

LE PROSPETTIVE DELL'IA IN METEOROLOGIA

CON L'USO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE È STATO FATTO UN PASSO IN AVANTI PER PREVISIONI METEOROLOGICHE PIÙ VELOCI E ACCURATE GRAZIE ALLA CAPACITÀ DI GESTIRE GRANDI QUANTITÀ DI DATI E L'ELEVATA RAPIDITÀ DI ELABORAZIONE DELLE INFORMAZIONI. TUTTAVIA ESISTONO ANCORA DELLE LIMITAZIONI SU CUI SI DOVRÀ CONCENTRARE LA RICERCA.

Negli ultimi anni l'intelligenza artificiale (Ia) è stata utilizzata con successo in numerosi settori e uno dei campi di applicazione più promettenti è sicuramente quello delle previsioni meteorologiche. Il sistema Terra, infatti, è molto complesso, essendo costituito da numerose componenti (atmosfera, oceano, superficie terrestre, radiazione, nubi ecc.) che interagiscono tra loro in modo non lineare. La maggior parte della fisica che governa queste componenti è ben nota, ma alcune caratteristiche, e in particolare le interazioni tra di esse, sono ancora difficili da descrivere e da tradurre in un modello numerico. D'altra parte, è disponibile un'enorme quantità di dati sul sistema terrestre globale e la loro mole continuerà a crescere in futuro, ma non è affatto facile estrarre tutte le informazioni rilevanti e mettere in relazione i diversi dataset di osservazioni tra loro. In questo contesto le tecniche di Ia come la *machine learning* (MI) risultano particolarmente

adeguate in quanto permettono di gestire i *big data* meteorologici e le complesse relazioni tra di essi, migliorando la precisione della previsione e riducendo significativamente il tempo di calcolo.

Il *nowcasting*, ovvero la previsione meteorologica a brevissimo termine (fino a 3-6 ore), è uno degli ambiti in cui l'Ia ha avuto il maggiore impatto. Tradizionalmente il *nowcasting* si basa sull'estrapolazione nel tempo di osservazioni meteorologiche, in particolare da radar, per proiettarne il comportamento nelle ore successive. Con l'avvento dell'Ia, gli algoritmi di MI sono stati utilizzati per analizzare immagini satellitari, dati radar e informazioni da altri sensori e fonti per identificare *pattern* meteorologici complessi e prevederne l'evoluzione nel tempo. Un esempio significativo è quello del sistema *DeepMind* sviluppato da Google che, usando reti neurali per migliorare il *nowcasting* delle precipitazioni, ha

mostrato per la prima volta come un metodo di Ia possa permettere di ottenere risultati più accurati rispetto ai metodi tradizionali. A questo si sono aggiunti numerosi altri studi e lavori, come quello del progetto Mia-Rad tra la Fondazione Bruno Kessler e Arpa Emilia-Romagna che ha permesso di sviluppare un modello di *nowcasting* basato sull'uso di dati di riflettività radar e di fulminazioni, utilizzando tecniche di *deep learning*.

Nel campo delle previsioni meteorologiche a breve (fino a 2-3 giorni) e a medio-lungo termine (fino a 15 giorni), l'Ia può essere utilizzata sia per accelerare sia per migliorare i modelli. Per accelerazione si intende l'ottimizzazione di alcune componenti del modello meteorologico che può essere ottenuta sostituendo una componente costosa dal punto di vista computazionale con una sua emulazione generata mediante MI. Un'area di ricerca molto attiva in questo contesto riguarda la parametrizzazione

"BIG DATA... BETTER FORECAST?"

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE SOSTITUIRÀ I METEOROLOGI? IL TENTATIVO DI RISPOSTA AL WORKSHOP DI FIRENZE

Il ruolo dell'intelligenza artificiale nelle previsioni meteorologiche è stato il tema del workshop "Big data... better forecast?" che si è svolto il 19 settembre 2024 a Firenze, presso l'Innovation Center, per fare il punto su come sta cambiando e come cambierà il ruolo del meteorologo con l'introduzione delle tecnologie basate sull'intelligenza artificiale e sul *machine learning* per l'analisi e la previsione dei fenomeni atmosferici.

