problemi complessi in maniera sostenibile e scalabile.

eni

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Il machine learning al fianco delle simulazioni numeriche per la sostenibilità nel settore Oil & Gas: il progetto ML

La gestione sostenibile delle risorse naturali richiede strumenti innovativi per ottimizzare le simulazioni numeriche e migliorare le capacità previsionali.

Il progetto ML - Blending Machine Learning with advanced numerical simulations, coordinato entro Spoke 2 da ENI in collaborazione con l'INFN e l'Università di Trieste, si propone di integrare tecniche di Machine Learning con simulazioni numeriche avanzate per affrontare le complessità della modellizzazione dei flussi nel sottosuolo e delle prestazioni delle infrastrutture di superficie.

Tradizionalmente, i simulatori basati su modelli fisici, come quelli per i flussi nei mezzi porosi, richiedono tempi di costruzione e simulazione estremamente lunghi, rendendo difficile esplorare scenari multipli e gestire le incertezze. D'altra parte, l'enorme quantità di dati raccolti da sensori e strumenti nei giacimenti spesso non viene sfruttata adeguatamente per velocizzare e migliorare le simulazioni.

Il progetto punta a superare queste limitazioni implementando algoritmi di Physics Informed Machine Learning (PIML), una metodologia innovativa che combina il potenziale predittivo delle reti neurali con le leggi fisiche descritte da equazioni differenziali non lineari. I PIML possono essere applicati sia a problemi di previsione (forward problem), per stimare l'evoluzione temporale di una quantità di interesse, sia a problemi inversi (inverse problem), per calibrare i parametri di modelli complessi sulla base dei dati osservati.

I vantaggi attesi includono:

- Previsioni più rapide e accurate per i giacimenti e la produzione.
- Miglioramento nel processo di calibrazione dei modelli, riducendo tempi e costi computazionali.
- Sviluppo di strumenti generalizzabili e predittivi per una gestione più sostenibile delle risorse naturali.

Grazie alla sinergia tra competenze industriali e accademiche, ML rappresenta un passo avanti verso l'integrazione di tecnologie avanzate nella transizione energetica, contribuendo a ottimizzare l'estrazione delle risorse in modo più efficiente e responsabile.

eni

INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

L'High-Performance Computing per la modellizzazione degli impianti eolici: il progetto WTM

La transizione verso fonti energetiche rinnovabili richiede soluzioni innovative per ottimizzare la gestione e la manutenzione degli impianti eolici.

Il progetto WTM - HPC-scale wind turbine modelling and simulation for maintenance and forecasting, coordinato entro Spoke 6 da Eni in collaborazione con il CNR e la Sapienza Università di Roma, si pone l'obiettivo di sviluppare tecnologie avanzate per la simulazione dell'energia eolica basate su modelli multiscala e multiphysics, sfruttando la potenza del calcolo ad alte prestazioni.

Il progetto affronta tre temi principali per migliorare le operazioni e la manutenzione (O&M) degli asset eolici:

1. Modellizzazione dell'erosione delle pale: sviluppare modelli predittivi per stimare la perdita di produzione energetica dovuta al degrado delle pale delle turbine.
2. Previsione della produzione di energia degli impianti eolici: utilizzare simulazioni avanzate per migliorare l'accuratezza delle previsioni, ottimizzando così l'integrazione dell'energia eolica nella rete elettrica.
3. Monitoraggio basato su intelligenza artificiale: implementare algoritmi di AI per il monitoraggio dello stato di salute delle flotte di turbine eoliche, permettendo una manutenzione condizionata e riducendo i tempi di inattività.

WTM integra l'esperienza di gruppi di ricerca accademici e industriali leader nel settore, unendo modellizzazione fisica avanzata e tecnologie digitali per affrontare le sfide della manutenzione e della previsione energetica in modo efficiente e sostenibile.

eni

Consiglio Nazionale delle Ricerche

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

Scenari e prospettive future per l'energia

In questo capitolo esploreremo le possibili traiettorie evolutive del settore energetico nei prossimi decenni. Partiremo dall'analisi dei megatrend globali che stanno plasmando il futuro dell'energia: dalla decarbonizzazione alla digitalizzazione, dall'elettrificazione dei consumi alla crescente importanza della resilienza delle infrastrutture critiche.

