

PROGRAMMA PER IL SUPPORTO AL RAFFORZAMENTO DELLA GOVERNANCE IN MATERIA DI RIDUZIONE DEL RISCHIO AI FINI DI PROTEZIONE CIVILE:

RISCHIO IDROGEOLOGICO E IDRAULICO

A22_DT1

Analisi delle caratteristiche operative dei prodotti di nowcasting e possibilità di utilizzo nelle realtà dei CFD

05.07.2019

Bozza preliminare 1.0



CIMA
POLIMI
IRPI
CAMI lab
CiNiD

Azione

A_2_2

Potenziamento dei sistemi di previsione e allertamento: utilizzo dei radar meteo per il monitoraggio in tempo reale dei fenomeni temporaleschi e definizione dei criteri di integrazione con altre fonti di dati

Partner

Fondazione CIMA

Autori

F. Pignone

L. Poletti

F. Silvestro

Note / Dettagli

Analisi delle caratteristiche operative dei prodotti di nowcasting e possibilità di utilizzo nelle realtà dei CFD.

Sommario

1. Inquadramento nelle attività A_2_2 delle azioni del PON	2
2. Nowcasting, inquadramento e revisione della letteratura scientifica	4
2.1. Introduzione	4
2.2. Finalità	5
2.2.1. Idrologiche.....	6
2.2.2. Protezione civile	6
2.3. Revisione da letteratura internazionale.....	7
2.4. Revisione scientifica di alcuni sistemi di nowcasting automatici o semi-automatici ..	9
2.4.1. TITAN: Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting	10
2.4.2. SCIT: Storm cell identification and tracking	11
2.4.3. TRT: Thunderstorm radar tracking algorithm.....	11
2.4.4. FAST: Fuzzy logic algorithm for storm tracking	11
2.4.5. MAPLE: McGill algorithm for precipitation nowcasting by Lagrangian extrapolation.....	11
2.4.6. Co-TREC: Continuous tracking radar echoes by correlation.....	12
2.4.7. INCA: Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis.....	12
2.4.8. ANC: Auto-nowcast system.....	12
2.4.9. NowCastMIX - AutoWARN al Deutscher Wetterdienst.....	13
2.4.10. CAN-NOW: Canadian Airport Nowcasting System.....	13
2.4.11. SWIRLS: Short-range Warnings of Intense Rainstorms in Localized Systems 13	
2.4.12. STEPS: Short-term Ensemble Prediction System.....	13
2.4.13. PhaSt: Phase Stochastic nowcasting.....	14
2.5. Limiti di applicazione	14
2.6. Validazione e score statistici.....	15
3. Affidabilità e performance del nowcasting nell'utilizzo operativo	17
3.1. Esperienza di ARPA Piemonte	18
3.2. Esperienza di ARPA Liguria	20
3.3. Esperienza di ARPA Emilia Romagna	22
3.4. Esperienza di Meteo SWISS	23
4. Responsabilità e rischi per gli operatori	27
5. Bibliografia	32

1. Inquadramento nelle attività A_2_2 delle azioni del PON

Secondo il piano delle attività presentato per il secondo anno di progetto, gli obiettivi che sono stati prefissati, sono principalmente due:

- Sviluppo e definizione di linee guida per l'implementazione e l'utilizzo operativo dei prodotti di monitoraggio radar all'interno dei processi dei singoli CFD ad integrazione degli strumenti già utilizzati in modo operativo;
- Analisi delle caratteristiche operative dei prodotti di nowcasting e possibilità di utilizzo nelle realtà dei CFD.

La tematica del nowcasting si colloca tra le possibilità aperte dalla ricerca e dalla tecnica in ambito idrologico e di protezione civile. La definizione di nowcasting non è univoca, ma in generale ci si riferisce a tutte quelle tecniche che fanno uso di modelli ed osservazioni per effettuare una previsione su finestre temporali ridotte (indicativamente fino a 4-6 ore) e aggiornata con una certa frequenza (orientativamente da 5 a 60 minuti). L'orizzonte temporale di previsione dipende fortemente dalle tecniche e modelli adottati. Se esse sono ascritte a tecniche che estrapolano la previsione dalle osservazioni più recenti la previsione può considerarsi utile ed affidabile fino a 60-120 minuti (a seconda dei casi); mentre per ottenere previsione più a lungo termine è necessario tenere conto della dinamica dell'atmosfera e viene in generale introdotta qualche forma di modellistica meteorologica.

Il nowcasting è quindi potenzialmente un utile strumento per affinare ed aggiornare la previsione su finestre temporali ridotte, ma con un focus più di dettaglio rispetto a quella che è la previsione effettuata con 24-48 ore di anticipo.

L'applicazione dipende anche dal tipo di sistema di protezione civile ed allertamento nel quale si lavora; i sistemi utilizzati in Svizzera e in Finlandia ad esempio non hanno di fatto limitazioni di tempo nell'emissione delle allerte, pertanto esse possono essere emesse su orizzonti temporali anche molto brevi (poche ore) e modificate frequentemente.

Il sistema italiano adotta un approccio diverso e, per una serie di ragioni che non indagheremo in questo documento, prevede delle limitazioni sull'orizzonte temporale minimo che deve essere considerato. Generalmente (anche se in alcuni casi accade diversamente) l'allerta viene emessa con molte ore di anticipo (indicativamente 12-24).

Gli strumenti e le tecniche di nowcasting devono quindi essere visti nell'ottica di monitoraggio e previsione a breve termine degli eventi, non come strumenti di supporto all'emissione dell'allerta.

Pertanto nell'utilizzo di un sistema di nowcasting operativamente si possono presentare due casistiche:

- Nel corso di un evento per il quale è già stato precedentemente emesso un certo di livello di allertamento si può cercare di dare maggiore dettaglio temporale e spaziale all'evento stesso; le eventuali comunicazioni agli enti territoriali e alla popolazione sono sostanzialmente dei messaggi in corso di evento emessi nel contesto di un sistema già attivato.

- Un evento improvviso e del tutto, o quasi, non prevedibile inizia ad osservarsi per l'utilizzo del nowcasting non può essere utilizzato per l'emissione di un'allerta a causa dei tempi ridotti, tuttavia può supportare nel definire cosa potrebbe accadere e nell'avvisare i soggetti che potrebbero essere colpiti: enti territoriali, autorità locali e cittadinanza.

Il seguito del documento è organizzato nel seguente modo: il capitolo 2 è dedicato interamente alla trattazione del nowcasting in termini di definizioni, finalità, revisione della letteratura, dei sistemi e strumenti operativi ed automatici, nonché dei limiti e metodi per la validazione della previsione stessa. Il capitolo 3 riporta l'esperienza di utilizzo operativo e real-time del nowcasting nelle procedure di diversi centri funzionali nazionali ed enti internazionali. Infine il capitolo 4 riporta una breve nota tecnica giuridica sulla responsabilità direttamente collegata l'utilizzo di prodotti di nowcasting.

BOSMA

2. Nowcasting, inquadramento e revisione della letteratura scientifica

2.1. Introduzione

Con il termine di Nowcasting si intende una previsione sul breve periodo, generalmente da pochi minuti fino a qualche ora, dell'evoluzione dei fenomeni in atto o che si stanno per dare.

Il termine Nowcasting è stato originariamente definito da Keith Browning durante il primo simposio sul nowcasting (Browning, 1981) come "la descrizione dettagliata dello stato attuale delle condizioni atmosferiche e la previsione dei cambiamenti che possono essere previsti in un intervallo di poche ore". Successivamente, nel 2010, il gruppo di lavoro "Nowcasting Research" del World Meteorological Organization (WMO) ha definito il nowcasting come la previsione localmente dettagliata (sia essa fatta con qualsiasi metodo) in un periodo che va dal presente fino a 4-6 ore in avanti nel tempo (Guidelines for nowcasting techniques, 2017 edition, WMO-No. 1198).

Per effettuare la previsione a breve termine, qualunque sia il metodo scelto (vedasi successivi capitoli per una descrizione più dettagliata) ci si basa principalmente sull'osservazione ad alta risoluzione e con alta frequenza di aggiornamento tipica di un sistema di osservazioni basato sul radar meteorologico.

In generale si è abbastanza concordi sul fatto che gli strumenti per effettuare il nowcasting sono sia osservativi che modellistici, mentre sull'orizzonte temporale di previsione ci sono approcci discordanti. Ad esempio l'esperienza operativa attualmente in uso al Centro Funzionale Decentrato (CFD) di regione Liguria porta a riferirsi a tempistiche da 10-20 minuti fino a 1-2 ore massimo per quanto riguarda il nowcasting di tipo meteorologico, e fino a 3-4 ore per quanto riguarda il nowcasting idrologico, tenendo conto dei tempi di risposta dei bacini; Meteoswiss fa riferimento, in termini prettamente meteorologici, a tutto ciò che accade fra l'istante di previsione e le 6 ore successive. E' inoltre esemplare il caso di uno dei prodotti sviluppati dal Finnish Meteorological Institute (FMI) che prevede una transizione graduale, attraverso opportune tecniche matematiche, tra l'osservazione di ciò che è appena accaduto, la previsione a brevissimo termine (0-2 ore) estrapolata dall'osservazione e la previsione su finestre temporali maggiori (2-72 ore); non esiste quindi una vera e propria distinzione tra nowcasting e previsione vera e propria, si tratta invece di transire da una scala temporale all'altra di previsione combinando opportunamente diverse tecniche.

Il termine di nowcasting indica quindi la previsione sul breve periodo. Esistono diverse categorie di nowcasting legate alle osservazioni dei fenomeni naturali, quali:

- (a) warning meteo;
- (b) meteorologico modellistico;
- (c) indicatori meteorologici;
- (d) nowcasting delle osservazioni.

<i>Tipologia di previsione</i>	<i>Grandezze previste</i>	<i>Risoluzione temporale e frequenza aggiornamento</i>	<i>Risoluzione spaziale e temporale</i>	<i>Modalità di comunicazione</i>
Warning meteorologici	Uragani, piogge torrenziali, fulminazione, grandine, raffiche di vento, tornado, nebbia, onde di calore, tempeste di sabbia e ghiaccio sulle strade	Tipicamente 3 ore con frequenza di aggiornamento dipendente all'evoluzione meteorologica	Area di impatto/ regione/città	Televisione, radio, internet, cellulari, schermi pubblici e sirene di allarme
Meteorologico modellistico	Pioggia, temperatura, Umidità, velocità e direzione del vento, copertura nuvolosa	60 minuti	1-3 km in zona cittadine e 5-10 km in zone rurali	Televisione, radio, internet, cellulari, schermi pubblici
Indicatori meteorologici	Qualità dell'aria, polveri, pollini, CO/SO ₂	60 minuti	10-50 km	Televisione, radio, internet, cellulari, schermi pubblici
Nowcasting delle osservazioni	Satellitari, eco radar e fulminazione	Tra 5 e 20 minuti	1-5 km	Internet, cellulari

Tabella 1: elenco generale dei tipici prodotti di nowcasting con le rispettive risoluzioni e modalità di trasmissione dell'informazione

Nel proseguo del documento ci si concentrerà solamente sul nowcasting basato sulle osservazioni tipicamente dei radar metereologici.

Qualunque sia la tecnica di nowcasting utilizzata sarà sempre basata sull'extrapolazione del movimento delle celle temporalesche osservate da una sequenza di immagini radar, per le quali, la frequenza di aggiornamento della previsione è usualmente elevata, ad es. ogni 5-10 minuti.