L'evento, organizzato dalla sezione professionisti di Aisam, dal Consorzio Lamma e dall'Agenzia ItaliaMeteo, ha rappresentato un'occasione di aggiornamento e confronto per comprendere lo stato attuale e le prospettive di sviluppo della modellistica numerica *data-driven* a livello europeo e ha visto la partecipazione di oltre cento previsori e ricercatori provenienti da tutta Italia.

Dopo la mattinata dedicata agli interventi dei relatori internazionali, Umberto Modigliani del settore Previsioni Meteo dell'Ecmwf e Arianna Valmassoi, ricercatrice del Dwd (Servizio meteorologico nazionale tedesco), il pomeriggio è proseguito con interessanti approfondimenti sulle esperienze di applicazione operative e pre-operative dell'intelligenza artificiale nei centri di ricerca e nei servizi meteorologici italiani.

La registrazione dell'evento è disponibile sul canale YouTube del Consorzio Lamma (www.youtube.com/@ConsorzioLaMMAvideo).



dei processi fisici, ovvero quei processi che non vengono risolti direttamente dal modello ma che vengono stimati a partire dalle sue variabili prognostiche. Questi processi, come la radiazione, la turbolenza a piccola scala e la microfisica delle nubi, presentano incertezze considerevoli e, spesso, modellarli in modo accurato richiede risorse di calcolo troppo grandi che rallenterebbero la produzione dell'intera previsione meteorologica. L'accelerazione è quindi importante perché consente di ridurre il tempo necessario per ottenere una previsione. Inoltre, il risparmio computazionale ottenuto può essere reinvestito, ad esempio aumentando la complessità delle parametrizzazioni, migliorando la risoluzione spaziale del modello o aumentando il numero di previsioni in *ensemble*. In questo modo si migliora anche la qualità complessiva della previsione.

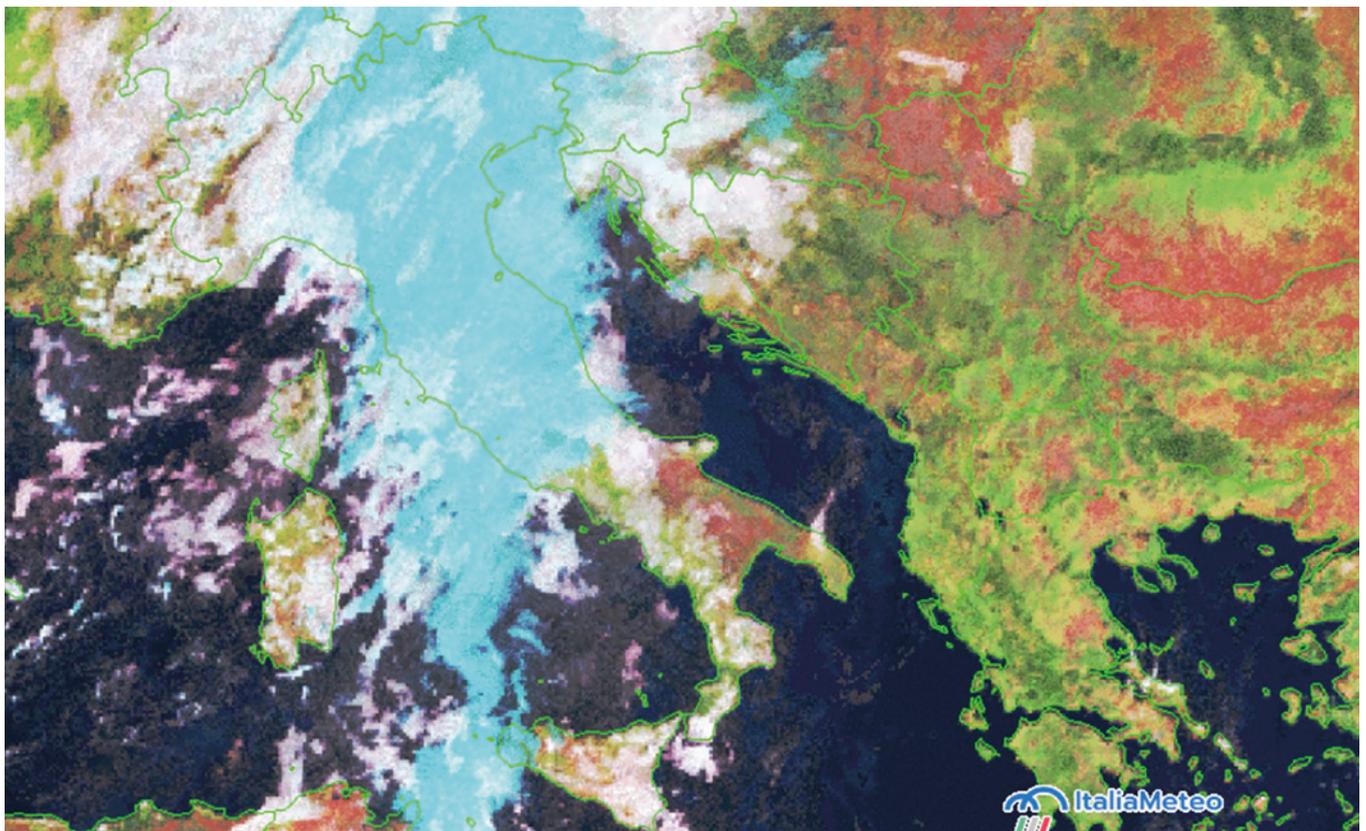
Per quanto riguarda il miglioramento del modello mediante MI, si intende la creazione di nuove componenti del modello mediante l'utilizzo di simulazioni ad alta risoluzione o osservazioni. L'esempio più estremo di applicazione di questo approccio consiste nel sostituire l'intero modello di previsione meteorologica con uno basato esclusivamente sull'IA. Tra il 2022 e il 2023, tre multinazionali *leader* nel campo della tecnologia hanno rilasciato modelli

