

L'USO DELLA MODELLISTICA A SUPPORTO DELLA PREVISIONE

I MODELLI METEOROLOGICI OFFRONO OGGI UNA RISOLUZIONE SPAZIALE E TEMPORALE SEMPRE PIÙ ACCURATA, CONSENTENDO PREVISIONI PIÙ PRECISE E TEMPESTIVE. TUTTAVIA, RESTA INDISPENSABILE UN'INTERPRETAZIONE DA PARTE DEI METEOROLOGI OPERATIVI. L'USO DEI MODELLI IN OCCASIONE DEGLI EVENTI ESTREMI DI SETTEMBRE E OTTOBRE 2024.

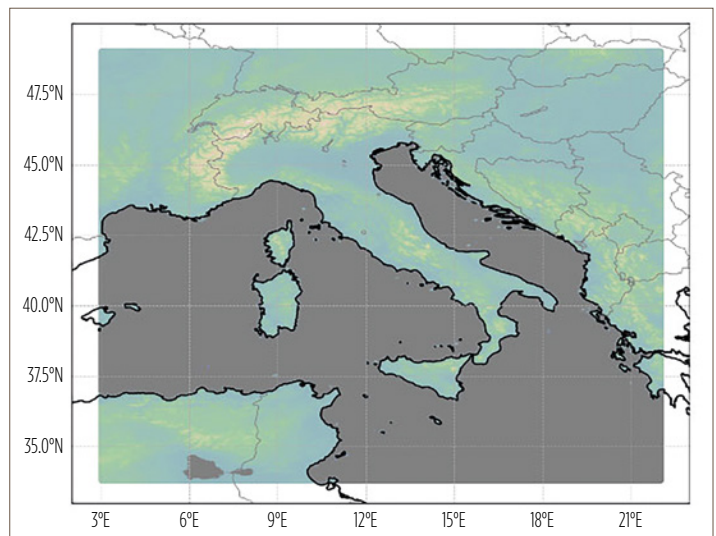
La previsione di un evento idrologico-idraulico è un processo complesso che parte dalla valutazione di un elemento chiave: quanto, dove e in che modo piovierà. Alla base di ogni previsione idrologica troviamo l'input fornito dai modelli meteorologici. Questi strumenti, basati su simulazioni numeriche dell'atmosfera, permettono di stimare la distribuzione delle piogge in termini di quantità, intensità e durata. Grazie ai progressi scientifici e tecnologici, i modelli meteorologici offrono oggi una risoluzione spaziale e temporale sempre più accurata, consentendo previsioni più precise e tempestive.

Il sistema modellistico implementato e utilizzato ad Arpa Emilia-Romagna – Struttura IdroMeteoClima si basa su Icon (*Icosahedral non-hydrostatic*, Zängl et al., 2015), un modello sviluppato in un consorzio internazionale guidato dal Servizio meteorologico tedesco, che collabora con vari Paesi, tra cui l'Italia, per lo sviluppo del modello e il suo utilizzo operativo per le previsioni a scala nazionale ad alta risoluzione. Tale collaborazione avviene all'interno del Consorzio Cosmo (Consortium for small-scale modeling, www.cosmo-model.org), di cui l'Italia è membro tramite il Servizio meteorologico dell'Aeronautica militare e a cui Arpa partecipa assieme ad Arpa Piemonte, Cmcc, Cira, Fondazione Cima e Cetemps.

Il sistema modellistico operativo di Arpa utilizza Icon integrato a una risoluzione spaziale di circa 2 km su un'area che copre l'Italia e le zone limitrofe (sistema denominato Icon-2I), come mostrato in *figura 1*. Le previsioni sono effettuate grazie alle varie componenti del sistema: 1) Icon-2I-Kenda: è il sistema che genera le condizioni iniziali per le previsioni meteorologiche di Icon-2I, Icon-2I-Eps e Icon-2I-Ruc. Queste condizioni iniziali vengono generate mediante il

FIG. 1
MODELLO ICON-2I

Dominio di integrazione del modello operativo Icon-2I.



