

DIGITALIZATION & DECARBONIZATION

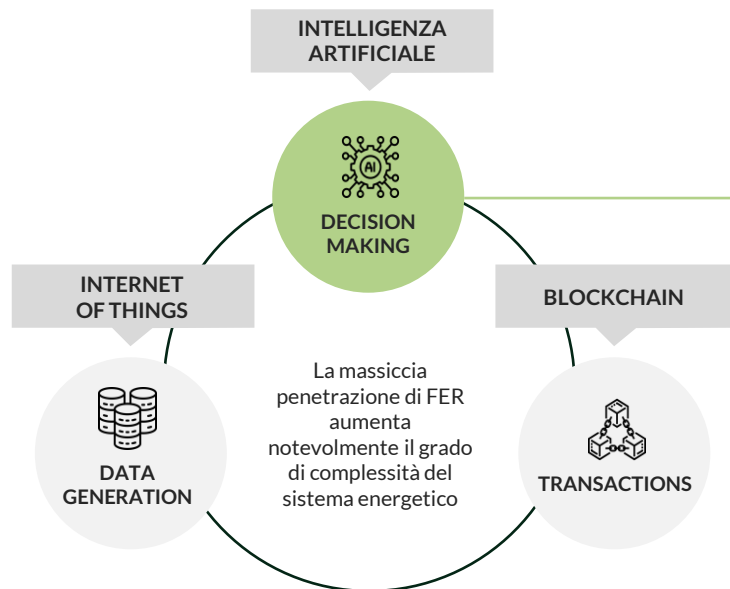
Report 2024

L'AI nel settore energetico:
una grande opportunità per la
decarbonizzazione

La digitalizzazione del settore energetico

L'AI come pilastro fondamentale

I 3 pilastri della digitalizzazione del settore energetico



Cosa si intende con Intelligenza Artificiale?



Un **software** [...] che può, per una specifica serie di obiettivi definiti dall'uomo, **generare output** come contenuti, previsioni, raccomandazioni o decisioni che influenzano gli ambienti con cui interagiscono.

Fonte: AI Act (Commissione Europea, 2021)

Quali algoritmi AI abbiamo considerato nell'analisi?



Training phase

- Supervised Learning
- Unsupervised Learning
- Reinforcement Learning



Inference phase

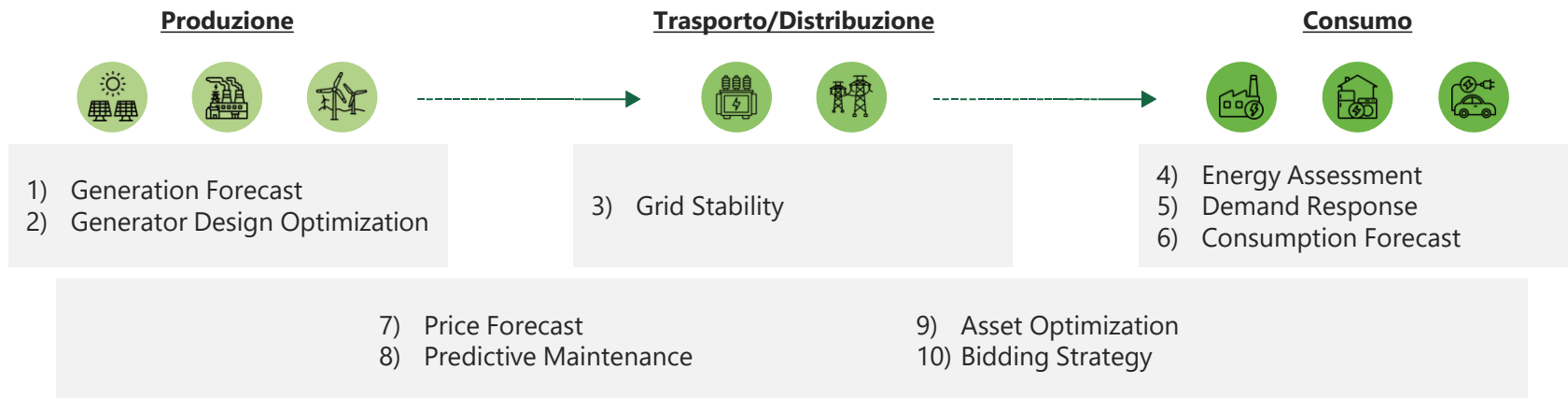
- Algoritmi di ensemble
- Algoritmi non lineari statici
- Algoritmi sequenziali