basati su questo approccio: FourCastNet sviluppato da Nvidia, Pangu-Weather prodotto da Huawei e GraphCast generato da Google. Questi modelli hanno tutti dimostrato di produrre previsioni fino a 10 giorni dell'altezza di geopotenziale di 500 hPa, una delle variabili più analizzata dai previsori, con un'accuratezza uguale o migliore rispetto a quella dei più avanzati modelli fisici globali. Inoltre, riescono a ottenere queste previsioni in pochi secondi o minuti, molto più rapidamente rispetto ai modelli fisici tradizionali che impiegano fino a qualche ora. L'avvento di FourCastNet, Pangu-Weather e GraphCast ha dato un forte slancio alla ricerca in questo settore.

A distanza di poco tempo, i principali centri meteorologici del mondo hanno cominciato a sviluppare le proprie versioni dei modelli meteorologici basati sul MI, come Ecmwf che ha reso disponibile il suo *Artificial intelligence forecasting system* (Aifs). Le novità in questo campo sono quindi all'ordine del giorno e i miglioramenti in termini di accuratezza e performance sono continui. È importante notare, però, che la caratteristica comune di tutti questi modelli è quella di essere stati allenati sulle rianalisi di Era5, ovvero un dataset globale in cui sono ricostruite le condizioni atmosferiche del passato a partire dal 1940. Queste rianalisi

sono create utilizzando le osservazioni e un modello tradizionale di previsione meteorologica. Inoltre, le stesse previsioni dei modelli di MI sono inizializzate a partire dalle analisi create dai sistemi tradizionali di assimilazione dati che si basano su osservazioni e modelli fisici. Pertanto, il futuro miglioramento dei modelli basati sul MI non si può slegare dal miglioramento dei modelli fisici tradizionali. Per provare a superare questa limitazione c'è una fervente ricerca volta a sviluppare modelli di MI a partire direttamente dalle osservazioni dello stato dell'atmosfera, senza ricorrere ad analisi o rianalisi. Tuttavia, data la natura irregolare delle osservazioni, sia spaziale che temporale, la sfida è alquanto complessa e non c'è ancora consenso tra gli esperti sugli esiti di questo approccio.