cosiddetto “ciclo di assimilazione dati”, che consiste in una serie di 40 previsioni del modello effettuate in continuo e con passo orario, intervallate da un algoritmo di Letfk (Hunt et al., 2007; Schraff et al., 2016) che permette di “assimilare”, ovvero includere nella simulazione, le osservazioni più recenti rilevate all'interno del dominio del modello, misurate da stazioni distribuite sulla superficie terrestre, da sensori attaccati a palloni sonda o posti su navi e aerei, da rilevazioni da radar e satelliti meteorologici. In particolare, il sistema sviluppato e utilizzato da Arpa consente di includere nella fase di assimilazione i dati sulla struttura dei sistemi precipitanti, ottenuti in tempo reale dalla rete radar nazionale, migliorando significativamente la previsione delle precipitazioni (Gastaldo et al., 2021) 2) Icon-2I: è la previsione “classica” del modello su tutta Italia e fornisce, ogni giorno, previsioni per i prossimi 3 giorni a partire dalle 00 e dalle 12 Utc 3) Icon-2I-Eps: è il sistema di previsioni cosiddette di *ensemble*, ovvero un insieme di 20 simulazioni del modello che partono da 20 condizioni iniziali leggermente diverse, per un campionamento dell'incertezza associata

allo stato atmosferico. Il suo scopo è quello di consentire l'elaborazione di una previsione più affidabile e informativa, capace di determinare anche l'incertezza associata a una singola previsione, permettendo di stimare la probabilità con cui un certo scenario si verificherà e di dare un'indicazione di quale potrebbe essere lo scenario peggiore. Fornisce previsioni per i prossimi 2 giorni 4) Icon-2I-Ruc: è la componente *Rapid update cycle*, che consiste in simulazioni più frequenti del modello (una ogni 3 ore), in modo da potere utilizzare nella condizione iniziale sempre le osservazioni più recenti e garantire una previsione aggiornata e quindi ottimale per il breve termine, in particolare per le prossime 6-12 ore.

Va però ricordato che la modellistica meteorologica ha una vocazione globale: non è possibile effettuare una previsione per i prossimi giorni senza partire dalla conoscenza dello stato presente dell'atmosfera su tutto il globo, essendo l'atmosfera un sistema altamente interconnesso. Per questo motivo, l'Europa si è dotata già dagli anni '70 di un centro avanzato di meteorologia operativa, il Centro europeo per le previsioni a medio termine (European

centre for medium-range weather forecast, Ecmwf), che oggi risiede in tre paesi: Regno Unito (Reading), Germania (Bonn) e Italia (Bologna). Ecmwf effettua quotidianamente previsioni su tutto il globo per i prossimi 15 giorni con una risoluzione spaziale di circa 9 km. Tutte le catene modellistiche di Arpae-Simc sono quindi basate su quelle di Ecmwf (modello Ifs, *Integrated forecasting system*), che forniscono le condizioni al contorno ai modelli a 2 km, cioè la previsione atmosferica sui bordi del dominio italiano, senza la quale non sarebbe possibile effettuare la previsione ad alta risoluzione.

Perché abbiamo bisogno di un sistema di previsioni a risoluzione di 2 km, oltre a quello del Centro europeo a 9 km? Le previsioni meteorologiche numeriche di Ecmwf forniscono i valori dei parametri meteorologici (pressione, vento, temperatura, umidità, precipitazione ecc.) su una griglia di punti distanti tra loro 9 km che coprono tutta la Terra e che rappresentano valori medi su aree di circa 9x9 km². Queste previsioni non sono sufficienti per supportare al meglio delle capacità attuali la previsione di eventi meteorologici intensi e a impatto elevato. È per questo che l'Italia, come molti altri Paesi, si è dotata del proprio sistema modellistico a più alta risoluzione spaziale, che permette di

effettuare previsioni numeriche sul territorio nazionale sui punti di una griglia con passo di circa 2 km, quindi coprendo l'intero territorio e i mari circostanti con previsioni su aree di circa 2 x 2 km². In questo modo si ha una migliore descrizione della convezione e di tutti i fenomeni a sviluppo convettivo (temporali, supercelle, *squall lines* ecc.), che sono rappresentati più realisticamente alla scala chilometrica.