Le applicazioni dell'AI nel settore energetico

La distribuzione lungo la supply chain

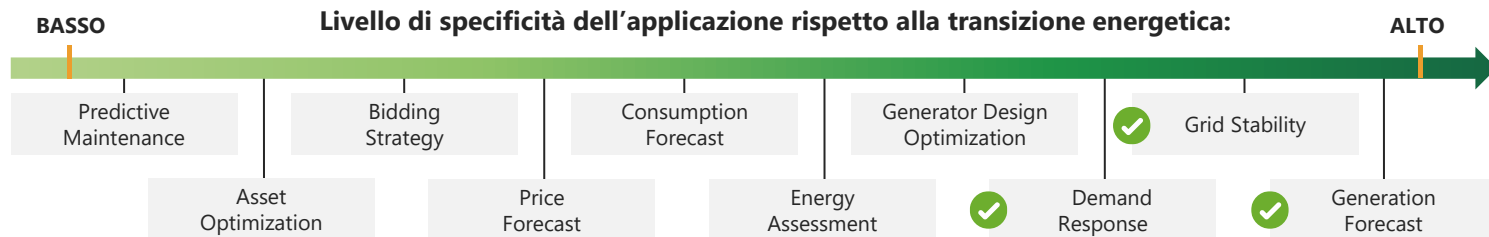
Dall'analisi della letteratura e dal confronto con gli operatori di mercato sono state individuate **10 applicazioni dell'AI nel settore energetico**. Ciascuna di esse è stata collocata lungo la **filiera energetica**.

Mentre alcune applicazioni sono associate a **una singola fase**, altre, più generali, sono implementabili **lungo l'intera filiera**.



Le applicazioni dell'AI nel settore energetico

Le applicazioni analizzate nel Report



Le applicazioni analizzate nel Report

Generation Forecast

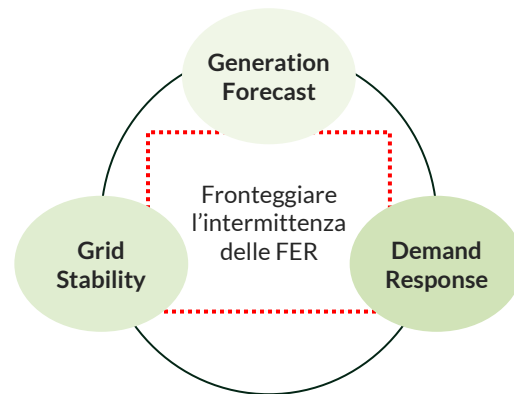
Previsione della produzione di **energia rinnovabile** per ottimizzare la pianificazione e ridurre l'impatto dell'intermittenza delle FER

Grid Stability

Monitoraggio dei parametri della **rete elettrica** (e in futuro dell'**idrogeno**) per prevedere e risolvere squilibri, garantendo la **stabilità al sistema**

Demand Response

Ottimizzazione della domanda energetica dei **carichi industriali e residenziali**, adattandola a segnali di prezzo o condizioni di rete



Gli algoritmi basati sull'AI



Il confronto con i metodi tradizionali




La seguente tabella evidenzia le **principali differenze** tra le due principali tipologie di algoritmi, analizzandole lungo **alcune variabili chiave**.