2.2. Finalità

Le finalità del nowcasting basato sulle osservazioni per cui si sviluppano le metodologie e le automatizzazioni delle procedure sono principalmente:

- idrologiche
- protezione civile

2.2.1. Idrologiche

Per le previsioni idrologiche, gli input di precipitazione sono di grande importanza, poiché l'accuratezza della predizione dipende dalla precisione non solo delle cumulate osservate, ma anche delle precipitazioni previste. Un sistema di nowcasting utilizzato per le applicazioni in idrologia dovrebbe presentare le seguenti caratteristiche:

- Alta risoluzione spaziale e temporale dei campi di precipitazione (risoluzione di un chilometro o superiore se la densità dei dati pluviometrici e la copertura con i dati radar lo consentono);
- Elevata frequenza di aggiornamento (i piccoli fiumi possono avere risposte temporali molto brevi, e quindi una frequenza di aggiornamento di 5 minuti - come è fornita da alcuni sistemi nowcasting - è ottimale);
- nowcasting probabilistico delle precipitazioni. (le previsioni di precipitazione sono spesso soggette a incertezze, specialmente in situazioni convettive, e vi è una crescente necessità di informazioni probabilistiche, cioè un insieme di scenari che consentono agli idrologi di valutare meglio la diffusione delle somme delle precipitazioni previste);

2.2.2. Protezione civile

Eventi meteorologici gravi come le inondazioni e i temporali spesso minacciano vite umane e beni materiali e possono portare a gravi perdite non solo economiche, nonostante il rapido sviluppo delle moderne tecnologie e di un sistema reattivo di protezione civile. Tutte le operazioni messe in atto dalla protezione civile hanno successo solo quando le squadre di soccorso sono ben coordinate, il che dipende fortemente dall'accuratezza delle informazioni in tempo reale (situazione meteorologica, warning e nowcasting). Avvisi tempestivi e appropriati alle autorità, alle organizzazioni di risposta alle emergenze e al pubblico in generale sui pericoli imminenti possono contribuire in modo significativo all'ottimizzazione delle misure di protezione e alla riduzione delle perdite in caso di calamità. In linea di principio all'interno del sistema di avviso soprattutto legato al nowcasting delle osservazioni, sono rilevanti tre processi decisionali:

- la definizione di soglie e criteri per gli avvertimenti, nonché il monitoraggio continuo e l'utilizzo di tecniche di nowcasting che permettono l'individuazione precoce dei rischi che potrebbero svilupparsi (ad esempio, precipitazioni, temporali, grandinate o concentrazioni di sostanze inquinanti);
- l'organizzazione responsabile della diffusione degli avvisi deve pianificare e specificare i contenuti del messaggio di avviso e le modalità di diffusione (ad esempio, sirena, annunci dei media, SMS o allarme) per informare il pubblico di destinazione;
- La reazione all'avvertimento legata alle procedure e piani operativi predisposti dagli enti e/o organizzazioni.

Ovviamente nella definizione di tali processi occorre tenere in considerazione dei falsi allarmi che possono causare perdite finanziarie e soprattutto la perdita di fiducia delle

persone nei servizi di avviso e nelle autorità di protezione civile. La disponibilità e l'affidabilità delle informazioni di previsione influiscono direttamente sulla qualità degli avvertimenti e quindi sull'efficacia delle misure di sicurezza per mitigare i danni alla vita o alle proprietà

2.3. Revisione da letteratura internazionale

Il Nowcasting era in origine ed è tuttora basato sull'estrapolazione delle osservazioni, ovvero, dato in input l'osservato, effettuare una previsione a breve termine. Già nel 1953 sia la precipitazione che i forti temporali potevano essere osservati dalle immagini radar e valutando l'evoluzione degli ultimi istanti veniva stimato il movimento delle strutture per fare la previsione di nowcasting. Proprio la differenza delle ultime 2-3 osservazioni permette di fare una stima della cosiddetta "avvezione", ovvero della velocità di spostamento che viene associata a ciascun pixel e ne permette di fare una previsione nel futuro sfruttando talune ipotesi in base al metodo utilizzato.

In pratica l'osservazione di un evento temporalesco viene identificata in un certo istante di osservazione, quindi seguendone l'evoluzione delle scansioni successive se ne può tracciare il moto sia in termine di direzione principale sia in termine di velocità di spostamento. Questo approccio, chiamato "cell-tracking", è adatto per identificare e tracciare forti eventi convettivi. Questo metodo non è l'unico presente in letteratura, ma sicuramente è uno dei più utilizzati.

È stato accertato come la precisione del nowcasting dipenda fortemente dalla precisione della stima iniziale delle precipitazioni radar, dal grado di organizzazione spaziale della pioggia, dall'intensità di pioggia e soprattutto dall'orizzonte temporale della previsione.

Le prime tecniche per la localizzazione temporale di nowcasting sono state sviluppate negli anni '60 e '70 estrapolando gli echi radar. Le tecniche di base per produrre previsioni quantitative delle precipitazioni dagli echi radar si basano sulla cross-correlazione o sull'individuazione di eco radar individuali (Collier, 1981). Austin e Bellon (1974) hanno implementato per la prima volta la tecnica di corrispondenza del modello di cross-correlazione per prevedere i temporali fino a 3 ore di finestra previsionale. Una tecnica di tracciamento dell'eco del centroide della cella è stata implementata da Browning et al. (1982) per l'estrapolazione delle precipitazioni frontali per le successive 6 ore. I risultati hanno mostrato come la perdita di predicibilità sia dovuta a processi di decadimento e sviluppo delle celle non modellati da queste tecniche di previsione.

Al fine di integrare i vantaggi delle tecniche di previsione delle precipitazioni basate su radar e previsioni meteorologiche (NWP), negli anni '80 si sono iniziati a sviluppare sistemi ibridi che fondono i nowcast del radar e le previsioni NWP con l'obiettivo di ottenere previsioni più affidabili di quelle che potrebbero fornire i modelli nowcasting o i modelli NWP usati singolarmente (Golding, 1998).

Alcune tecniche di nowcasting come NIMROD (Golding, 1998) e GANDOLF (Pierce et al., 2000) provano a combinare invece i dati radar con i dati satellitari e modelli meteorologici, ma i risultati non sono sempre migliori rispetto all'utilizzo delle sole

informazioni radar. NIMROD (Nowcasting and Initialization for Modelling Using Regional Observation Data System) è stato sviluppato per tracciare tempeste di tipo stratiforme e ha scarso potenziale con i sistemi temporaleschi di tipo convettivo, utilizzando una combinazione di echi radar e campi del vento NWP.

GANDOLF (Generating Advanced Nowcasts for Deployment in Operational Land-surface flood Forecasts) è un sistema automatizzato per la generazione di previsioni a breve termine (0-6 ore) di precipitazioni con risoluzioni spaziali (2 km) e temporali elevate (15 min) che combinano cross-correlazioni e algoritmi di avvezione del vento basati su NWP per prevedere il movimento di un insieme di strutture di pioggia. GANDOLF è stato sviluppato per il monitoraggio di tempeste di tipo convettivo multicelle su vasta scala e utilizza i dati di riflettività 3-D per identificare le tempeste convettive. Una volta che la tempesta è stata identificata, viene classificata in diversi stadi di sviluppo ne viene stimato lo sviluppo futuro.

Diversi altri schemi di nowcasting sono stati introdotti in letteratura. Tra questi, il sistema di identificazione, tracking, analisi e nowcasting (TITAN) dei temporali (Dixon e Weiner, 1993) è un algoritmo di tipo cell-tracking sviluppato specificamente per sistemi temporaleschi che ha la capacità di far crescere e dissipare le celle temporalesche basandosi sui trend storici.

Il sistema Auto-nowcaster (ANC) dei temporali (Mueller et al., 2003) è stato sviluppato per prevedere tempeste di tipo convettivo usando la logica fuzzy. La riflettività del radar viene estrapolata insieme ai dati del modello del vento e il sistema può stimare l'inizio, la crescita e la dissipazione delle tempeste (Wilson et al., 2004).

Un importante miglioramento nelle tecniche di nowcasting è stato fatto collegando la prevedibilità della precipitazione a scale temporali brevi con la scala spaziale delle strutture considerate (Wilson et al 1998, Germann e Zawadzki 2002). Ciò ha motivato lo sviluppo di metodi stocastici di nowcasting che operano nel dominio di Fourier, come la prognosi spettrale (S-PROG, Seed 2003) o il metodo proposto da Xu e Chandrasekar (2005). In queste tecniche, la rappresentazione spettrale consente di considerare naturalmente la dipendenza dalla scala delle proprietà statistiche.

S-PROG è un sistema di nowcasting che combina tre componenti: la stima dell'avvezione del campo, la scomposizione del campo in componenti di Fourier e un modello per l'evoluzione lagrangiana dipendente dalla scala del campo. I filtri di Fourier sono utilizzati per scomporre il campo di pioggia nelle sue componenti spettrali e l'evoluzione temporale lagrangiana è modellata usando un modello autoregressivo, che rende possibile un'omogeneità del campo di pioggia fluido previsto mantenendo l'evoluzione delle strutture alle varie scale. Il campo di previsione viene quindi semplicemente calcolato come la somma delle previsioni lagrangiane per ogni componente di Fourier.

Un altro esempio di modello ibrido è lo Schema di previsione delle precipitazioni probabilistiche stocastiche (STEPS), che unisce un'estrapolazione con una previsione NWP ridotta (Bowler et al., 2006).

STEPS ricava i dati previsionali da due fonti distinte: analisi della pioggia basata sul radar e previsioni del modello NWP. Per unirli con stime di incertezza, vengono considerati tre diverse componenti: una parte di previsione basata sull'estrapolazione,

una parte di previsione fornita dal modello NWP e una parte di rumore. Utilizzando le stime della affidabilità delle due parti previsionali è possibile determinare i pesi relativi da assegnare a ciascuna parte. L'incertezza nell'evoluzione del campo è modellata usando l'approccio moltiplicativo a cascata S-PROG (Seed 2003).

L'idea di esprimere l'incertezza aggiungendo una componente stocastica alla previsione di nowcasting è stata ulteriormente esplorata in Germann et al. (2009), in cui viene presentato REAL (Ensemble radar precipitation estimation for hydrology in a mountainous region): il campo di precipitazione radar viene perturbato con rumore casuale correlato, che rappresenta l'incertezza residua spazio-tempo nelle stime radar. Successivamente, in Berenguer et al. (2011) il modello SBMcast, già presentato in Berenguer et al. (2005) è stato adattato nella sua versione probabilistica sfruttando il modello delle Stringhe di Beads (Pegram e Clothier, 2001) per generare ensemble di previsioni di precipitazioni compatibili con le osservazioni (in evoluzione dalle osservazioni più recenti).

In questo quadro si colloca la tecnica probabilistica nowcasting PhaSt, introdotta da Metta et al. (2009). PhaSt, la cui descrizione sarà approfondita in seguito, è un modello stocastico non lineare spettrale basato sulla trasformazione empirica non lineare dei campi di pioggia seguita dalla loro evoluzione stocastica nello spazio spettrale.

Negli ultimi anni i progressi nel campo del nowcasting sono legati in primis alle capacità di calcolo sempre maggiori e seguono diversi filoni. Uno di questi è l'uso delle reti neurali per riconoscere un determinato modello di precipitazione. Panziera et al., (2011) hanno sviluppato uno strumento, NORA (Nowcasting of Orographic Rainfall by means of Analogues), per la previsione a breve termine delle precipitazioni tenendo in considerazione la forzante orografica e modificando il volume di pioggia utilizzando il metodo degli analoghi. I progressi in questo campo sono stati fatti anche in Foresti et al. (2018), in cui un archivio di 10 anni di immagini radar viene sfruttato per eseguire un'analisi statistica della crescita delle precipitazioni e del decadimento evidenziando le condizioni di flusso in mesoscala e le posizioni geografiche più inclini al miglioramento della precipitazione orografica nelle regioni montuose.

2.4. Revisione scientifica di alcuni sistemi di nowcasting automatici o semi-automatici

Per la natura del nowcasting associato alle alte frequenze di aggiornamento, le tecniche di previsione sono state negli anni rese automatiche. La maggior parte sono state sviluppate per l'individuazione delle precipitazioni e dei temporali, mentre altri strumenti sono utilizzati per rilevare le tendenze delle caratteristiche delle tempeste, come intensità, dimensioni e movimento. Molti di questi strumenti si sono dimostrati particolarmente efficaci a scopo di warning sul breve termine.

Gli utenti dei sistemi di nowcasting hanno spesso bisogno di informazioni in tempo reale e una rapida valutazione della situazione meteorologica attuale. Di conseguenza, il tempo di calcolo deve essere limitato, in particolare per i parametri meteorologici con una frequenza di aggiornamento elevata come la precipitazione (ad

esempio, 5 minuti). Contrariamente ai modelli NWP, che presentano un alto livello di sofisticazione e una fisica completa, che si traducono in tempi di calcolo lunghi, i sistemi nowcasting devono essere mantenuti relativamente semplici e spesso presentano approcci euristici. Euristico, in questo contesto, significa che le limitazioni di un metodo (ad esempio incertezze, inesattezze e applicabilità limitata) sono accettate onde evitare dispendio di tempo o risorse altrimenti sproporzionato. Questi metodi o strumenti di nowcasting hanno limiti diversi a seconda delle regioni per cui sono stati sviluppati o l'obiettivo principale per cui sono utilizzati.