Esamineremo poi i principali trend tecnologici che stanno emergendo, dalle smart grid all'Internet of Energy, dal quantum computing all'intelligenza artificiale, valutandone il potenziale impatto sul settore. Particolare attenzione sarà dedicata alle dinamiche di mercato, con l'emergere di nuovi modelli di business e la trasformazione di quelli esistenti.

Infine, attraverso l'analisi degli scenari, esploreremo possibili futuri alternativi per il settore energetico, considerando l'interazione tra fattori tecnologici, economici, sociali e geopolitici. Questa analisi fornirà elementi utili per orientare le scelte strategiche degli attori del settore e le politiche pubbliche necessarie per gestire questa complessa transizione.

La comprensione di queste dinamiche è fondamentale non solo per gli operatori del settore energetico, ma per tutti gli attori economici e sociali, dato il ruolo cruciale dell'energia nella transizione verso un'economia sostenibile e digitalizzata.

I megatrend globali

Il settore energetico sta attraversando una fase di profonda trasformazione, guidata da diversi megatrend che ne stanno ridisegnando la struttura e le dinamiche a livello globale. Questi megatrend, che andremo ad elencare e descrivere in questa sezione, non operano in modo isolato ma sono profondamente interconnessi, creando dinamiche complesse che stanno ridefinendo il futuro del settore energetico. La loro evoluzione sarà fortemente influenzata dalle scelte politiche e regolamentari, dal progresso tecnologico e dalle dinamiche di mercato, delineando diversi possibili scenari di sviluppo che esploreremo nelle sezioni successive.

Focus: Parole di Futuro

Cos'è un Megatrend?

I megatrend sono grandi forze trasformative che hanno un impatto profondo e duraturo sulla società, l'economia, l'ambiente e la tecnologia. Sono tendenze di lungo periodo (tipicamente decenni) che influenzano significativamente molteplici aspetti della vita umana e dei sistemi economici.
Le caratteristiche principali dei megatrend sono:

- Durata pluridecennale
- Impatto globale o su vaste aree geografiche
- Effetti trasversali su più settori e ambiti
- Capacità di modificare strutturalmente comportamenti e sistemi

Decarbonizzazione e transizione energetica

La necessità di contrastare il cambiamento climatico sta accelerando la transizione verso un sistema energetico a basse emissioni di carbonio. Questo processo comporta non solo la progressiva sostituzione delle fonti fossili con quelle rinnovabili, ma anche una profonda trasformazione dei modelli di produzione e consumo dell'energia. L'Agenzia Internazionale dell'Energia, nel suo report Net Zero by 2050, prevede, come mostrato in Figura 4, che entro il 2050 il 90% della produzione elettrica globale dovrà provenire da fonti rinnovabili per raggiungere gli obiettivi climatici (il 70% sarà fornita da energia solare e eolica, come mostrato in Figura 5). Questa transizione richiede investimenti massicci in nuove tecnologie e infrastrutture, stimati in oltre 4 trilioni di dollari all'anno fino al 2030.

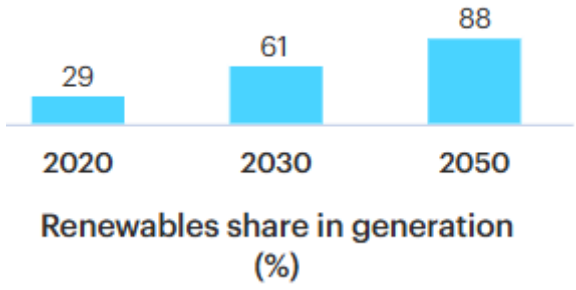


Figura 4. Quota di energia di tipo rinnovabile nella produzione di elettricità (%) (credits: International Energy Agency)