L'uso della modellistica negli eventi di settembre e ottobre 2024

Un esempio concreto dell'importanza della risoluzione dei modelli meteorologici si è avuto in entrambi gli eventi di settembre e ottobre 2024: durante l'evento del 18 settembre, il confronto tra la pioggia realmente caduta e le previsioni (*figura 2*) ha mostrato come il modello Icon-2I (pannello di sinistra), con una risoluzione di 2 km, ha individuato con buona precisione sia le aree colpite sia i quantitativi di precipitazione caduti nelle successive 24 ore, come stimati dal radar meteorologico e dalle stazioni di misura al suolo (pannello centrale), mentre il modello Ifs-Ecmwf (pannello di destra), con una risoluzione di 9 km, ha fornito una

previsione meno accurata sottostimando l'intensità della precipitazione. Un risultato simile si è osservato anche nell'evento del 19 ottobre, quando Icon-2I prevedeva accumuli di pioggia molto elevati lungo la fascia pedecollinare tra il bolognese e l'Emilia occidentale, in particolare tra Modena e Bologna, in linea con quanto realmente verificatosi (vedi *figura 3*). Al contrario, Ifs-Ecmwf mostrava una distribuzione spaziale simile, ma valori di precipitazione nettamente inferiori.

Le previsioni fornite dai modelli meteorologici, per quanto accurate e dettagliate, richiedono un'elaborazione e un'interpretazione da parte dei meteorologi operativi, eventualmente supportati da sistemi di post-elaborazione, per potere essere poi utilizzate dagli utenti finali, come amministratori o cittadini. Ciò è necessario perché i modelli non garantiscono una piena affidabilità alla scala della loro risoluzione nominale e sono in grado di rappresentare realisticamente solo segnali meteorologici di dimensioni pari ad alcune volte il passo di griglia. Inoltre, i modelli includono semplificazioni fisico-matematiche necessarie, dato che vari processi (come ad esempio le interazioni tra particelle di acqua, ghiaccio e radiazione solare)

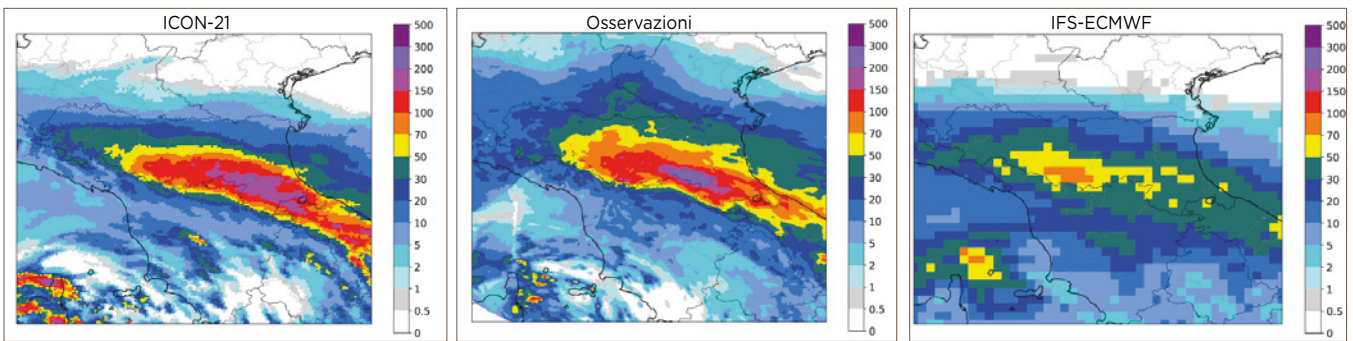


FIG. 2 PREVISIONI DI PRECIPITAZIONE
Mappe di precipitazione cumulata tra le 00 e le 24 Utc del giorno 18 settembre 2024, prevista dalle elaborazioni delle 00 Utc del giorno stesso dai modelli Icon-2I (a sinistra) e Ifs-Ecmwf (a destra), a confronto con la relativa pioggia osservata da radar e pluviometri (al centro). Dalle mappe si evince la differente risoluzione dei due modelli.