Tipologia di Sistema	Acronimo
Cell-tracker	TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting)
	SCIT (Storm cell identification and tracking)
	TRT (Thunderstorm radar tracking algorithm)
	FAST (Fuzzy logic algorithm for storm tracking)
Area-tracker	MAPLE (McGill algorithm for precipitation nowcasting by Lagrangian extrapolation)
	Co-TREC (Continuous tracking radar echoes by correlation)
	GANDOLF (Generating Advanced Nowcasts for Deployment in Operational Land-surface flood Forecasts)
	CASA (Collaborative adaptive sensing of the Atmosphere radar network)
Osservazione multipla	ANC : Auto-nowcast system
	NowCastMIX - AutoWARN al Deutscher Wetterdienst
	CAN-NOW : Canadian Airport Nowcasting System
	INCA : Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis
Probabilistici	SWIRLS : Short-range Warnings of Intense Rainstorms in Localized Systems
	STEPS : <i>Short-term Ensemble Prediction System</i>
	PhaSt : <i>Phase Stochastic nowcasting</i>

Tabella 2: catalogo di sistemi di nowcasting operativi e semi-operativi usati in diversi centri di ricerca e/o meteorologici

Negli ultimi decenni sono state sviluppate una serie di tecniche, anche molto diverse tra loro, spesso in relazione alle caratteristiche dei sistemi di osservazione radar disponibili. Nei paragrafi seguenti si riporta una breve descrizione di alcune di esse.

2.4.1. TITAN: Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting

Originariamente sviluppato da Dixon e Wiener (1993), TITAN è un algoritmo basato sul cell-tracking in cui l'area di precipitazione viene selezionata in base a una soglia definita (circa 35 dBZ) e approssimata da un'ellisse (e dai relativi parametri). I parametri importanti per l'algoritmo sono il centroide della cella, il volume, la dimensione e la forma dell'area del temporale. L'algoritmo TITAN fa parte di un pacchetto software più grande con lo stesso nome. Il pacchetto TITAN è un intero sistema software che non solo supporta il monitoraggio e la previsione dei temporali, ma è stato anche ampliato per includere la correzione radar in base all'analisi dei dati storici e della climatologia.

2.4.2. SCIT: Storm cell identification and tracking

SCIT è un altro algoritmo di cell-tracking ampiamente utilizzato e pubblicato originariamente da Johnson et al. (1998). SCIT ha alcune somiglianze con TITAN nelle sue capacità di tracciamento delle celle temporalesche identificate. Il processo di definizione dello spostamento viene eseguito direttamente come funzione della distanza tra le celle, mentre l'identificazione della cella stessa è più complessa della semplice selezione basata su soglia di TITAN in quanto vengono usate diverse soglie di riflettività. SCIT è integrato nel sistema di supporto alle decisioni di avvertenza - Informazioni integrate (WDSS-II).

2.4.3. TRT: Thunderstorm radar tracking algorithm

L'algoritmo TRT è il sistema di cell-tracking utilizzato da Météo Swiss. Originariamente presentato in Hering et al. (2004), si è continuamente evoluto con l'aggiunta di nuove funzionalità, tra le quali l'identificazione delle celle convettive; in questo caso uno schema di soglia adattativo, consente di rilevare e monitorare le celle in diversi stadi della loro evoluzione. Come per gli algoritmi precedenti, questo algoritmo implementa al suo interno la suddivisione e la fusione di celle osservate.

2.4.4. FAST: Fuzzy logic algorithm for storm tracking

Questo algoritmo di cell-tracking recentemente sviluppato (Jung e Lee, 2015) ha un'importante differenza rispetto a quelli menzionati in precedenza, che è l'uso della logica fuzzy per definire il tracciamento di una tempesta basata sulla statistica di alcuni parametri.

Altri algoritmi di tracciamento cellulare ampiamente utilizzati nella comunità di nowcasting sono CELLTRACK (Novak, 2007), TRACE3-D (Handwerker, 2002) e RAD2-3 (Rigo and Llassat, 2004), tra gli altri.

2.4.5. MAPLE: McGill algorithm for precipitation nowcasting by Lagrangian extrapolation

Questo algoritmo è stato sviluppato presso la McGill University, in Canada, e utilizza tecniche statistiche sulle immagini radar passate per prevedere la posizione futura e l'intensità della riflettività e della quantità di precipitazione. Si tratta di un algoritmo sviluppato da Germann e Zawadzki (2002) che utilizza la tecnica di tracciamento con tecniche di tipo variazionale dell'eco radar (Laroche e Zawadzki, 1994) per stimare il campo di moto della precipitazione, nonché uno schema di tipo semi-lagrangiano modificato per l'avvezione. Questo strumento di nowcasting è stato applicato, tra gli altri, in diverse località come la Repubblica di Corea e la Svizzera.

2.4.6. Co-TREC: Continuous tracking radar echoes by correlation

Questo algoritmo di estrapolazione è incluso in diversi sistemi di trasmissione ed elaborazione dei dati radar come S-PROG (Berenguer, 2005), CELLTRACK (Novak, 2007) e RainCast (Schmid et al., 2000), tra gli altri. È un'estensione di TREC (Rinehart e Garvey, 1978) ottenuto applicando l'equazione di continuità come un vincolo regolare per filtrare i vettori di spostamento ottenuti massimizzando la correlazione tra echi radar consecutivi. Diversi schemi di avvezione possono essere applicati dopo che i vettori di movimento sono stati ottenuti, ma uno schema semi-lagrangiano è quello raccomandato, in accordo con Germann e Zawadzki (2002), per evitare cambiamenti nello spettro di potenza del campo di riflettività avanzata. Oltre all'applicazione di questi due algoritmi per ottenere il movimento di spostamento dell'ultima osservazione, il flusso ottico è attualmente una delle tecniche più estese per determinare questi vettori. Queste tre tecniche sono eseguite nello spazio fisico, ma un tentativo di determinare i vettori di movimento nello spazio di frequenza è stato formulato da Ruzanski et al. (2011) nel sistema nowcasting di CASA.

2.4.7. INCA: Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis

L'INCA è stato sviluppato per l'utilizzo in territori montuosi (Haiden et al., 2011). I campi di analisi e nowcasting includono temperatura, umidità, vento, quantità e tipo di precipitazioni, nuvolosità e radiazione globale. La parte nowcasting utilizza i classici vettori di movimento basati sulla correlazione derivati da immagini consecutive. Nel caso delle precipitazioni, il nowcasting mette in relazione l'intensità e l'effetto dell'elevazione. Dopo 2-6 ore di previsione, il nowcasting viene correlato con la previsione NWP fornita da un modello ad area limitata, utilizzando una funzione di ponderazione temporale predefinita.

2.4.8. ANC: Auto-nowcast system

Il riferimento principale per questo sistema è Mueller et al. (2003), esso è un sistema di nowcasting sviluppato negli Stati Uniti dall'NCAR e installato dal Laboratorio di Sviluppo Meteorologico. Il sistema ANC è un sofisticato sistema nowcast completo che utilizza una tecnica di fusione dei dati per ottimizzare l'uso dei dati meteorologici nella previsione di nowcasting a breve termine. Le applicazioni software nell'ambiente ANC includono algoritmi per l'identificazione di zone di convergenza dello strato limite, interazioni tempesta-temporale, rilevamento e crescita di nubi cumuliformi, moti convettivi ecc. Un'applicazione fuzzy-logic viene utilizzata per consentire all'utente di combinare le uscite ponderate dei vari algoritmi di analisi al fine di produrre previsioni delle strutture di precipitazione nello spazio e nel tempo, e tentare di individuare la tendenza alla crescita e decadimento delle stesse.

2.4.9. NowCastMIX - AutoWARN al Deutscher Wetterdienst

NowCastMIX è un sistema di allertamento che permette al previsore di ricevere ogni 5 minuti aree di warning, mentre agli abbonati di ricevere warning direttamente su smartphone, tablet e Internet. Vengono fornite informazioni su temporali e fenomeni meteorologici connessi (grandine, raffiche, intensità delle precipitazioni), forti piogge, intensità delle precipitazioni nevose e pioggia gelata.

2.4.10. CAN-NOW: Canadian Airport Nowcasting System

Il sistema CAN-Now è un sistema di previsioni a breve termine sviluppato da Environment and Climate Change Canada. È stato originariamente testato all'aeroporto di Toronto e il suo uso è raccomandato per i principali aeroporti. Il sistema utilizza diverse fonti di informazione quali dati numerici del modello, rapporti pilota, osservazioni del sensore in situ (precipitazioni, formazione di ghiaccio, visibilità e vento), rilevamento remoto sul posto (come radar verticale e radiometro a microonde) e rilevazione a distanza (satellite e radar). L'output fornisce informazioni quali la visibilità, l'intensità e il tipo di precipitazione per supportare i decisori come piloti, spedizionieri o controllori del traffico aereo a fare piani con maggiori margini di sicurezza. Una combinazione di sistemi di nowcasting sono integrati in CAN-Now come Integrated Weighting System (Huang, 2011), Adaptive Blending of Observations and Models (Bailey et al., 2009) e Canadian Canada Canadian Decar Support Support basato sullo schema sviluppato da Bellon e Austin (1986).

2.4.11. SWIRLS: Short-range Warnings of Intense Rainstorms in Localized Systems

La seconda versione di questo sistema di nowcasting, SWIRLS-2, è un sistema di previsione quantitativa delle precipitazioni (QPF) costituito da una famiglia di algoritmi di nowcasting, nonché generazione, diffusione e visualizzazione di prodotti tramite canali diversi. Un riassunto di alcune funzionalità di questo sistema può essere trovato in Li e Lai (2004). SWIRLS-2 si concentra su eventi di precipitazione intensa e sfrutta la combinazione di un local tracker (una versione adattata di CO-TREC) e un algoritmo di tracciamento cellulare (GTrack, simile a TITAN). SWIRLS viene utilizzato in combinazione con un componente NWP a ciclo di aggiornamento rapido per estendere la previsione fino a 24 ore in anticipo.

2.4.12. STEPS: Short-term Ensemble Prediction System

STEPS è un sistema di stima e previsione delle precipitazioni quantitative radar basato su S-PROG (Seed, 2003). È stato sviluppato congiuntamente dall'Ufficio australiano di meteorologia e dal Regno Unito Met Office (Bowler et al., 2006). L'idea di base è di scomporre il campo delle precipitazioni in una somma di k livelli diversi (la "cascata"), con ogni livello che rappresenta le caratteristiche di una particolare scala spaziale e considerare l'evoluzione di questi livelli separatamente. Questa decomposizione è

ottenuta sia da campi NWP che radar estrapolati e, allo stesso tempo, viene aggiunto un rumore correlato con proprietà specifiche. STEPS unisce questi tre campi decomposti dando pesi diversi a seconda della scala e del tempo di previsione. Una volta terminata il mixing per ogni scala, i diversi livelli vengono sommati di nuovo, ottenendo un campo di riflettività finale. L'ensemble si ottiene generando diversi campi di rumore correlato (processo stocastico).

2.4.13. PhaSt: Phase Stochastic nowcasting

PhaSt (Metta et al., 2009) è una procedura di nowcasting basata sulla trasformazione empirica non lineare dei campi di precipitazione forniti dalle misurazioni radar e sull'evoluzione stocastica dei campi trasformati nello spazio spettrale. Questa procedura è in grado di fornire un ensemble di previsione, ovvero il nowcasting probabilistico dei campi di precipitazione fino a un orizzonte temporale di circa due ore.

In questo approccio, la stima iniziale del volume di pioggia e lo spettro di potenza del campo di precipitazione sono mantenuti costanti e un processo stocastico di Ornstein-Uhlenbeck viene utilizzato per l'evoluzione temporale delle fasi di Fourier del campo di precipitazione "gaussianizzato". Il metodo include automaticamente l'avanzamento su larga scala delle strutture di precipitazione e riproduce la natura non lineare e intermittente dei campi di pioggia. Inoltre, l'uso dello spazio spettrale invece dello spazio fisico assicura che le correlazioni spaziali dei campi di precipitazione siano preservate. Per consentire la presenza di correlazioni temporali nelle frequenze angolari viene utilizzato un modello di tipo Langevin.

L'uso di un processo stocastico per l'evoluzione delle fasi di Fourier consente di generare molte realizzazioni, da utilizzare come membri di un insieme di precipitazione. Tutti i membri dell'ensemble sono caratterizzati dalla stessa distribuzione di ampiezza e spettri di potenza molto simili. Tuttavia, l'evoluzione della fase (cioè il posizionamento delle strutture di precipitazione) si evolve in modo diverso nelle diverse realizzazioni, fornendo una stima della probabilità di occorrenza di precipitazione in un dato punto nello spazio e in un dato momento nel tempo.