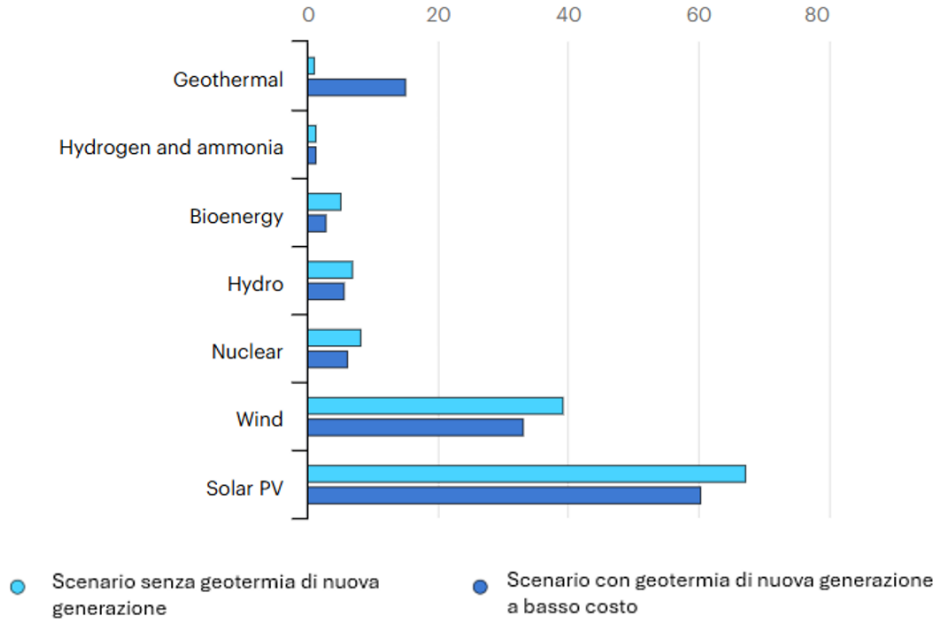


Figura 5. Quota globale della crescita totale nella generazione di elettricità per tecnologia, 2023-2050. (credits. International Energy Agency)

Elettrificazione dei consumi

Un secondo megatrend è rappresentato dalla crescente elettrificazione dei consumi finali di energia, che sta interessando settori chiave come i trasporti, il riscaldamento degli edifici e i processi industriali. La diffusione dei veicoli elettrici, delle pompe di calore e dei processi industriali elettrificati sta modificando radicalmente i pattern di consumo elettrico, richiedendo reti più

flessibili e intelligenti. Si prevede che la domanda di elettricità raddoppierà entro il 2050, arrivando a rappresentare oltre il 50% dei consumi finali di energia.

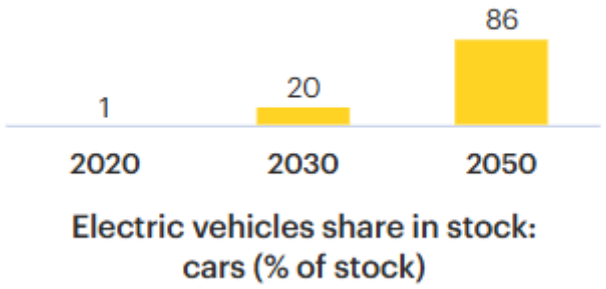
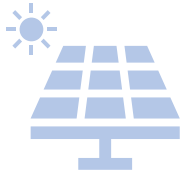


Figura 6. Quota di automobili elettriche sul totale del parco veicoli (%). (credits: International Energy Agency)

Democratizzazione dell'energia e nascita dei *prosumer*



Il sistema energetico sta evolvendo da un modello centralizzato verso uno distribuito, in cui i consumatori diventano anche produttori (prosumer). La diffusione del fotovoltaico residenziale, dei sistemi di accumulo domestici e delle comunità energetiche sta creando nuovi attori e nuove dinamiche di mercato. Questo processo di democratizzazione dell'energia è abilitato dalle tecnologie digitali e sta portando alla nascita di nuovi modelli di business e di governance del sistema energetico.

Digitalizzazione del settore



La trasformazione digitale sta investendo l'intero settore energetico, dalla generazione alla distribuzione fino al consumo. L'adozione di tecnologie come IoT, big data, intelligenza artificiale e blockchain sta permettendo una gestione più efficiente e intelligente dell'energia, abilitando nuovi servizi e ottimizzando l'uso delle risorse. Si stima che gli investimenti in digitalizzazione nel settore energetico raggiungeranno i 200 miliardi di dollari all'anno entro il 2030.

Resilienza delle infrastrutture critiche



La crescente frequenza di eventi climatici estremi, unita alle nuove minacce cyber, sta ponendo al centro dell'attenzione il tema della resilienza delle infrastrutture energetiche. La necessità di garantire la continuità e la sicurezza delle forniture energetiche sta guidando investimenti significativi nell'ammodernamento e nel rafforzamento delle reti e degli impianti, con particolare attenzione alla cybersecurity e alla capacità di resistere e recuperare da eventi disruptive.

