

# MACHINE LEARNING PER LA PREVISIONE DELLA PRODUZIONE FOTVOLTAICA REGIONALE CON DATI LIMITATI

*M. Tucci, D. Thomopoulos, S. Barmada, E. Crisostomi, V. Consolo, N. Fontana, M. Raugi, R. Rizzo, C. Simonelli*

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni,  
Università di Pisa, Largo Lucio Lazzarino 1, 56122 Pisa, Italy

**Introduzione** — Il passaggio a un sistema energetico basato su fonti rinnovabili richiede previsioni affidabili della produzione fotovoltaica (PV) su scala regionale. Tuttavia, in molti contesti i dati specifici degli impianti non sono disponibili. Questo lavoro propone un approccio di machine learning (ML) che utilizza esclusivamente dati meteorologici geolocalizzati e la produzione aggregata di zona per prevedere la potenza PV oraria.

**Metodologia** — Il dataset copre sette zone del mercato elettrico italiano (47–5 province per zona) tra febbraio 2022 e aprile 2023. Gli ingressi comprendono irradianza globale orizzontale (GHI) corrente, ritardata e anticipata di un'ora, e la potenza prodotta all'ora precedente (opzionale). Sono stati confrontati otto modelli ML (KRR, RFR, SVR, Gradient Boosting, KNNR ecc.) con ottimizzazione degli iperparametri mediante Grid-Search e validazione a cinque-fold.

**Tabella 1 — Zone del Mercato Elettrico Italiano e numero di province per zona**

<b>Zona di Mercato</b>	<b>Numero zona</b>	<b>Numero di province</b>
Italia Settentrionale	1	47
Italia Centro-Nord	2	15
Italia Centro-Sud	3	11
Italia Meridionale	4	15
Calabria	5	5
Sardegna	6	5
Sicilia	7	9

**Risultati** — Con la potenza dell'ora precedente fra gli ingressi (orizzonte di previsione = 1 h) i modelli migliori sono Kernel Ridge Regression e Random Forest Regression con NRMSE medio pari al 3 %. Rimuovendo tale informazione l'orizzonte si estende a 24 h: l'errore sale al 5 %, con RFR leggermente superiore a KRR. Una campagna di “continual learning” su 54 settimane mostra che un retraining mensile è sufficiente a contenere il degrado delle prestazioni ( $\Delta\text{NRMSE} \approx 0.3\%$ ).

**Tabella 2 — Accuratezza dei modelli ML (NRMSE %) per zona, senza potenza a t-1 come input.**

Zona	LR	SVR	DTR	RFR	KNNR	KRR	GB	KSVRGB
1	6,1	7,3	7,6	<b>4,9</b>	5,6	5,0	5,5	5,1
2	6,0	5,3	6,9	<b>4,7</b>	5,2	4,9	5,4	4,9
3	7,0	6,2	7,8	<b>5,3</b>	5,8	5,5	5,9	5,5
4	6,2	5,0	6,6	<b>4,5</b>	4,9	<b>4,5</b>	4,9	4,6
5	6,8	6,6	7,1	<b>5,4</b>	6,0	<b>5,4</b>	5,8	<b>5,4</b>
6	6,9	6,7	7,5	<b>5,5</b>	5,8	5,8	6,0	5,8
7	6,8	7,2	7,3	<b>5,1</b>	5,2	5,6	5,6	5,2
Media	6,5	6,3	7,3	5,1	5,5	5,2	5,6	5,2
$\sigma$	0,4	0,9	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

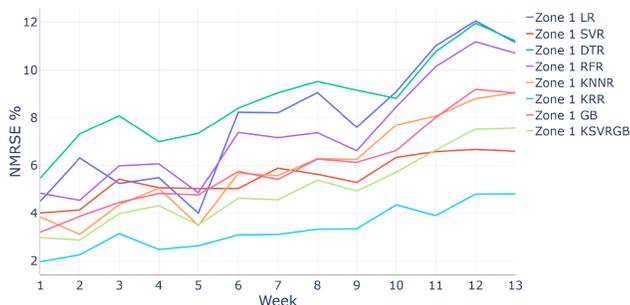


Figura 1. Degradazione della performance settimanale per la Zona 1 utilizzando la potenza a t-1 come input.

**Conclusioni** — Il metodo consente previsioni PV regionali accurate in assenza di dati sugli impianti, rendendolo utile per operatori di rete e mercati dell'energia. Futuri sviluppi includono (i) incorporazione di previsioni NWP ensemble, (ii) modellazione connettiva tra zone adiacenti e (iii) estensione a scenari di generazione eolica.

## Bibliografia

- [1] M. Tucci, A. Piazzì, D. Thomopoulos, «Machine Learning Models for Regional Photovoltaic Power Generation Forecasting with Limited Plant-Specific Data», *Energies*, 17 (10), 2346, 2024.
- [2] L. Gigoni, A. Betti, E. Crisostomi, A. Franco, M. Tucci, F. Bizzarri, D. Mucci, «Day-Ahead Hourly Forecasting of Power Generation from Photovoltaic Plants», *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 9 (2), 831-842, 2018.
- [3] N. Taheri, A. Piazzì, M. Tucci, «Analyzing the Impact of Training Data Availability on Machine Learning Models Accuracy for Regional Photovoltaic Production Forecast», *Proc. IEEE RTSI 2024*, pp. 636-641, 2024. DOI 10.1109/RTSI61910.2024.10761794.
- [4] M. Moschella, M. Tucci, E. Crisostomi, A. Betti, «A Machine Learning Model for Long-Term Power Generation Forecasting at Bidding Zone Level», *Proc. IEEE PES ISGT-Europe*, Bucharest, pp. 1-6, 2019.
- [5] L. Gigoni, A. Betti, F. Ruffini, C. Lanzetta, A. Piazzì, M. Tucci, M. Moschella, «Photovoltaic Power Forecasting with Ensemble of Learners: Large Test Case from PV Plants in Italy, Zambia and Australia», *Proceedings of 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 2019.