Tale algoritmo è in uso operativo presso CFMI-PC della Regione Liguria da diversi anni. Nel corso del tempo sono state apportate diverse innovazioni al metodo passando da 10 a 40 membri dell'ensemble per previsione; questo numero di ensemble per la scala spaziale in cui è applicato il modello può essere considerato sufficientemente rappresentativo della variabilità delle strutture precipitative.

2.5. Limiti di applicazione

Il limite principale della previsione di nowcasting è che l'accuratezza è piuttosto elevata per tempi di previsione brevi (generalmente 20-120 minuti a seconda della tipologia di evento in corso) e, poiché si basa sull'estrapolazione del campo delle precipitazioni osservate, la sua precisione diminuisce rapidamente all'aumentare dell'orizzonte temporale.

Uno dei motivi per cui l'accuratezza diminuisce rapidamente con l'aumentare dei tempi di previsione è che le tecniche di nowcasting radar non considerano (o modellano stocasticamente) processi come la crescita e il decadimento delle strutture di precipitazione (Golding, 1998), che su orizzonti previsionali lunghi diventano processi importanti. Quindi, per brevissimo tempo di previsione (0-2 h), il radar nowcasting presenta prestazioni migliori, mentre per tempi di previsione più lunghi, le previsioni basate sul sistema di previsione numerica (NWPS) sono più affidabili (Kilambi e Zawadzki, 2005; Lin et al., 2005; Kober et al., 2012; Wang et al., 2015).

Gli strumenti operativi di nowcasting presentati sono all'avanguardia, ma sono in corso ricerche per estendere le loro capacità. L'obiettivo principale sembra essere l'incertezza associata alla crescita e al decadimento delle precipitazioni, e anche agli errori locali dovuti al ciclo diurno o alle variazioni delle raffiche di vento dovute all'orografia o agli effetti su piccola scala. La maggior parte di questi sistemi è deterministica, ma la tendenza attuale consiste nel tenere conto delle incertezze precedentemente descritte mediante perturbazioni stocastiche, metodi bayesiani e simili.

2.6. Validazione e score statistici

La verifica della qualità di una previsione di nowcasting risulta abbastanza complessa per la natura stessa del prodotto, in quanto dipende fortemente dalle caratteristiche della precipitazione (soprattutto in caso di forti temporali la natura intermittente del fenomeno risulta difficile da riprodurre), dalla qualità delle osservazioni effettuate (errori nel posizionamento e/o intensità misurata si rispecchiano nel risultato), dai parametri utilizzati nei diversi modelli (parametrizzazioni legate alla tipologia di fenomeno), nonché dalla tipologia stessa di verifica adottata (una verifica pixel by pixel potrebbe fornire il classico effetto double-penalty ovvero avere score scadenti dovuti a shift spazio-temporali delle celle anche su previsioni generalmente buone).

Gli approcci di verifica dipendono non solo dagli utenti e dallo scopo della verifica, ma anche dalla natura delle variabili verificate, nonché dalle caratteristiche dei nowcasts e delle osservazioni di riferimento, ognuno dei quali può richiedere diversi metodi di verifica. Quindi una volta identificata la metodologia e le grandezze da verificare occorre identificare il corretto modo di visualizzazione dei risultati (grafici, punteggi, ecc.), tenendo bene in considerazione come non ci sia un unico score rappresentativo della previsione di nowcasting, ma occorranò più metodi e misure rappresentative.

Normalmente le previsioni di nowcasting dovrebbero essere confrontate (o verificate) usando una corrispondente osservazione di ciò che effettivamente è accaduto, o qualche buona stima del vero risultato. Occorre tenere bene in considerazione la natura del nowcasting ovvero avere frequenze di aggiornamento molto elevate e di conseguenza una mole di dati enorme da analizzare, talvolta che presenta grandi differenze di qualità in relazione al momento della previsione nonché dell'orizzonte

temporale utilizzato. Pertanto estrarre uno score rappresentativo della previsione di nowcasting sull'intero evento potrebbe fornire un valore medio non accettabile, mentre avere prestazioni ottimali in una definita parte dell'evento.

Generalmente gli score più utilizzati sono quelli derivanti dalla classica tabella di contingenza, ovvero:

- CSI: critical success index
- FAR: false alarm ratio
- POD: probability of detection
- HR: hit rate
- Bias.

		PIOGGIA OSSERVATA	
		SI	NO
PIOGGIA PREVISTA	SI	HIT	FALSO ALLARME
	NO	MISS	CORRECT REJECTION

Figura 1: tabella di contingenza

Molto frequente utilizzare anche i classici RMSE, Bias, ecc ed infine si può pensare anche ad una validazione a livello idrologico per la quale si utilizza il nowcasting come input in un modello afflussi/deflussi e verificandone la previsione idrologica con l'osservazione del livello dei fiumi, ovvero della portata, in certe sezioni del fiume stesso.

Oltre ai classici score presentati, a nostro avviso, risulta molto efficace la validazione di tipo idrologico. Sebbene il modello idrologico introduce un elemento di incertezza ed è di per se un sistema che necessita calibrazione; è altrettanto vero che utilizzando come benchmark il run del modello idrologico alimentato con le osservazioni, tali incertezze si riducono molto. Non interessa infatti capire se il modello idrologico è calibrato o meno ma piuttosto capire se la risposta in fase di previsione è simile alla risposta in caso di utilizzo delle osservazioni. Il grande vantaggio è che la verifica idrologica è meno penalizzante rispetto ai classici scores visti prima e aiuta a capire se il modello di nowcasting si comporta sufficientemente bene pur non riproducendo le strutture di precipitazione in maniera perfetta alla piccola scala.

Il documento sul nowcasting redatto dal WMO fornisce anche delle indicazioni per una corretta verifica del nowcasting, dal quale se ne può estrapolare:

- Comprendere le esigenze degli utenti interessati alla verifica nowcast;
- Identificare metodi e attributi di verifica in grado di fornire risposte alle domande di interesse;
- Selezionare metriche e grafici che misurino e rappresentino adeguatamente gli attributi;
- Identificare e raccogliere un insieme di rappresentazioni corrispondenti di previsioni e osservazioni;
- Calcolare metriche di verifica dell'elaborazione utilizzando, ad esempio, strumenti e pacchetti di verifica disponibili gratuitamente come gli strumenti di valutazione del modello e il pacchetto di verifica R;
- Descrivere i risultati della verifica in modo significativo per gli utenti;
- Effettuare valutazioni della qualità nowcast su una base di routine per fornire informazioni continue sulle prestazioni nowcast.

Le metodologie e le metriche di verifica dovrebbero essere il più semplici possibile per fornire indicazioni sulle previsioni di nowcasting di qualità che siano significativi e di facile comprensione. Le metriche che tentano di riepilogare i vari attributi di previsione in una singola misura composita non sono incoraggiate. Dovrebbe essere presentato un numero sufficiente di parametri per fornire un riepilogo credibile e completo dei diversi aspetti delle prestazioni previsionali.

Nella seguente tabella si riportano alcuni metodi di rappresentazione dei risultati che possono essere più o meno funzionali in base agli scores scelti.

Natura della previsione	Grandezza fisica	Raccomandazioni
Continua	Cumulata di precipitazione	Lo scatterplot è uno dei metodi più facili e utili per la valutazione. Misure di accuratezza possono essere l'errore medio assoluto e il RMSE. L'errore medio percentuale può essere un buon indicatore laddove l'errore aumenti con l'aumentare della grandezza osservata, come la cumulata di precipitazione.
Binaria	Occorrenza di nebbia, grandine, ecc	La misura di accuratezza può esser fatta tramite score statistici quali hit e false alarm rates, da usarsi insieme per una migliore visione globale. Il bias di può essere usato per identificare errori sistematici del Sistema. Nel caso di eventi severe e es estremi può essere molto utile anche l'extreme dependency index (EDI).
Multi-categoria	Tipologia di precipitazione	Il modo più facile per la valutazione è attraverso le tabelle di contingenza che mostrano le osservazioni e le previsioni rispetto alla categoria necessaria. Non ci sono molti altri indicatori se non la possibilità di ridurre le informazioni a singole serie binarie attraverso delle soglie e lavorare su quelle.
Probabilistica	Probabilità di precipitazione	L'utilizzo del Brier score da solo non è raccomandabile. I diagrammi di credibilità forniscono indicazioni aggregate sulle performance delle previsioni. Le receiver operating characteristic (curva ROC) è un potente mezzo di misurazione.
Distribuzione spaziale	Temporalmente e forti piogge	Il principale motivo per utilizzare queste tecniche è evitare il problema del double-penalty e fornire indicazioni da alta risoluzione sulle previsioni. Il metodo Neighbourhood (fuzzy) utilizza score statistici e MSE per dare maggior credito alle previsioni simili.

Tabella 3: catalogo dei metodi di verifica in relazione alla natura del nowcasting, del tipo di evento e del metodo di verifica

3. Affidabilità e performance del nowcasting nell'utilizzo operativo

Sono state considerate diverse esperienze a livello nazionale e internazionale per cercare di valutare l'affidabilità e la capacità predittiva dei sistemi di nowcasting.

È di fondamentale importanza che si parta dal presupposto che **il nowcasting è una previsione a tutti gli effetti** pertanto va trattata come tale. In quanto previsione è affetta da una certa incertezza e da un certo errore che possono anche variare, fissata la tecnica in uso, da una situazione meteorologica all'altra. L'operatore deve quindi prendere coscienza che quando guarda i risultati un prodotto derivato da un sistema di nowcasting (prendiamo un esempio semplice: la previsione a 30 minuti del campo di pioggia o di riflettività), sta analizzando e utilizzando una previsione, un possibile scenario futuro.

La verifica non è sempre facile come descritto nel capitolo precedente, a ciò si aggiunge che nei casi di verifica ad evento:

- 1 eventi previsti anche bene ma che non danno effetti rilevanti (colpiscono zone disabitate) spesso contano poco non vengono considerati
- 2 eventi imprevisi che poi colpiscono zone vulnerabili e causano danni spesso pesano di più nella valutazione (a volte in maniera anche inconscia)

3.1. Esperienza di ARPA Piemonte

L'ARPA Piemonte utilizza ormai da vario tempo (più di 2 anni) un sistema di riconoscimento e classificazione delle celle temporalesche e successivo tracking delle stesse per le successive 1-2 ore.

Il riconoscimento delle celle temporalesche si basa fondamentalmente sull'analisi dei dati radar di prodotti derivati, quali VIL, Echo TOP, POH, Echo TOP/VIL, Riflettività, nonché di alcuni prodotti Meteosat. Alla cella viene assegnato un grado di severità secondo i valori assunti da una funzione ($f(X_i)$, dove X_i sono le grandezze stimate da radar) calcolata con un'opportuna combinazione dei valori normalizzati di grandezze misurate o derivate da radar. Per definire il livello di severità, denominato SSI, è stata effettuata una analisi statistica sui valori assunti dalla funzione $f(X_i)$ che ha condotto ad assegnare a SSI valori discreti da 1 (temporale molto debole) a 5 (temporale molto forte).

Il metodo di riconoscimento delle celle temporalesche è stato validato andando a ricercare su web (giornali, siti di news, ...etc.) notizie di danni ed effetti al suolo a seguito di eventi occorsi. Sono stati poi analizzate le aree individuate dall'algoritmo e il livello di severità ad esse attribuito. Secondo il metodo di analisi adottato è risultato che su 19 eventi considerati, l'algoritmo ha assegnato un adeguato livello di severità a 17 eventi, 2 eventi sono stati sovrastimati, nessun evento è stato sottostimato. La parte di algoritmi che danno indicazioni sulla severità dei temporali in atto o occorsi nell'immediato passato sembra dare quindi risultati soddisfacenti.

Il tracking, finalizzato a prevedere lo spostamento futuro, è effettuato correlando 2 successive immagini di riflettività o precipitazione radar andando, nella sostanza ad individuare la posizione della stessa cella a due istanti temporali diversi; una volta stimata velocità e direzioni delle singole strutture si costruisce un cono spaziale che indica la possibile porzione di territorio che sarà colpita nell'immediato futuro.

Non sono al momento (primi sei mesi 2019) state fatte verifiche quali-quantitative di tale sistema per quanto riguarda la parte previsionale. Come in tutti i sistemi di questo tipo non è sempre facile una valutazione oggettiva delle performance del sistema, molto dipende da che metodo di valutazione si adotta. Il personale ARPA Piemonte ha comunque intenzione di portare avanti un'attività di validazione quantitativa nel prossimo futuro.