Interdipendenze settoriali crescenti



La transizione energetica sta inoltre creando crescenti interdipendenze tra settori tradizionalmente separati. L'integrazione tra reti elettriche, gas e termiche (sector coupling), la convergenza tra energia e mobilità (e-mobility) e le

sinergie con il settore digitale stanno creando nuove opportunità ma anche nuove complessità da gestire. Questa crescente interconnessione richiede approcci sistemici e nuove forme di collaborazione tra attori diversi.

I trend tecnologici chiave

Come abbiamo avuto modo di esplorare nella sezione dedicata agli use case e ai progetti sviluppati entro il Centro Nazionale in Supercalcolo, l'evoluzione del settore energetico è fortemente guidata dall'innovazione tecnologica. Analizziamo ora i principali trend tecnologici che stanno plasmando il futuro dell'energia.

Smart grid e reti intelligenti

Le reti intelligenti rappresentano l'evoluzione delle tradizionali reti elettriche. Secondo Bloomberg NEF, gli investimenti globali in smart grid raggiungeranno i 226 miliardi di dollari entro il 2025, con un CAGR del 10.6%. Le tecnologie chiave includono sistemi avanzati di misurazione, automazione della distribuzione, sistemi di gestione della domanda, tecnologie per il bilanciamento in tempo reale.

Il World Economic Forum stima che la digitalizzazione delle reti elettriche potrà generare un valore di oltre 1.3 trilioni di dollari entro il 2030 attraverso una maggiore efficienza operativa e una migliore integrazione delle rinnovabili.

Sistemi di accumulo avanzati

Lo storage energetico è fondamentale per gestire l'intermittenza delle rinnovabili. IEA prevede che la capacità globale di accumulo crescerà dai 17 GW del 2019 a 585 GW nel 2030. I principali sviluppi includono batterie al litio di nuova generazione, storage a lunga durata, accumulo termico, power-to-X technologies.

Internet of Energy

L'applicazione dell'IoT al settore energetico sta creando l'Internet of Energy. Secondo McKinsey, il numero di dispositivi IoT connessi nel settore energetico supererà i 1.3 miliardi entro il 2025. Le applicazioni principali riguardano il monitoraggio in tempo reale degli asset, l'ottimizzazione dei consumi, la manutenzione predittiva, la gestione della generazione distribuita.

Digital Twin

I gemelli digitali possono replicare virtualmente diverse componenti del sistema energetico: dagli impianti di generazione come centrali elettriche e parchi eolici, alle reti di trasmissione e distribuzione, fino alle sottostazioni elettriche e ai singoli asset come turbine o trasformatori. La loro potenza risiede nella capacità di integrare molteplici fonti di dati in un unico modello dinamico: dati di progettazione e ingegneria, informazioni operative in tempo reale provenienti dai sensori, storico delle performance, modelli tridimensionali e parametri ambientali

si fondono per creare una rappresentazione accurata e interattiva del sistema fisico.

Focus: Parole di Tecnologia

Cos'è un Digital Twin?

Il digital twin, o gemello digitale, rappresenta una replica virtuale dinamica di un oggetto, processo o sistema fisico che permette di simularne e monitorarne il comportamento nel mondo reale.

I benefici di questa tecnologia sono significativi. Sul fronte operativo, i gemelli digitali permettono un monitoraggio continuo delle performance e l'identificazione precoce di potenziali problemi, consentendo di ottimizzare i parametri di funzionamento in tempo reale. La manutenzione diventa predittiva: analizzando i pattern dei dati, è possibile prevedere potenziali guasti prima che si verifichino e pianificare gli interventi nel momento più opportuno, riducendo significativamente i costosi tempi di fermo.

La capacità di simulazione rappresenta un altro vantaggio chiave: i gestori possono testare diverse configurazioni e valutare l'impatto di potenziali modifiche in un ambiente virtuale sicuro, mentre il personale può essere addestrato senza rischi per le operazioni reali. Sul fronte strategico, i gemelli digitali supportano la pianificazione degli investimenti, permettendo di valutare accuratamente il ciclo di vita degli asset e ottimizzare il portfolio di investimenti sulla base di analisi dettagliate costi-benefici.

L'importanza di questa tecnologia è testimoniata dalle previsioni di Gartner, secondo cui il 75% delle utility adotterà digital twin entro il 2025. Questa diffusione massiccia sta rendendo i gemelli digitali una componente fondamentale nella trasformazione digitale del settore energetico, abilitando una gestione più intelligente, efficiente e sostenibile delle infrastrutture energetiche.