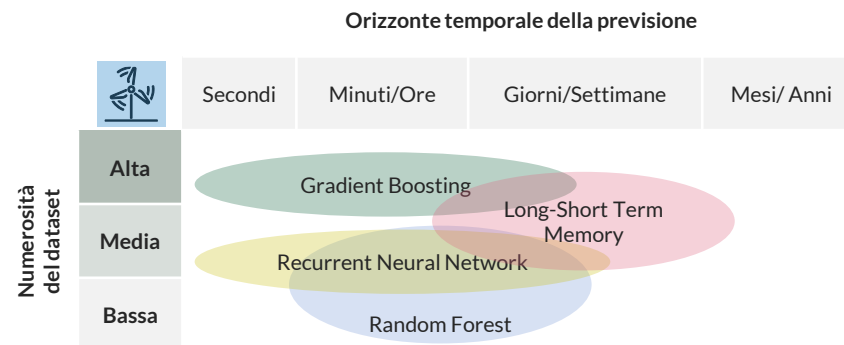
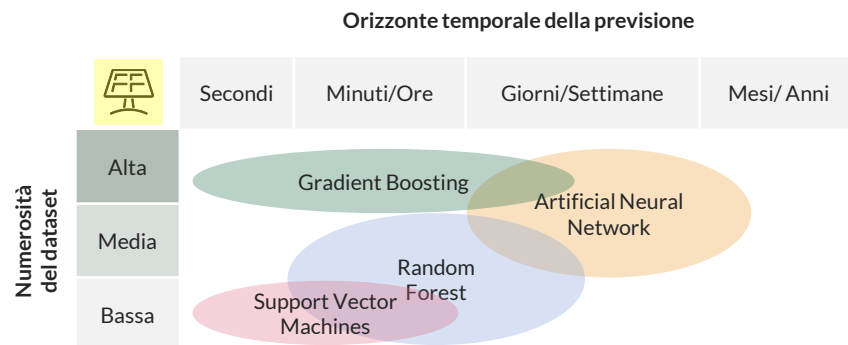
		ALGORITMI TRADIZIONALI	ALGORITMI BASATI SU AI
Approccio alla modellazione	▶	<ul style="list-style-type: none">• Modelli fisici o statistici che richiedono un'esplicita comprensione delle relazioni tra variabili	<ul style="list-style-type: none">• Modelli che non richiedono una definizione a priori delle relazioni tra variabili, ma identificano autonomamente pattern e correlazioni
Adattabilità	▶	<ul style="list-style-type: none">• Buone performance in condizioni stabili e prevedibili, ma mostrano limiti in scenari con alta variabilità o intermittenza	<ul style="list-style-type: none">• Capacità di catturare variabilità e non linearità nei dati, gestendo fluttuazioni impreviste delle condizioni esterne
Gestione dei dati	▶	<ul style="list-style-type: none">• Bassa capacità di gestire dataset formati da una serie di variabili eterogenee	<ul style="list-style-type: none">• Progettati per gestire efficacemente grandi dataset (i.e. Big Data), integrando dati eterogenei
Tempo di aggiornamento	▶	<ul style="list-style-type: none">• Modelli che richiedono un intervento manuale per adattarsi a nuove condizioni	<ul style="list-style-type: none">• Modelli che si aggiornano automaticamente attraverso processi di apprendimento continuo, migliorando costantemente le previsioni.
Robustezza	▶	<ul style="list-style-type: none">• Modelli con alta sensibilità a dati incompleti e/o rumorosi, che possono introdurre errori significativi	<ul style="list-style-type: none">• Modelli che hanno la capacità di gestire automaticamente i «processi di denoising», identificando autonomamente eventuali outlier

Generation Forecast

Gli algoritmi di AI per prevedere la generazione solare ed eolica

	Algoritmi di ensemble		Algoritmi non lineari statici		Algoritmi sequenziali	
	Random Forest	Gradient Boosting	Artificial Neural Network	Support Vector Machines	Recurrent Neural Network	Long Short-Term Memory
						
						

 Efficacia alta
  Efficacia media
  Efficacia bassa

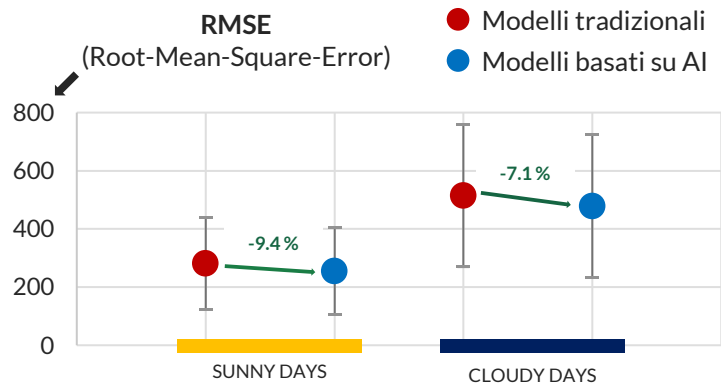


Generation Forecast

L'AI per la previsione della generazione fotovoltaica

ENEA ha condotto uno studio per valutare le differenze nelle prestazioni tra modelli previsionali tradizionali e **modelli innovativi basati su intelligenza artificiale (AI)**. I modelli tradizionali, che si affidano prevalentemente ai dati meteorologici, sono stati potenziati abbinandoli a un **algoritmo di apprendimento automatico** in grado di integrare i dati storici di generazione.

Entrambe le tipologie di modelli sono state **testate su un dataset** composto da giornate caratterizzate sia da condizioni soleggiate che nuvolose. Confrontando le prestazioni delle due tipologie di modelli, emergono alcuni spunti interessanti.



Evidenze emerse:

1

Il modello previsionale basato su AI mostra performance superiori rispetto al modello tradizionale (-9.4% e -7.1% del RMSE rispettivamente per giornate soleggiate e nuvolose).