La percezione soggettiva e il feedback degli operatori che ne fanno uso porta comunque ad una valutazione positiva; viene riconosciuto il valore aggiunto di avere a disposizione uno strumento di questo tipo e il contenuto informativo è comunque di aiuto nel cercare di prevedere l'evoluzione dei temporali nell'immediato futuro; è

comunque preso come dato di fatto che la previsione può essere erronea ed è affetta da incertezza, pertanto l'utilizzatore è conscio del fatto che la posizione e la severità del temporale previste soprattutto dopo i primi 30-60 minuti potrebbero non essere corrette.

In particolare, data la tipologia di metodologia, è noto al personale sviluppatore e manutentore che le condizioni ottimali di funzionamento sono costituite dalla presenza di poche strutture temporalesche ben definite nel dominio di analisi. In caso di presenza di precipitazioni più diffuse o di numerose strutture di precipitazione il sistema tende più frequentemente a produrre errori.

Nella figura seguente è riportato un esempio di risultato del sistema di individuazione dei temporali e successivo tracking. Il colore delle celle indica il livello di severità, il cono indica la possibile traiettoria delle celle nei successivi 60 minuti.

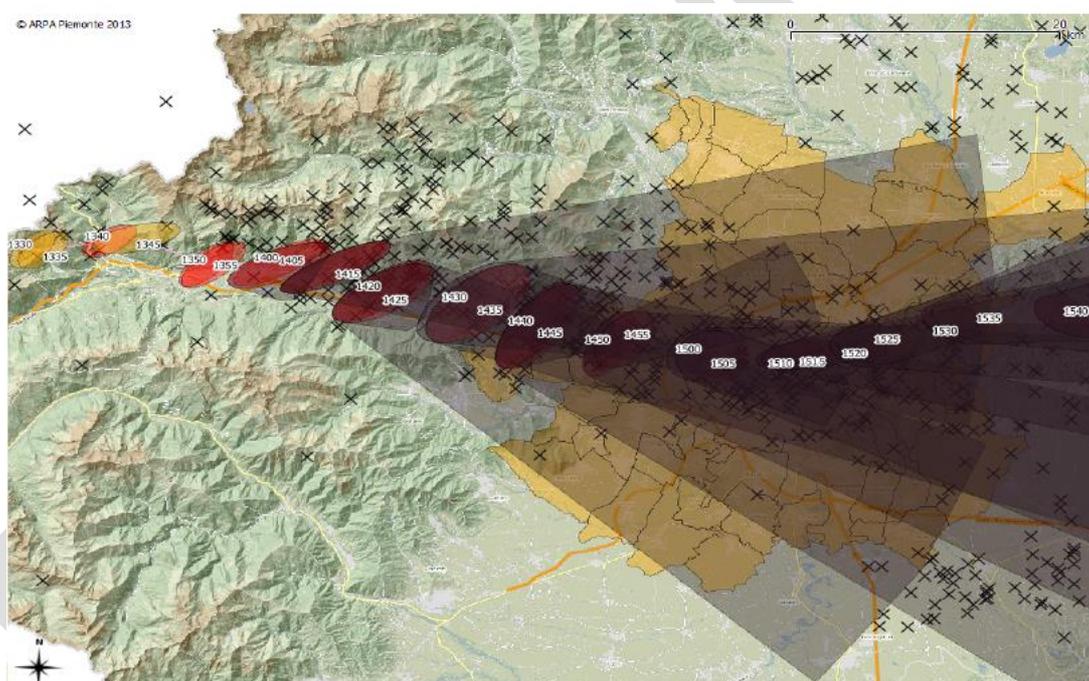


Figura 2: Evento del 2013/09/24. Esempio di applicazione del sistema di Storm Tracking. Il colore delle celle indica il livello di severità, il cono indica la possibile traiettoria delle celle nei successivi 60 minuti. Come è possibile notare l'incertezza della direzione di spostamento può essere anche discretamente elevata. Supponendo di voler fare una verifica del sistema prendendo come elementi territoriali obiettivo i comuni (aree gialle), il sistema da un punto di vista teorico ha sicuramente centrato l'obiettivo in molti istanti di previsione, in quanto la struttura precipitante ha colpito vari comuni compresi nel cono di previsione; d'altra parte ci sono sicuramente vari comuni che rientravano nel cono previsionale ma che non sono stati toccati dall'evento. La percezione per l'ente territoriale o del cittadino non colpito è probabilmente di fallimento del sistema di previsione, in realtà si tratta di una conseguenza della necessità di gestire l'incertezza previsionale.

In sintesi

In generale l'affidabilità è mediamente buona su strutture temporalesche fino a 30-60 minuti previsione.

Dai 60 minuti in poi l'affidabilità degrada velocemente anche in ragione della tipologia di algoritmo e della durata media dei fenomeni che si propone di predire.

3.2. Esperienza di ARPA Liguria

L'ARPA Liguria utilizza ormai da vario tempo (circa 5 anni) un sistema di previsione della precipitazione breve termine di tipo probabilistico basato su stime radar di pioggia.

Il metodo già menzionato nelle sezioni precedenti utilizza un approccio spettrale e permette di generare un numero predefinito di scenari di pioggia futuri con le stesse caratteristiche in termini di risoluzione temporale e spaziale dei campi di partenza.

Dal punto di vista scientifico sono stati descritti nei paragrafi precedenti le verifiche e gli scores che ne descrivono le performance medie.

L'affidabilità della previsione è variabile da situazione a situazione, in generale i fattori che influiscono sono:

- La capacità di interpretare l'evoluzione della precipitazione in termini di spostamento e direzione dall'analisi spettrale
- La nascita e morte di strutture precipitanti

In generale modelli di questo genere possono dare discreti risultati sia in caso di piogge diffuse che di presenza di strutture precipitanti di dimensione ridotta come i temporali. Situazioni che possono portare ad errori sono certamente quelle in cui nascono da un istante all'altro nuove strutture che rendono più incerta e potenzialmente erronea la stima delle velocità di fase, questo si riflette su come il modello fa muovere ed evolvere le strutture.

Al momento ARPA Liguria non ha svolto un'attività di verifica rigorosa numerica sul set disponibile di dati passati; si pone nuovamente il problema di quale tipo di verifica fare e di come ha senso impostare una verifica rigorosa strettamente numerica. Le verifiche basate su tipici scores e metriche (vedi paragrafo della review scientifica) sono a volte poco significative e in certi casi addirittura eccessivamente penalizzanti sotto un profilo strettamente operativo. Ad esempio errori di pochi km possono portare a valori delle metriche molto bassi, ma dal punto di vista operativo potremmo avere invece una previsione più che accettabile.

ARPA Liguria ha tuttavia svolto una verifica più di tipo visivo qualitativo che è ritenuta tutto sommato già un buon indicatore delle performance del sistema, in quanto, sebbene più soggettiva si avvicina maggiormente a quella che è la percezione e la sensazione dell'operatore che guarda materialmente i prodotti durante gli eventi. L'analisi ha considerato circa 20 giorni di pioggia intensa in diversi giorni dell'anno, all'interno di ogni giornata si sono analizzate le previsioni a diversi istanti temporali.

Tale verifica ha portato alla conclusione che sicuramente lo strumento di nowcasting in uso porta valore aggiunto nel predire l'evoluzione del campo di pioggia nei successivi 30-120 minuti.

Nelle figure seguenti si riportano due esempi di verifica della previsione, i prodotti di riferimento sono 2:

1. Probabilità di superamento delle soglie 10 e 35, mappate in scale di verdi e giallo-arancione rispettivamente
2. Peggior scenario. Ovvero punto per punto si va a costruire una mappa considerando il valore più intenso degli N scenari disponibili

Riferendoci ad esempio alla Figura 3 abbiamo che:

- La prima riga rappresenta l'osservato da -20 minuti a +90 minuti rispetto ad un istante di riferimento (seconda immagine sulla riga), mappe in mm/h
- La seconda riga rappresenta la previsione in termini di peggior scenario fatta a -30 minuti, quindi, ad esempio all'istante di riferimento possiamo confrontare la previsione con orizzonte temporale 30 minuti, mappe in mm/h
- La terza riga rappresenta la previsione in termini di probabilità di superamento delle soglie fatta all'istante di riferimento, mappe in percentuale; in questo caso il confronto andrà fatto con +30, +60, +90 minuti
- La quarta riga rappresenta la previsione in termini di peggior scenario fatta all'istante di riferimento, mappe in mm/h; in questo caso il confronto andrà fatto con +30, +60, +90 minuti

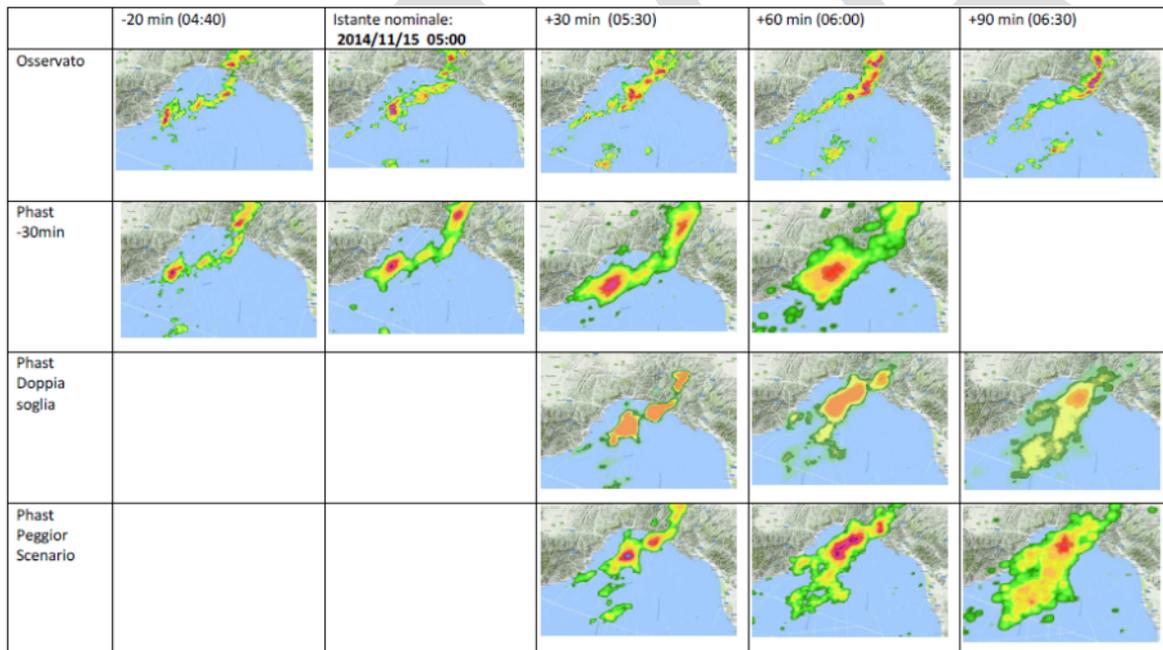


Figura 3: Evento del 2014/11/12. Verifica delle previsioni di precipitazione effettuate con il modello Phast

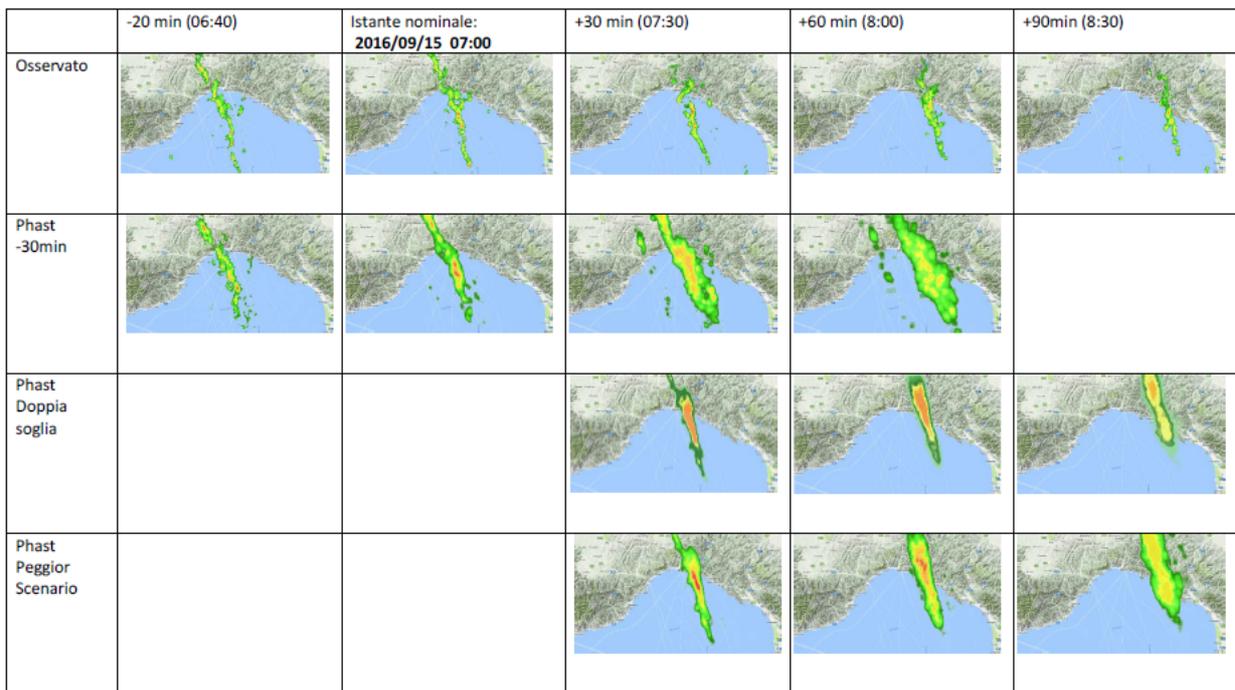


Figura 4: Evento del 2016/09/15. Verifica delle previsioni di precipitazione effettuate con il modello Phast

In sintesi

In generale l'affidabilità è mediamente buona fino a 30-40 minuti previsione.