Le applicazioni chiave includono simulazione di scenari operativi, ottimizzazione della manutenzione, training del personale, pianificazione degli investimenti.

Tecnologie per l'idrogeno verde

L'idrogeno verde è considerato cruciale per la decarbonizzazione. IEA stima che la capacità di elettrolisi necessaria per la produzione di idrogeno verde dovrà crescere dagli attuali 0.3 GW a 850 GW entro il 2030. Le innovazioni chiave riguardano elettrolizzatori avanzati, sistemi di stoccaggio e trasporto, fuel cell di nuova generazione, integrazione con rinnovabili.

Quantum Computing

Il quantum computing promette di rivoluzionare diversi aspetti del settore energetico. IBM stima che entro il 2025 i computer quantistici potranno risolvere problemi complessi di ottimizzazione delle reti elettriche. Le applicazioni più

promettenti includono l'ottimizzazione delle reti, la previsione dei mercati energetici, la simulazione di nuovi materiali.

AI e Machine Learning

L'intelligenza artificiale sta trasformando numerosi aspetti del settore energetico. Secondo PWC, l'AI nel settore energia varrà oltre 18 miliardi di dollari entro il 2025. Le principali applicazioni includono: previsione di produzione e domanda, manutenzione predittiva, ottimizzazione dei consumi, trading algoritmico.

Edge Computing

L'edge computing sta diventando cruciale per gestire la crescente complessità delle reti energetiche.

Focus: Parole di Tecnologia

Cos'è l'Edge Computing?

L'Edge Computing è un paradigma tecnologico che consiste nell'elaborare i dati il più vicino possibile alla fonte che li genera, cioè "al bordo" (edge) della rete, anziché trasmetterli a un data center o a un cloud centralizzato per l'elaborazione.

Gartner prevede che il 75% dei dati del settore energetico sarà processato all'edge entro il 2025. I benefici principali sono la riduzione della latenza, una maggiore sicurezza, lottimizzazione della banda e la gestione locale dei sistemi.

Blockchain

Nel settore energetico, questa tecnologia sta aprendo nuove possibilità per la gestione e lo scambio di energia in sistemi sempre più decentralizzati.

Focus: Parole di Tecnologia

Cos'è la Blockchain?

La blockchain è una tecnologia di registro distribuito che permette di registrare e tracciare transazioni in modo sicuro, trasparente e immutabile, senza la necessità di intermediari centrali.
Il principio di funzionamento si basa su una catena di blocchi di informazioni, dove ogni blocco contiene un insieme di transazioni ed è collegato crittograficamente ai blocchi precedenti. Una volta che una transazione viene registrata e validata dalla rete, non può essere modificata senza lasciare traccia, garantendo così un elevato livello di sicurezza e affidabilità.

Il trading peer-to-peer di energia rappresenta forse l'utilizzo più promettente della tecnologia blockchain in ambito energetico: i prosumer (produttori-consumatori) possono scambiare direttamente energia all'interno di comunità energetiche locali, con transazioni automatizzate attraverso smart contract.

Secondo Energy Web Foundation, questi sistemi potrebbero gestire oltre il 15% degli scambi di energia rinnovabile entro il 2030. La certificazione dell'origine dell'energia rinnovabile è un'altra applicazione significativa. La blockchain permette di tracciare in modo trasparente e verificabile la produzione e il consumo di energia verde, eliminando il rischio di double-counting e rendendo più efficiente il mercato dei certificati verdi. Aziende come Iberdrola e Shell stanno già utilizzando questa tecnologia per certificare l'origine rinnovabile dell'energia.

La gestione delle comunità energetiche rappresenta un altro ambito di applicazione promettente. La blockchain può automatizzare la gestione dei flussi energetici, la ripartizione dei costi e dei benefici tra i membri, e la contabilizzazione delle transazioni, rendendo più efficiente l'operatività delle energy communities. In Europa, progetti pilota hanno dimostrato riduzioni dei costi amministrativi fino al 30%.

Tuttavia, la tecnologia presenta ancora alcune sfide da superare. Il consumo energetico associato ad alcuni protocolli blockchain resta significativo, anche se nuovi algoritmi di consenso stanno riducendo questo impatto. La scalabilità delle soluzioni e l'interoperabilità tra diverse piattaforme sono altri aspetti critici su cui il settore sta lavorando. Nonostante queste sfide, gli investimenti in soluzioni blockchain per il settore energia continuano a crescere. IDC prevede che il mercato raggiungerà i 3.4 miliardi di dollari entro il 2025, trainato dalla crescente domanda di soluzioni per la gestione decentralizzata dell'energia e la tracciabilità delle transazioni energetiche.