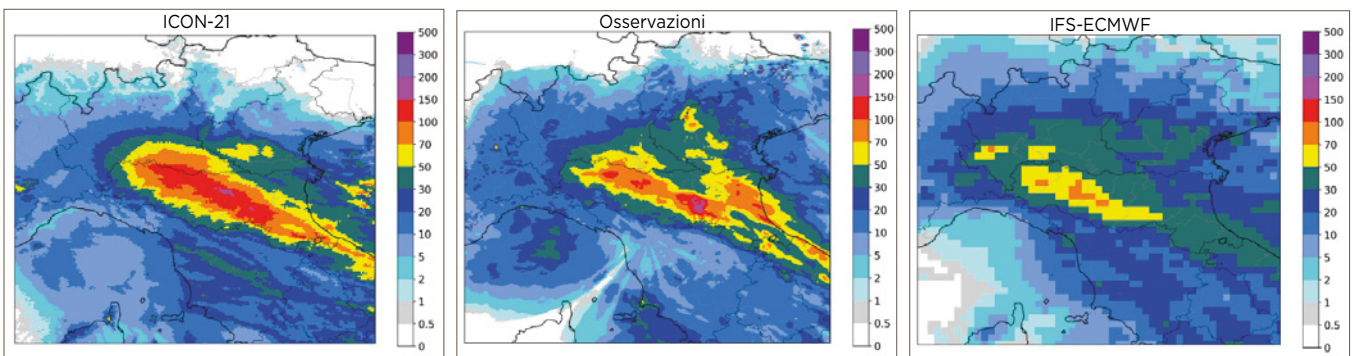


FIG. 3 PREVISIONI DI PRECIPITAZIONE
Mappe di precipitazione cumulata tra le 00 e le 24 Utc del giorno 19 ottobre 2024, prevista dalle elaborazioni delle 00 Utc del giorno precedente dai modelli Icon-2I (a sinistra) e Ifs-Ecmwf (a destra), a confronto con la relativa pioggia osservata da radar e pluviometri (al centro).

non possono essere completamente rappresentati, data la loro complessità e il livello di dettaglio. Queste approssimazioni, unite al noto “effetto farfalla” – per cui piccole imprecisioni nello stato iniziale dell’atmosfera possono amplificarsi rapidamente – contribuiscono all’incertezza e alla progressiva degradazione della qualità delle previsioni.

Tutti questi elementi fanno sì che la previsione meteorologica dai modelli debba venire trattata con attenzione. Pur se i modelli alla scala del chilometro sono capaci di rappresentare la precipitazione in modo realistico, con strutture simili a quanto vediamo con i radar meteorologici, spesso le previsioni hanno errori fino a decine di chilometri nella localizzazione spaziale della precipitazione, rendendo difficile una previsione dettagliata a livello sub-regionale. Anche la localizzazione temporale delle precipitazioni è soggetta a errori, con sfasamenti tra l’orario previsto e quello effettivamente osservato che possono raggiungere alcune ore. Nel formulare la previsione di precipitazione, quindi, i meteorologi forniscono spesso l’informazione aggregata su aree abbastanza grandi da contenere l’errore di localizzazione spaziale, come la scala provinciale o regionale, e aggregata temporalmente su 6-12 ore.

Uno di questi casi di errore temporale si è verificato durante l’evento del 19 ottobre 2024, quando il modello Icon-2I ha riprodotto accuratamente i quantitativi totali, ma ha anticipato la fase più intensa delle piogge, prevista al mattino ma osservata nel pomeriggio-sera sul bolognese (figura 4), condizionando le conseguenti valutazioni sull’impatto idraulico delle piogge.

L’utilizzo di corse modellistiche più aggiornate, come Icon-2I Ruc, ha tuttavia consentito ai meteorologi di Arpae-Simc di fornire indicazioni tempestive e utili al sistema di allertamento durante la fase di monitoraggio.

Queste caratteristiche sono proprie di tutti i modelli meteorologici e si manifestano diversamente a seconda della situazione meteorologica in atto: ci sono situazioni più predicibili, quando è possibile dire con ragionevole certezza già alcuni giorni prima che le temperature caleranno su una certa regione, e altre meno predicibili, quando è difficile prevedere se domani poverà o meno su una certa regione. Tale caratteristica varia a seconda del tipo di flusso atmosferico, della stagione, della

zona considerata, dei fenomeni in atto. Le previsioni meteorologiche ottenute da diversi modelli o da successive elaborazioni dello stesso modello possono quindi fornire una varietà di scenari. Quando gli scenari convergono, aumenta la fiducia nell’affidabilità della previsione, indicando una situazione generalmente ben predicibile. Tuttavia, in alcuni casi, i modelli possono divergere, evidenziando differenze significative nella quantità o nella localizzazione dei fenomeni. Questo è spesso un segnale di una situazione poco predicibile, che complica il lavoro del meteorologo. In tali contesti, è necessario valutare quale corsa del modello sia più rappresentativa o integrare i diversi scenari attraverso un’interpretazione critica. Pertanto, per fornire una previsione affidabile, i meteorologi operativi confrontano prodotti modellistici provenienti da sistemi diversi, tra cui corse modellistiche precedenti e più recenti o modelli differenti, oltre ai sistemi di previsione ensemble.