Dai 30-40 minuti in poi l'affidabilità può variare da evento ad evento.

Dagli 80-90 minuti è generalmente abbastanza bassa e descrive solitamente una possibile tendenza

3.3. Esperienza di ARPA Emilia Romagna

L'ARPA Emilia Romagna ha implementato e customizzato un sistema di Nowcasting denominato Titan. Esso è però principalmente utilizzato per analisi post evento e studio di casi particolari, dal punto di vista operativo nessuno strumento di nowcasting vero e proprio viene utilizzato. L'operatore effettua delle proiezioni più o meno soggettive basate sugli strumenti e prodotti che fanno uso prevalentemente delle osservazioni (mappe di precipitazione, probabilità di grandine, VIL, ...e altri). L'analisi dei vari prodotti porta l'operatore fare una valutazione su ciò che sta accadendo e ciò che potrebbe accadere nell'immediato futuro.

Viene utilizzato operativamente il prodotto RDT (Rapid Development Thunderstorm) sviluppato nell'ambito del consorzio NWCSAF che si basa su un algoritmo di riconoscimento delle celle temporalesche, distinguendo le fasi evolutive delle stesse, e fornendo un vettore di spostamento. Esso è basato sostanzialmente sull'analisi dei dati satellitari, vengono impiegati diversi canali del meteosat; in fase di visualizzazione il risultato è sovrapposto ai dati di riflettività radar, la procedura non fa uso di modellistica meteorologica nella definizione dei vettori spostamento. Il prodotto è aggiornato con una frequenza di 5 minuti.

Sono scaricabili dalla rete documenti e degli articoli relativi alla validazione ad opera di EUMETSAT anche se la versione dell'algoritmo non è identica a quella implementata operativamente dal CF di ARPA Emilia Romagna.

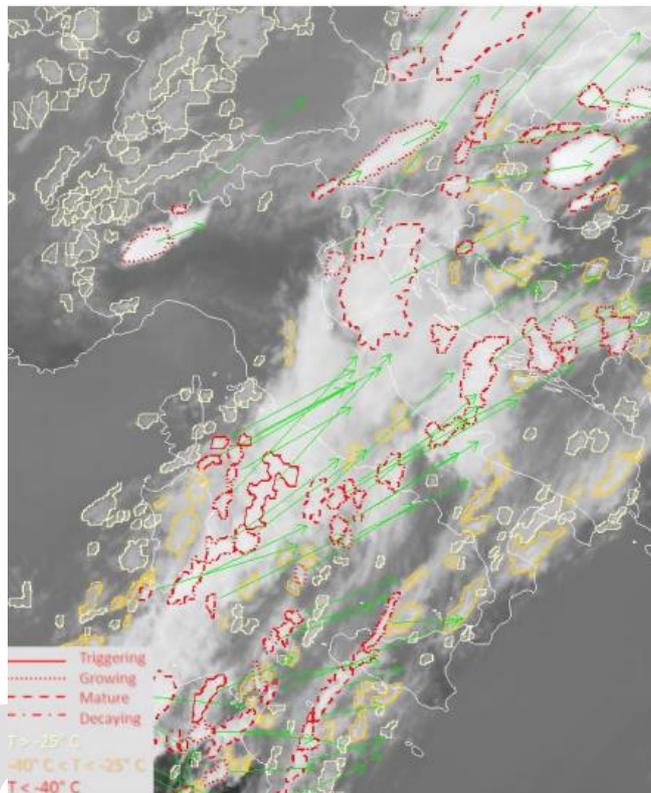


Figura 5: Esempio di output del RTD, si possono vedere le strutture individuate dall'algoritmo e i vettori spostamento

L'RDT oltre ad individuare le celle temporalesche e ad assegnare un vettore spostamento, fornisce un'indicazione del probabile stato della cella stessa, ovvero se la cella è in fase di crescita, è matura o in fase di dissolvimento.

Il sistema RDT risulta efficiente specialmente nei casi di sviluppo di convezione isolata, nei casi essa si sviluppi all'interno di sistemi frontali l'identificazione delle celle temporalesche diventa maggiormente incerta.

Gli operatori del centro funzionale ritengono la proiezione futura affidabile su orizzonti temporali di 30-40 minuti e talvolta di 60 minuti a seconda della tipologia e dell'evoluzione dell'evento.

In sintesi

In generale l'affidabilità in termini di individuazione dello spostamento del sistema temporalesco è mediamente buona fino ad un massimo di 60 minuti previsione.

3.4. Esperienza di Meteo SWISS

Meteoswiss utilizza operativamente vari strumenti per il monitoraggio ed il nowcasting degli eventi di precipitazione intensi. Dal punto di vista concettuale l'idea è quella di

avere un sistema integrato che sfrutti osservazioni e modelli per effettuare una previsione su un orizzonte temporale di circa 6 ore. Lo schema seguente riporta sinteticamente l'approccio adottato.

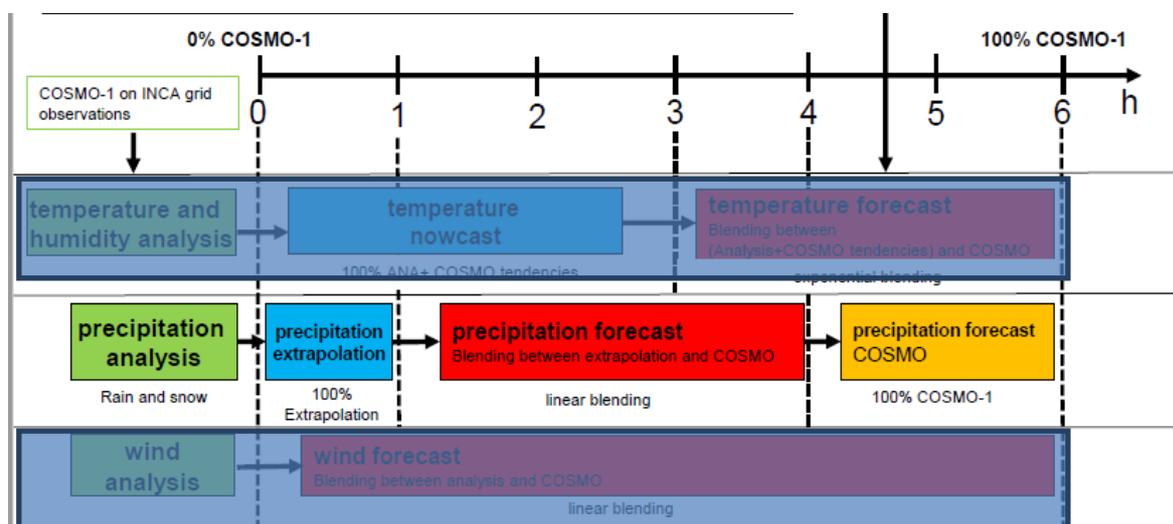


Figura 6: Schema concettuale del sistema previsionale di Meteoswiss, le previsioni di temperatura e vento sono parzialmente perché di minor interesse in questo contesto

Come si può vedere la previsione di precipitazione si può dire "sfumi" da una previsione effettuata con tecniche di estrapolazione basate sostanzialmente sulle osservazioni (radar, etc.) alla previsione effettuata con modello meteorologico; tale transizione è effettuata con una tecnica di blending lineare dei campi di pioggia, in altre parole le previsioni da estrapolazione e da modello meteorologico vengono pesate con peso crescente per quest'ultimo all'allontanarsi dall'istante di previsione. Due, tra i vari sistemi modellistici integrati, in particolare sono focali dal punto di vista delle previsioni di pioggia e dei temporali:

NowPAL

È un sistema di osservazione-previsione delle precipitazioni basato su osservazioni da radar e da pluviometro, tecnica di nowcasting basata su estrapolazione (Maple), un modello meteorologico (COSMO). Esso permette di fornire un warning in base al confronto della pioggia occorrente (passato+presente) e un predefinito set di soglie.

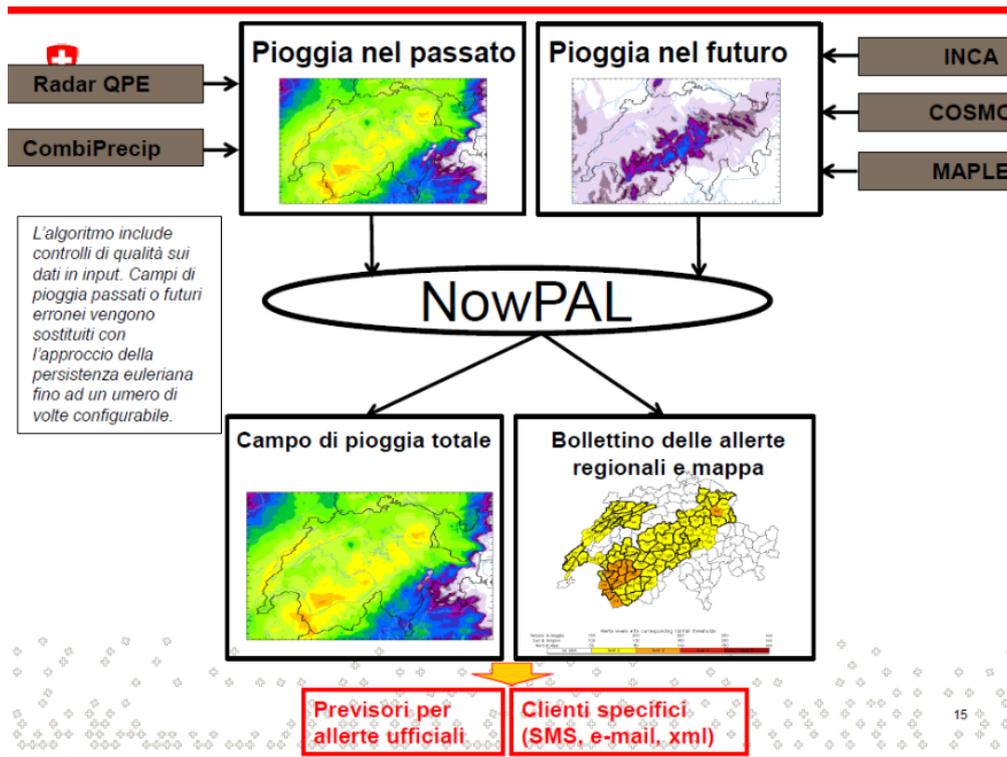


Figura 7: Schema di funzionamento di NowPAL

TRT.

E' un sistema di individuazione e tracking dei temporali simile a quanto in uso in ARPAP e che va a semplificare con delle ellissi le zone colpite; questo approccio combina l'individuazione sistema temporale (ellisse) con una stima della pioggia sui pixel della struttura realmente misurata.