La tecnologia blockchain trova crescenti applicazioni nel settore energetico. IDC prevede che gli investimenti in blockchain nel settore energia raggiungeranno i 3.4 miliardi di dollari entro il 2025. Le applicazioni principali includono: trading peer-to-peer di energia, certificazione delle rinnovabili, gestione delle comunità energetiche, tracciabilità delle emissioni.

I trend di mercato

Il mercato dell'energia sta attraversando una profonda trasformazione, guidata da nuovi modelli di business, cambiamenti nella domanda e innovazione tecnologica.

Crescita delle energie rinnovabili

Il mercato dell'energia sta vivendo una profonda trasformazione, guidata dalla convergenza di innovazione tecnologica e nuovi modelli di consumo. Nel 2023, secondo il rapporto "Global Trends in Renewable Energy Investment" di BloombergNEF, gli investimenti globali in energia pulita hanno superato i 1.8 trilioni di dollari, segnando un incremento del 17% rispetto all'anno precedente. Questa crescita è trainata principalmente dal settore delle rinnovabili, con il solare fotovoltaico in prima linea.

Nuovi modelli di business

La trasformazione del mercato si manifesta anche attraverso l'emergere di nuovi modelli di business.

L'Energy-as-a-Service (EaaS) sta ridefinendo il modo in cui le aziende accedono ai servizi energetici. Secondo un recente studio di MarketsandMarkets, questo segmento raggiungerà gli 86.9 miliardi di dollari entro il 2027, con una crescita annua del 10.3%. Le aziende stanno passando dall'acquisto diretto di energia a soluzioni integrate che includono efficienza energetica, ottimizzazione dei consumi e gestione degli asset.

Mercati energetici in evoluzione

Parallelamente, si sta assistendo a una profonda evoluzione dei mercati energetici tradizionali. L'introduzione di prezzi dinamici in tempo reale e lo sviluppo di mercati della flessibilità stanno creando nuove opportunità per gli operatori. Grand View Research stima che il solo mercato del demand response raggiungerà i 24.7 miliardi di dollari entro il 2028, testimoniando la crescente importanza della gestione attiva della domanda.

Comunità energetiche

Le comunità energetiche rappresentano un altro trend significativo. La Commissione Europea prevede che entro il 2030 le energy communities coinvolgeranno 50 milioni di cittadini, catalizzando investimenti per 22.5 miliardi di euro. Questo fenomeno sta ridefinendo il ruolo dei consumatori, trasformandoli in attori attivi del sistema energetico.

Mobilità elettrica e Vehicle-to-Grid (V2G)

L'integrazione tra settore energetico e mobilità elettrica sta creando nuove opportunità di mercato. L'International Energy Agency prevede 145 milioni di veicoli elettrici in circolazione entro il 2030, con profonde implicazioni per il sistema energetico. Il mercato del Vehicle-to-Grid (V2G), secondo Precedence Research, raggiungerà i 17.4 miliardi di dollari entro il 2027, evidenziando le potenzialità dell'integrazione tra mobilità e rete elettrica.

Efficienza energetica

L'efficienza energetica continua a rappresentare un mercato in forte crescita. Grand View Research valuta il mercato globale dei servizi di efficienza energetica in 103 miliardi di dollari nel 2023, con una crescita annua prevista dell'8.1% fino al 2030. Questo trend è supportato da politiche pubbliche sempre più stringenti e dalla crescente consapevolezza ambientale delle imprese.

Trend geografici

Si osservano dinamiche differenziate tra le diverse aree geografiche, come riassunto in Figura 7.

La regione Asia-Pacifico si conferma leader negli investimenti in energia pulita, con oltre 500 miliardi di dollari investiti nel 2023 secondo Bloomberg NEF. La Cina domina questo trend con il suo 14° Piano Quinquennale (2021-2025) che prevede 3.3 trilioni di yuan di investimenti in reti elettriche e un target di 1.200 GW di capacità rinnovabile entro il 2030. L'India ha lanciato l'ambizioso National

Green Hydrogen Mission con un budget di 2.3 miliardi di dollari, puntando a diventare hub globale per la produzione di idrogeno verde. La rapida crescita della domanda energetica nella regione - secondo l'IEA +3.5% annuo fino al 2030 - sta guidando massicci investimenti in infrastrutture. Il Giappone, con la sua Green Growth Strategy, sta puntando su tecnologie innovative come l'accumulo di energia a lunga durata e le smart grid di nuova generazione.