Nel campo delle previsioni meteorologiche, il MI viene anche utilizzato per correggere gli errori sistematici nei modelli numerici tradizionali, riducendo l'incertezza e migliorando l'accuratezza delle previsioni a livello locale. Inoltre, il MI è adottato per effettuare il cosiddetto *downscaling* statistico dei modelli tradizionali. Con questa tecnica è possibile aumentare la risoluzione spaziale delle previsioni e quindi di descrivere eventi atmosferici su piccola scala, come le isole di calore urbano o gli effetti che un'orografia complessa (associata alla presenza di



valli e montagne) ha sulle variabili meteorologiche. Anche in questo caso, il vantaggio di usare il MI è che, oltre a migliorare la qualità dei prodotti generati, vengono ridotti drasticamente i tempi di elaborazione rispetto agli approcci classici.

In conclusione, l'Ia offre prospettive significative per il futuro delle previsioni meteorologiche, grazie alla sua capacità di gestire grandi quantità di dati e alla velocità con cui elabora le informazioni. Già negli ultimi anni ha permesso un significativo avanzamento in numerosi contesti, migliorando la nostra capacità di prevedere l'evoluzione del tempo. Considerato il campo di ricerca molto recente, è lecito attendersi ulteriori rapidi sviluppi e miglioramenti nei prossimi anni. Tuttavia, esistono ancora delle limitazioni. I modelli di Ia sono fortemente dipendenti dai dati di allenamento che, escluso il *nowcasting*, provengono in gran parte da rianalisi basate su modelli fisici tradizionali, come Era5. Di conseguenza, miglioramenti nei modelli di Ia sono vincolati anche al progresso dei modelli numerici tradizionali e delle tecniche di assimilazione dei dati, almeno fin quando non si riuscirà ad allenare i modelli esclusivamente sulle osservazioni. Inoltre,

nonostante l'Ia eccella nell'identificare *pattern* e ottimizzare processi complessi, manca di una comprensione fisica esplicita, il che può renderla meno affidabile in condizioni atmosferiche insolite o mai osservate prima. Il bilanciamento tra modelli numerici e modelli basati sull'intelligenza artificiale sarà quindi cruciale per ottenere sistemi di previsione sempre più robusti ed efficienti.

Il futuro vedrà sempre più un uso combinato delle tecniche tradizionali di modellazione meteorologica con queste nuove tecnologie di Ia, per beneficiare di tutti i vantaggi che entrambe le metodologie possiedono.

Creare dei sistemi di modellazione misti (in gergo *data fusion*) è uno degli obiettivi dell'Agenzia ItaliaMeteo, che intende sviluppare modelli di Ia in sinergia con gli attori che in Italia si stanno già cimentando in questo ambito e mettere in rete i dati e le informazioni disponibili, in particolare per migliorare la previsione degli eventi estremi, sempre più intensi e frequenti, e per soddisfare in maniera più efficace le esigenze dei diversi *stakeholder*.

Thomas Gastaldo, Carlo Cacciamani, Alessandra De Savino

ItaliaMeteo

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Ben Bouallègue Z., Clare M.C.A., Magnusson L., Gascón E., Maier-Gerber M., Janoušek M., Rodwell M., Pinault F., Dramsch J.S., Lang S.T.K., Raoult B., Rabier F., Chevallier M., Sandu I., Dueben P., Chantry M., Pappenberger F., 2024, "The rise of data-driven weather forecasting: a first statistical assessment of machine learning-based weather forecasts in an operational-like context", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 105(6), E864-E883. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0162.1>

Dueben P., Modigliani U., Geer A., Siemen S., Pappenberger F., Bauer P., Brown A., Palkovic M., Raoult B., Wedi N., Baousis V., 2021, *Machine learning at Ecmwf: a roadmap for the next 10 years*, Technical Memorandum No. 878. <https://doi.org/10.21957/ge7ckgm>

Fondazione Bruno Kessler Magazine, <https://magazine.fbk.eu/it/>



FOTO: GEORGE DESPIRIS - PEXELS