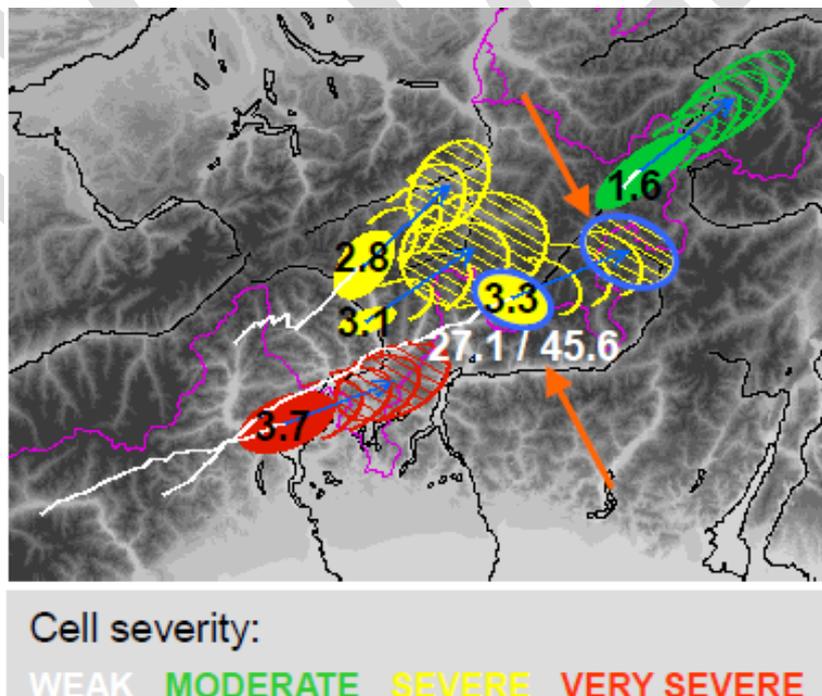


Figura 8: Esempio di uscita del sistema TRT.

I due prodotti appena citati sono utilizzati per alimentare un sistema detto Flash O matic che fornisce dei warning semi-automatici sul territorio nazionale. Il warning (NB nel sistema Svizzero è un vero e proprio allerta) è emesso su aree di dimensione comparabile a piccole provincie (200-500 km²).

L'operatore ha il compito di verificare ed eventualmente modificare il risultato del sistema automatico di emissione del warning, tale modifica può essere fatta solo entro un certo intervallo di tempo dopodiché l'automatismo continua il percorso.

Meteoswiss ha effettuato una verifica del sistema su circa 2 anni di funzionamento dello stesso; la verifica è effettuata andando a verificare se in un certo numero minimo di pixel compresi nelle aree di warning si è dato uno scenario assimilabile a quello previsto; non si hanno informazioni riguardo al lead-time di riferimento, come mostrato precedentemente esso è variabile nella finestra temporale di 6 ore sulla quale lavora il sistema. È importante evidenziare che la finestra temporale piuttosto ampia è ottenibile grazie al fatto che sono impiegate diverse tecniche e modelli, in particolare il blending meteorologico; tale finestra temporale andrebbe ridotta se si fa utilizzo solo di tecniche di nowcasting basate solo sull'extrapolazione dalle osservazioni.

La verifica ha portato ai risultati riportati in tabella seguente.

	Probability of detection (HIT rate)	False Alarm ratio (FAR)	Threat score (CSI)
Allerte emesse	0.61	0.48	0.39
Allerte proposte dal sistema	0.77	0.50	0.53

Tabella 4: verifica del sistema di warning Flash O matic di Meteoswiss condotta su un periodo di 2 anni

Come si può vedere l'hit rate è abbastanza performante, con un valore di 0.61 a 0.77 rispettivamente per le allerte emesse e quelli proposti dal sistema. Interessante è il fatto che gli allerta "automatici" sarebbero stati più performanti di quelli effettivamente emessi, ciò vuol dire che l'operatore ha fatto peggio del sistema automatico. D'altra parte l'operatore ha contribuito a diminuire i falsi allarmi, più alti nel sistema automatico.

In sintesi

Il sistema utilizzato è considerato sufficientemente affidabile da essere usato operativamente sia per inviare messaggistica agli enti competenti sia alla popolazione. La finestra temporale di previsione è pari a 6 ore perché viene utilizzata anche modellistica meteorologica e non solo algoritmi di nowcasting basati su extrapolazione da osservazioni.

4. Responsabilità e rischi per gli operatori

È chiaro che come esperti di radarmeteorologia non possiamo sbilanciarci eccessivamente sul dare giudizi o valutazioni relativamente ai possibili rischi di natura legale in cui possono incorrere gli operatori ed i loro responsabili.

La casistica giuridica sembra, fortunatamente al momento piuttosto scarsa; mentre di processi relativi a situazioni non chiare in fase di allertamento vero e proprio se ne ha un numero considerevole (in special modo dal 2008 in poi), i procedimenti dovuti a fatti di monitoraggio e previsione di breve termine (0-6 ore successive al momento dell'emissione stessa) sono scarsi o addirittura assenti stando alla conoscenza degli autori.

A tal proposito si può definire che L'attività di *previsione* e di *valutazione*¹ degli effetti al suolo *ai fini di protezione civile* e il conseguente *allertamento* sono attività attribuite da legge primaria dello Stato al Servizio nazionale della protezione civile².

L'attività di *nowcasting*, ovvero la previsione a brevissimo termine, è enucleata dalla direttiva Dpcm 27 febbraio 2004 smi che la pone quale una delle funzioni della **fase di monitoraggio e sorveglianza**, rientrante nel servizio svolto dalla rete dei centri funzionali.

Si riportano, di seguito, alcuni passaggi della Direttiva, utili a delineare l'attività del nowcasting.

“Il servizio svolto dalla rete dei Centri Funzionali nel tempo reale assume in sé, sia la fase di previsione che la fase di monitoraggio e sorveglianza”.

“Il sistema di allerta nazionale infatti prevede:

una fase previsionale costituita dalla valutazione, sostenuta da una adeguata modellistica numerica, della situazione meteorologica, nivologica, idrologica, idraulica e geomorfologica attesa, nonché degli effetti che tale situazione può determinare sull'integrità della vita, dei beni, degli insediamenti e dell'ambiente;

*una fase di monitoraggio e sorveglianza, articolata in: i) osservazione qualitativa e quantitativa, diretta e strumentale, dell'evento meteo-idrologico ed idrogeologico in atto, ii) previsione a breve dei relativi effetti attraverso il **nowcasting meteorologico e/o modelli afflussi-deflussi** inizializzati da misure raccolte in tempo reale.”*

Nello specifico, la fase di monitoraggio e sorveglianza è articolata in quattro funzioni, tra cui la terza è dedicata al nowcasting Sul punto si riporta di seguito la direttiva che specifica **“la terza (funzione) è relativa alla *previsione a brevissimo termine sia dell'evoluzione dell'evento che dei relativi effetti* attraverso il nowcasting meteorologico, cioè l'uso di modelli meteorologici ad area limitata inizializzati sulla base delle informazioni **radarmeteorologiche** e pluvio-idrometriche raccolte in tempo reale, e quindi di modelli idrologici-idraulici-idrogeologici, oppure attraverso il solo uso dei modelli idrologici - idraulici-idrogeologici inizializzati dalle misure pluvio-idrometriche raccolte in tempo reale”.**

¹ Vedi Direttiva PCM 27 febbraio 2004 e smi “Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile”.

² A seguito del recente riordino della materia, la normativa cui si fa riferimento è oggi rinvenibile negli artt. 1 e 2 del D. Lgs. 2 gennaio 2018, n. 1.

Inoltre, la direttiva richiama ancora il nowcasting sottolineandone l'utilità nella fase di monitoraggio e sorveglianza per i corsi d'acqua secondari, per i bacini con tempi di corrivazione molto brevi, per gli eventi pluviometrici intensi di breve durata. *“Per i corsi d'acqua secondari, quali quelli che sottendono bacini idrografici di dimensioni inferiori ai 400 Km², la prevedibilità può al più avvenire in senso statistico e, comunque, la disponibilità di misure idrometriche in tempo reale consente soltanto la validazione dei modelli previsionali ed il monitoraggio e la sorveglianza degli eventi in atto. Quando gli eventi di piena interessano corsi d'acqua a carattere torrentizio, non arginati, facenti parte del reticolo idrografico secondario e, in particolare, di sub -bacini montani e collinari caratterizzati da tempi di corrivazione molto brevi, da fenomeni di sovralluvionamento che possono significativamente modificare l'evoluzione dell'evento e da più limitata densità delle reti di monitoraggio, la previsione del fenomeno alluvionale è difficoltosa e meno affidabile. Analogamente, allo stato attuale, non sono prevedibili con sufficiente accuratezza ai fini dell'allertamento, gli eventi pluviometrici intensi di breve durata, che riguardano porzioni di territorio limitate a poche decine di chilometri quadrati e che risultano critici per il reticolo idrografico minore e per le reti fognarie. In tali casi l'attività del Centro Funzionale si esplica nella fase di monitoraggio e sorveglianza che, con l'ausilio dei radar meteorologici e delle reti pluvio-idrometriche e mediante procedure di "nowcasting" per la previsione dell'evoluzione dell'evento a brevissimo termine, deve cercare di condurre all'immediata localizzazione territoriale e circoscrizione dell'evento in atto.*“

La direttiva quindi definisce il nowcasting meteorologico quale **“previsione a brevissimo termine sia dell'evoluzione dell'evento che dei relativi effetti”**.

Ad oggi a livello nazionale non esistono ancora percorsi definitivi condivisi disponibili nell'ambito della rete dei CF relativi a procedure che utilizzino modelli e osservazioni ai fini del nowcasting.

Appare utile evidenziare sin da ora che lo strumento del nowcasting, nell'architettura attuale del sistema di allertamento nazionale, non è posto quale strumento di previsione utile a generare un'allerta, ma bensì quale strumento di monitoraggio e sorveglianza, che ha lo scopo di *“rendere disponibili informazioni che consentano sia di formulare e/o di confermare gli scenari previsti che di aggiornarli a seguito dell'evoluzione dell'evento in atto”*³.

La direttiva però non fornisce alcuna indicazione su quali effetti attribuire al monitoraggio in termini di attivazione delle componenti del sistema di protezione civile, nè quali effetti discendono dal monitoraggio e in particolare dal nowcasting, in termini di pianificazione (es. messaggio di monitoraggio alle componenti del sistema).

³ Si veda la DPCM 27.02.2004, secondo la quale “La fase di monitoraggio e sorveglianza ha lo scopo, tramite la trasmissione, la raccolta e la concentrazione nei Centri Funzionali dei dati rilevati per le diverse finalità dalle diverse tipologie di sensori, nonché tramite le notizie non strumentali reperite localmente, di rendere disponibili informazioni che consentano sia di formulare e/o di confermare gli scenari previsti che di aggiornarli a seguito dell'evoluzione dell'evento in atto”.

Si richiama a tale fine l'art. 17 "Sistemi di Allertamento"⁴ del Codice di Protezione civile, Dlsg. 1/2018 che chiarisce in parte questo aspetto, riconducendo anche il monitoraggio al fine ultimo dell'Attivazione del Servizio di Protezione civile ai diversi livelli territoriali e rimandando le modalità di organizzazione e svolgimento dell'attività di allertamento a futura disciplina, da adottarsi secondo il percorso definito dall'art. 15 del Codice stesso e, dunque, a specifiche Direttive.

Come è noto ogni Regione in materia di protezione civile ha competenza legislativa concorrente, ai sensi dell'art. 117 Cost, e ciò comporta che ogni Regione possa porre, nell'ambito dei principi fondamentali individuati dalla legge nazionale, disciplina regionale e quindi organizzare il proprio Sistema di protezione civile regionale.

La questione si pone quindi sugli effetti giuridici che possono discendere dall'attività di nowcasting - svolta dagli operatori del Centro Funzionale - e, più nel dettaglio, su quali responsabilità possono discendere dall'attività di monitoraggio, comprensiva del nowcasting, in termini di governo – da parte degli Operatori - delle informazioni ricevute o, comunque, disponibili in questo specifico frangente e ciò in ragione del doveroso flusso di comunicazioni previsto tra il CFD/ SOR e le componenti del sistema.

Può darsi, infatti, che l'attività di nowcasting possa evidenziare, in fase di monitoraggio: i) un evento non previsto da corse modellistiche e per il quale, infatti, non vi sia stato allertamento; ii) un evento diverso – per "magnitudo" o localizzazione - da quello per il quale vi sia stato allertamento; iii) l'assenza di evento; iv) un evento che, però, poi non si manifesta⁵.