L'Europa sta guidando la transizione energetica globale attraverso il Green Deal e il pacchetto "Fit for 55", che mira a ridurre le emissioni del 55% entro il 2030. Il REPowerEU ha accelerato ulteriormente questo processo, stanziando 210 miliardi di euro per affrancarsi dalle importazioni di energia russa e accelerare la transizione verde. L'Unione dell'Energia sta promuovendo l'integrazione dei mercati elettrici europei, con progetti come il Market Coupling del giorno prima che ora copre 27 paesi. Il nuovo regolamento TEN-E sta ridisegnando le infrastrutture energetiche trans-europee, con 30 miliardi di investimenti pianificati in progetti di interesse comune.

Negli Stati Uniti, l'Inflation Reduction Act del 2022 ha stanziato 369 miliardi di dollari per energia pulita e clima, il più grande investimento climatico nella storia americana. Gli incentivi fiscali per rinnovabili, storage e veicoli elettrici stanno catalizzando massicci investimenti privati: secondo la Federal Reserve, nel 2023 gli investimenti in manufacturing di tecnologie pulite hanno superato i 100 miliardi di dollari. Rimanendo nel NordAmerica, Il Canada sta perseguendo la sua Net Zero Strategy attraverso strumenti come il carbon pricing federale (in crescita a 170 CAD/tonnellata entro 2030) e il Clean Electricity Regulations che mira a una rete elettrica a zero emissioni entro il 2035.



Figura 7. Trend geografici per il settore energetico (credits: Osservatorio sulle tendenze e le applicazioni del Supercalcolo).

Sebbene l'Asia, il Nord America e l'Europa si confermino i tre blocchi più rilevanti in termini di investimenti e azione, non possiamo dimenticare di mezionare le politiche intraprese in America Latina e Africa.

L'America Latina sta emergendo come leader nelle rinnovabili, con il Brasile che punta a raggiungere l'85% di elettricità rinnovabile entro il 2030. Il Cile sta guidando l'innovazione con la sua National Green Hydrogen Strategy, mirando a produrre il più economico idrogeno verde al mondo entro il 2030.

L'Africa invece sta affrontando la duplice sfida di garantire l'accesso all'energia - ancora negato a 600 milioni di persone - e promuovere la transizione verde. La African Development Bank ha lanciato il Desert to Power initiative, che mira a sviluppare 10 GW di capacità solare nel Sahel entro il 2030.

Quattro scenari futuri per il settore dell'energia al 2040

L'evoluzione del settore energetico nei prossimi decenni sarà plasmata dall'interazione di diversi driver fondamentali. La velocità della transizione energetica, che potrà essere rapida o graduale, sarà influenzata sia dalle politiche pubbliche che dalle dinamiche di mercato. Il livello di adozione tecnologica, determinato da possibili breakthrough e dalla velocità di implementazione delle innovazioni, giocherà un ruolo cruciale. La configurazione del sistema energetico potrà evolversi verso un modello più centralizzato o distribuito, con diversi gradi di integrazione internazionale. Infine, l'intensità e la frequenza degli impatti climatici potranno accelerare o modificare le traiettorie di sviluppo del settore.

Dall'interazione di questi driver emergono quattro scenari principali per il futuro del settore energetico.

L'evoluzione verso uno di questi scenari avrà profonde implicazioni per tutti gli stakeholder del settore energetico. Le utility dovranno ridefinire i propri modelli di business e competenze. I regolatori saranno chiamati a bilanciare innovazione e sicurezza. I consumatori vedranno trasformarsi il proprio ruolo da passivo ad attivo. Le imprese tecnologiche avranno opportunità senza precedenti di entrare nel settore energetico con soluzioni innovative.

La realizzazione di questi scenari non sarà probabilmente lineare, ma vedrà la coesistenza e l'intreccio di elementi dei diversi quadri descritti. Monitorare costantemente l'evoluzione dei driver chiave sarà fondamentale per anticipare e adattarsi ai cambiamenti in arrivo nel settore energetico.