2

Prevedere la generazione in giornate **nuvolose** è sensibilmente **più complicato** rispetto alle giornate soleggiate (82.8% e 87.6% del RMSE rispettivamente per modelli tradizionali e modelli basati su AI).

3





Per entrambe le tipologie di modelli e in entrambe le tipologie di giornate, la **variabilità delle previsioni è notevole**, confermando come la **Generation Forecast rappresenti un esercizio molto complesso**.





Fonte: Machine Learning and Weather Model Combination for PV Production Forecasting (Buonanno et al., 2024)




Grid Stability

Gli algoritmi di AI per fornire flessibilità alla rete

Componenti che caratterizzano la Grid Stability:

 Transient Stability	 Small-Signal Stability	 Frequency Stability	 Voltage Stability
Sincronizzazione tra generatori dopo una grande perturbazione (come ad esempio un cortocircuito o la perdita di un'importante linea di trasmissione).	Mantenimento della stabilità sotto piccole perturbazioni (come ad esempio variazioni di carico o generazione), evitando oscillazioni crescenti.	Mantenimento della frequenza entro limiti accettabili durante squilibri tra domanda e offerta di potenza attiva.	Mantenimento dei livelli di tensione accettabili sotto carico, evitando collassi di tensione durante variazioni di domanda o condizioni operative critiche.

	Algoritmi di ensemble		Algoritmi non lineari statici		Algoritmi sequenziali	
	Random Forest	(Extreme) Gradient Boosting	Deep Neural Network	Support Vector Machines	Recurrent Neural Network	Long Short-Term Memory
						
						
						
						

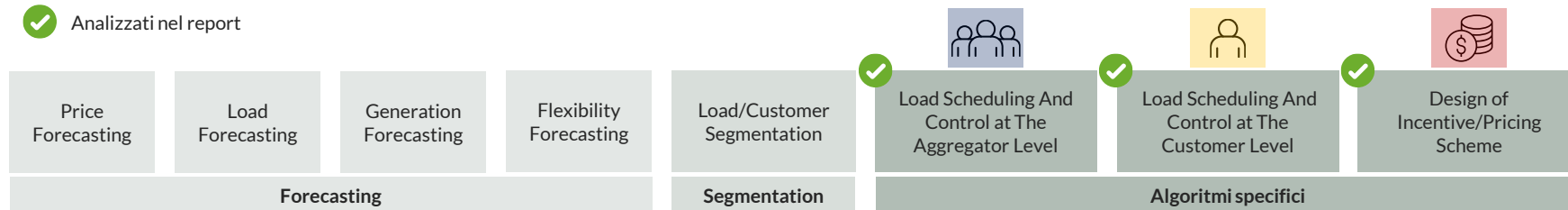
 Efficacia alta
  Efficacia media
  Efficacia bassa

Demand Response

Gli algoritmi di AI per un'efficace modulazione dei carichi

Attività che concorrono alla Demand Response:

✓ Analizzati nel report



	Algoritmi di ensemble		Algoritmi non lineari statici		Algoritmi sequenziali		Altri
	Random Forest	(Extreme) Gradient Boosting	Deep Neural Network	Support Vector Machines	Recurrent Neural Network	Long Short-Term Memory	K-Nearest Neighbors
	Efficacia alta		Efficacia media		Efficacia bassa		

Messaggi Chiave



L'intelligenza artificiale nel settore energetico rappresenta una **grande opportunità** per la **decarbonizzazione**, offrendo un **ampio spettro di applicazioni** che coprono **tutte le fasi della filiera**, dalla generazione di energia al suo utilizzo finale. Queste tecniche, opportunamente implementate, stanno **rivoluzionando il settore**, contribuendo a migliorare l'**efficienza**, l'**affidabilità** e la **sostenibilità** dei sistemi energetici moderni.



La **previsione della generazione da impianti rinnovabili** può beneficiare significativamente dell'impiego di **algoritmi innovativi**, pur persistendo **difficoltà** nelle previsioni a **medio-lungo termine**. La scelta dell'algoritmo **più efficace** dipende principalmente dalla **dimensione del dataset** e dall'**orizzonte temporale delle previsioni**.



Un **grande potenziale** si rileva anche nelle applicazioni per la **stabilità della rete** e la **demand response**, volte a mitigare l'**intermittenza delle fonti rinnovabili**. Tuttavia, data la **varietà** delle attività coinvolte, è essenziale scegliere l'algoritmo più adatto alle **specifiche esigenze dell'utente**.