Ad esempio, durante l’evento di settembre 2024 l’ultima corsa disponibile

del modello Icon-2I (illustrata in figura 2) ha fornito una rappresentazione molto vicina agli eventi osservati, migliorando le previsioni del giorno precedente (non mostrata) e portando all’aggiornamento dell’allerta da arancione a rossa. Durante l’evento di ottobre 2024, invece, la previsione più accurata è stata quella elaborata il giorno precedente (illustrata in figura 3), che ha supportato l’emissione dell’allerta rossa. In questi scenari, l’abilità del meteorologo nel gestire le incertezze risulta cruciale per una comunicazione efficace del rischio.

Thomas Gastaldo, Chiara Marsigli, Maria Stefania Tesini

Struttura IdroMeteoClima, Arpae Emilia-Romagna

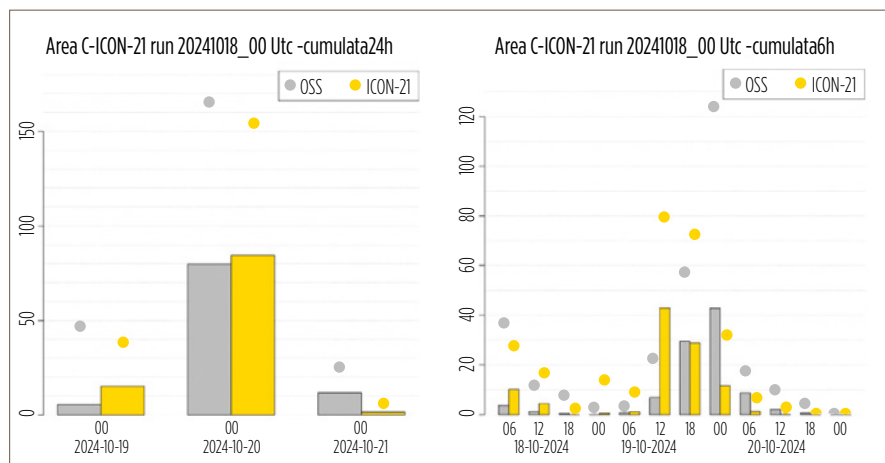


FIG. 4 PIOGGIA OSSERVATA E PREVISTA
 Confronto tra la pioggia media sull’area di allertamento C (rilievi del bolognese) osservata (colonna grigia) e prevista dal modello Icon-2I (colonna gialla) nei giorni 18, 19 e 20 ottobre 2024, cumulata su intervalli di 24 ore (pannello sinistro) e 6 ore (pannello destro). I pallini rappresentano il massimo valore di pioggia registrato all’interno dell’area per ciascun intervallo temporale (grigio per l’osservato e giallo per il previsto).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Gastaldo T., Poli V., Marsigli C., Cesari D., Alberoni P.P., Paccagnella T., 2021, “Assimilation of radar reflectivity volumes in an operational framework”, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 147, 1031-1054, DOI: [10.1002/qj.3957](https://doi.org/10.1002/qj.3957).

Hunt B.R., Kostelich E.J., Szunyogh I., 2007, “Efficient data assimilation for spatio-temporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter”, *Physica D*, 230, 112-126, <https://doi.org/10.1016/j.physd.2006.11.008>.

Schraff C., Reich H., Rhodin A., Schomburg A., Stephan K., Periañez A., Potthast R., 2016, “Kilometre-scale ensemble data assimilation for the Cosmo model (Kenda)”, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 142: 1453-1472, <https://doi.org/10.1002/qj.2748>, 2016.

Zängl G., Reinert D., Ripodas P., Baldauf M., 2015, “The Icon (Icosahedral non-hydrostatic) modelling framework of Dwd and Mpi-M: Description of the non-hydrostatic dynamical core”, *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 141, 563-579. <https://doi.org/10.1002/qj.2378>.