Tech-Driven Energy Revolution

In questo scenario, breakthrough tecnologici accelerano drammaticamente la transizione energetica. La commercializzazione di batterie solid-state nel 2025 rivoluziona il mercato dello storage, mentre l'applicazione del quantum computing alle reti elettriche nel 2027 permette un'ottimizzazione senza precedenti del sistema. Entro il 2030, il costo dell'idrogeno verde diventa competitivo con i combustibili fossili grazie a elettrolizzatori di nuova generazione. La combinazione di queste innovazioni, supportata da una forte cooperazione internazionale, porta a un sistema energetico dominato dalle rinnovabili (80% dell'elettricità) già nel 2035.

Fragmented Transition

Le crescenti tensioni geopolitiche e le disparità tecnologiche portano a una transizione energetica che procede a velocità molto diverse nelle varie regioni del mondo. Dal 2025 si assiste a una progressiva frammentazione dei mercati energetici, seguita da una divergenza negli standard tecnologici che ostacola l'integrazione internazionale. Entro il 2032 si consolidano blocchi energetici regionali largamente autonomi, con politiche e tecnologie proprie. Questo porta nel 2037 all'emergere di sistemi energetici locali autosufficienti ma con limitate interconnessioni.

Climate Crisis Response

Una serie di eventi climatici catastrofici nel 2026 innesca una risposta globale senza precedenti. L'introduzione di una carbon tax globale nel 2028 accelera drasticamente l'abbandono dei combustibili fossili. Forti pressioni sociali e interventi regolatori sempre più stringenti portano al loro bando completo nel 2031. Il sistema energetico raggiunge la carbon-neutrality nel 2035, ma con costi sociali ed economici significativi dovuti alla rapidità della transizione.

Digital Energy Ecosystem

La digitalizzazione trasforma radicalmente il settore energetico. Entro il 2025, oltre un miliardo di dispositivi sono connessi all'Internet of Energy, creando un ecosistema completamente interconnesso. Nel 2029 le reti elettriche diventano completamente autonome grazie all'intelligenza artificiale. Il trading peer-to-peer di energia diventa la norma nel 2033, supportato da tecnologie blockchain e smart contract. Nel 2038 il sistema energetico è completamente digitalizzato, con prosumer che gestiscono attivamente i propri flussi energetici attraverso piattaforme digitali avanzate.

Bibliografia

International Energy Agency (2023). *Italy 2023 Energy Policy Review*. International Energy Agency.

European Commission (2024). *Stato dell'Unione dell'energia 2024: La relazione evidenzia i progressi dell'UE verso un'energia sicura, competitiva e a prezzi accessibili per tutti*.

McKinsey & Company (2024). *Global Energy Perspective 2024*. McKinsey Global Energy & Materials Practice.


iFAB
INTERNATIONAL FOUNDATION
BIG DATA AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE
FOR HUMAN DEVELOPMENT


bi-rex
Big Data Innovation & Research Excellence


POLITECNICO
MILANO 1863
SCHOOL OF MANAGEMENT


osservatori.net
digital innovation


CLUST-ER
GREENTECH
ENERGIA E SOSTENIBILITÀ


streo
CONNECTED FUTURE


SMARTDOMOTICS
easy living


eni


ILLUMIA
START EVERYDAY


Energy
intelligence
smart & green solutions

Per citare il report

Osservatorio sulle tendenze e le applicazioni del Supercalcolo (2024). "Osservazioni su... ENERGIA DEL FUTURO. Tendenze e applicazioni del Supercalcolo, Big Data e Quantum Computing". www.osservatorio.supercomputing-icsc.it

L'Osservatorio sulle tendenze e le applicazioni del Supercalcolo è un progetto del Centro Nazionale di Ricerca in High-Performance Computing, Big Data e Quantum Computing.

Realizzato e gestito da IFAB (International Foundation Big Data and Artificial Intelligence for Human Development), l'Osservatorio ha un focus privilegiato sulle PMI, sulle Pubbliche Amministrazioni e sulle Comunità.

L'attività dell'Osservatorio consiste nel mappare le più avanzate innovazioni tecnologiche, elaborare scenari futuri per lo sviluppo degli ecosistemi della ricerca e dell'innovazione e creare occasioni di incontro per i membri di questi ecosistemi.

Leggi questo e altri report su
www.osservatorio.supercomputing-icsc.it/report/