⁴ Vedi Dlgs. 1/2018, art. 17, comma 1: "L'allertamento del Servizio nazionale di protezione civile è articolato in un sistema statale e regionale costituito dagli strumenti, dai metodi e dalle modalità stabiliti per sviluppare e acquisire la conoscenza, le informazioni e le valutazioni, in tempo reale, relative, ove possibile, al preannuncio in termini probabilistici, al monitoraggio e alla sorveglianza in tempo reale degli eventi e della conseguente evoluzione degli scenari di rischio al fine di attivare il Servizio nazionale della protezione civile ai diversi livelli territoriali"; comma 2: 2. Il governo e la gestione del sistema di allerta sono assicurati dal Dipartimento della protezione civile e dalle Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano, che ne garantiscono il funzionamento e l'attività utilizzando: a) per il rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi, la rete dei Centri funzionali già disciplinata dalla direttiva del Presidente del Consiglio dei ministri 27 febbraio 2004, pubblicata nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 59 dell'11 marzo 2004, le strutture preposte alla gestione dei servizi meteorologici a livello nazionale e regionale, le reti strumentali di monitoraggio e sorveglianza, nonché i Centri di competenza di cui all'articolo 21;

3. Le modalità di organizzazione e svolgimento dell'attività di allertamento sono disciplinate con direttiva da adottarsi ai sensi dell'articolo 15, al fine di garantire un quadro coordinato in tutto il territorio nazionale e l'integrazione tra i sistemi di protezione civile dei diversi territori, nel rispetto dell'autonomia organizzativa delle Regioni e delle Province autonome di Trento e di Bolzano. La direttiva di cui al presente comma provvede, in particolare: a) all'omogeneizzazione, su base nazionale, delle terminologie e dei codici convenzionali adottati per gestire le diverse fasi di attivazione e della risposta del Servizio nazionale; b) alla disciplina degli aspetti relativi alla comunicazione del rischio, anche in relazione alla redazione dei piani di protezione civile di cui all'articolo 18, e all'informazione alla popolazione sulle misure in essi contenute; c) alla definizione di modelli organizzativi che consentano di assicurare la necessaria continuità nello svolgimento delle diverse fasi di attività.

⁵ Il reato del codice penale che potrebbe ricorrere a quest'ultima fattispecie in esame è il procurato allarme, previsto e punito dall'art. 658 c.p. La norma è volta ad impedire che la quiete e l'incolumità della collettività vengano messe in pericolo a causa di allarmi infondati portati a conoscenza dell'autorità o di altri enti o persone che esercitino un pubblico servizio. La condotta materiale consiste nel far pervenire, con qualsiasi mezzo, ai predetti soggetti notizie false relative ad un disastro, un infortunio o – per quanto qui più interessa – un pericolo inesistente, purché tali notizie siano idonee a suscitare allarme. Detto in altri termini, l'illecito in parola si configurerebbe – secondo la giurisprudenza prevalente – in un reato di pericolo concreto, sicché sarebbe sufficiente l'idoneità della notizia a suscitare allarme nell'Autorità, mentre non sarebbe strettamente necessario che ciò avvenga in concreto. Infine, per quanto attiene

Il quadro normativo fin qui composto, ci consente di analizzare - necessariamente in via sommaria in questa sede - la questione responsabilità dell'Operatore del servizio meteorologico regionale (CFD), che svolge l'attività di nowcasting durante la fase di monitoraggio e ciò nelle diverse ipotesi sopra cennate.

Mette innanzitutto conto sottolineare come l'assenza di prescrizioni normative specifiche circa la condotta attesa dall'operatore nell'attività del nowcasting (contenute in Manuale operativi, Disciplinari per la gestione organizzativa del servizio..) lascia allo stesso Operatore Previsore, ampi margini di discrezionalità⁶ i quali – in caso di disastro avvenuto, vittime e/o lesioni alle persone dovute al disastro avvenuto – possono formare oggetto di valutazione di ordine penale da parte dell'Autorità Giudiziaria (prima Inquirente e poi Decidente) e che, pertanto, detta discrezionalità costituisce un evidente profilo critico potendo, per esempio, essere valutato dai Magistrati con categorie di un sindacato affetto da distorsioni (quali la valutazione con “il senno di poi”, l'anelito di dare comunque una risposta alle vittime - la c.d. “pop culture” - e, infine, la scarsa considerazione dell'ineliminabile margine di incertezza comunque esistente nelle previsioni idro meteo).

Questa considerazione induce pertanto a suggerire, sin da subito, la necessità di darsi regole precise tanto di governo degli esiti dell'attività di nowcasting quanto di trasparenza ed accountability delle ragioni delle valutazioni effettuate nel frangente: ciò proprio per agevolare ed indirizzare correttamente l'opera dell'Autorità Giudiziaria la cui azione (*rectius*: l'accertamento dei fatti e delle eventuali responsabilità penali) è – vale la pena ricordarlo – obbligatoria in presenza di fattispecie che configurano, seppur astrattamente, reati (siano disastri, crolli, ovvero morte o lesione, per limitarsi ai più tipici).

A tal proposito deve osservarsi come diverse Regioni, assunta l'importanza della fase di monitoraggio in ragione di un miglioramento della capacità di allertamento e dovendo dare atto del grado di conoscenze scientifiche a cui si è giunti, nonché della strumentazione tecnologica ormai disponibile, hanno già in qualche modo disciplinato (ovvero stanno disciplinando) questo aspetto e che, pertanto, appare opportuno

all'elemento soggettivo, l'art. 42 c.p. stabilisce che, trattandosi di un illecito di natura contravvenzionale, lo stesso possa essere indifferentemente integrato sia in presenza di dolo che di colpa. Di fatto, in tale ipotesi, affinché si possa configurare, da parte del previsore - operatore, il reato di procurato allarme è necessaria una condotta capace di ingenerare nell'autorità un allarme non fondato. Si veda in giurisprudenza Cass. Pen., sez. I, 5 luglio 1995, n. 9704 e, in dottrina, C. RUBERTO - M. ZALIN, *Sub art. 658*, in G. FORTI - S. SEMINARA - G. ZUCALÀ (a cura di), *Commentario breve al codice penale*, Padova, 2017, p. 2374; G. LATTANZI - E. LUPO, *Codice Penale, rassegna di giurisprudenza e dottrina*, Vol. XI, Libro II, Giuffrè, 2000, 67 e V. MANZINI, *Trattato di diritto penale italiano*, X, agg., 5° ed., a cura di Nuvoione, Pisapia, Torino, 1986, 147.

Cfr. *ex plurimis*: Cass. Pen., sez. I, 26 maggio 1987, Pasquinnaci; Cass. Pen., sez. I, 5 luglio 1995, n. 9704; Trib. Napoli, 9 maggio 2007, n. 4006. In dottrina, anche F. ANTOLISEI, *Manuale di diritto penale*, parte spec., II, 15° ed., Milano, 2008; anche T. PADOVANI, *Codice penale*, sub art. 658; e ancora C. RUBERTO - M. ZALIN, *Sub art. 658*, cit., p. 2374; G. LATTANZI - E. LUPO, *op cit.*, 67; V. MANZINI, *Trattato di diritto penale*, cit., p. 152

⁶ È importante precisare come ciascuna figura professionale, cui la legge o le norme interne attribuiscono un compito, assume contestualmente il potere e il dovere di adempiere diligentemente a tale attività. In ambito penalistico – anche in considerazione delle finalità di protezione civile cui queste attività sono rivolte – ciò equivale a dire che ciascun soggetto coinvolto nelle operazioni in esame assume una posizione di garanzia, la cui ampiezza è direttamente connessa alle mansioni concretamente svolte

attivare percorsi di omogeneizzazione di tale disciplina per consolidare, su base nazionale, una comune condotta attesa in capo all'operatore.

Tra l'altro la giurisprudenza rinvenibile – per quanto su un caso dalle spiccate peculiarità (si fa riferimento al caso della frana di Pollein del 15.10.2010 e della sentenza della Suprema Corte di Cassazione sez. IV, 28.10.08, n. 43118 in relazione a Corte d'Appello di Torino, 26 febbraio 2008 n. 832) – depone per un onere informativo del soggetto detentore di informazioni verso le Autorità di protezione civile. In particolare, per quanto riguarda la colpevolezza dell'imputato (che, nel caso in questione, era deputato al monitoraggio della frana), la Corte ha ritenuto che i dati in possesso dell'operatore, ossia gli allarmi ricevuti dal sistema informativo e la situazione meteorologica e morfologica della zona, erano sufficienti a prevedere in anticipo che si sarebbe verificato un evento calamitoso e che si rendeva quindi necessaria l'evacuazione delle zone a rischio. L'imputato, pur disponendo di tali importantissime informazioni, non aveva dato comunicazione alcuna ai soggetti cui aveva il dovere di riferire. Indagare – predica conclusivamente la Suprema Corte - se, ove tale comunicazione fosse avvenuta, gli altri gestori del rischio avrebbero adottato le iniziative necessarie ad affrontare tale pericolo è irrilevante per quanto concerne l'affermazione della responsabilità dell'imputato. Egli, infatti, era in ogni caso tenuto ad assolvere i propri doveri di informazione dei dati in suo possesso. Ne è disceso, pertanto, un sostanziale⁷ giudizio di responsabilità penale dell'Operatore per omicidio colposo.

Detta sentenza rappresenta, a parere di chi scrive, un importante insegnamento in termini di necessario apprestamento di un quadro normativo atto a regolamentare la condotta attesa dell'Operatore in termini di gestione delle informazioni allo stesso disponibili in fase di monitoraggio dell'evento e di gestione, per il Sistema di allertamento, delle valutazioni da effettuarsi a carico dell'Operatore. E' di tutto evidenza che un detto, auspicabile, quadro normativo del genere prospettato vada a configurarsi non solo e non tanto in una logica di tutela dell'Operatore, quanto di miglioramento complessivo del Sistema che, pertanto, deve essere coinvolto nella sua totalità: si intende dunque sostenere che ogni ragionamento in tema e le possibili soluzioni, debbano trovare sede nell'architettura complessiva di Sistema ed in un dialogo ed un confronto tra i vari Attori dell'articolato Sistema di protezione civile.

In linea di estrema sintesi, quindi emergono dei "vuoti" normativi: i più evidenti riguardano la funzione che il nowcasting assolve nel sistema di allertamento ed i suoi effetti sul sistema di protezione civile. La normativa, infatti, non prevede una comunicazione del nowcasting, né definisce la "natura", gli effetti e l'efficacia della comunicazione del nowcasting alle componenti del sistema. Infine, come è già stato rilevato, appare opportuno attivare percorsi di omogeneizzazione di tale disciplina per consolidare, su base nazionale, una comune condotta attesa in capo all'operatore.

⁷ La sentenza, in realtà, dichiara l'assoluzione dell'Operatore per intervenuta prescrizione.

5. Bibliografia

Austin, G.L. and Bellon, A., 1974. *The use of digital weather radar records for short-term precipitation forecasting. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 100(426), pp.658-664.

Browning, K.A., 1981: *Forward to: Nowcasting: Mesoscale Observations and Short-range Prediction* (B. Battrick and J. Mort, eds). *Proceedings of an International Symposium, Hamburg, Germany, 25–28 August. European Space Agency SP-16.*

Browning, K.A. (ed.), 1982: *Nowcasting*. London, Academic Press.

Bailey, M.E., G.A. Isaac, N. Driedger and J. Reid, 2009: *Comparison of nowcasting methods in the context of high-impact weather events for the Canadian Airport Nowcasting Project. International Symposium on Nowcasting and Very Short Range Forecasting, Whistler, British Columbia, 30 August–4 September.*

Bellon, A. and G.L. Austin, 1986: *The accuracy of short-term radar rainfall forecasts. Journal of Hydrology*, 70:35–49.

Berenguer, M., C. Corral, R. Sánchez-Diezma and D. Sempere-Torres, 2005: *Hydrological validation of a radar-based nowcasting technique. Journal of Hydrometeorology*, 6:532–549.

Berenguer, M., Sempere-Torres, D., & Pegram, G. G. (2011). *SBMcast—An ensemble nowcasting technique to assess the uncertainty in rainfall forecasts by Lagrangian extrapolation. Journal of Hydrology*, 404(3-4), 226-240.

Bowler, N.E., C.E. Pierce and A.W. Seed, 2006: *STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 132:2127–2155.

Cacciamani C. (2018). *L'incertezza della previsione dei fenomeni meteorologici estremi: la ricaduta sul sistema di allertamento. Rivista di Meteorologia Aeronautica n°1 - 2018, 11*

Collier, C., 1981, August. *Nowcasting: mesoscale observations and short-range prediction. In Proceedings of an International Symposium held (pp. 25-28).*

Dixon, M. and G. Wiener, 1993: *TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting – a radar-based methodology. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 10:785–797.

Foresti, L., Sideris, I.V., Panziera, L., Beusch, L., Nerini, D. and Germann, U., 2018, April. Nowcasting orographic precipitation growth and decay using machine learning algorithms on a 10-year radar archive in the Swiss Alps. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 20, p. 6361).

Germann, U. and I. Zawadzki, 2002: Scale-dependence of the predictability of precipitation from continental radar images. Part I: Description of the methodology. *Monthly Weather Review*, 130:2859–2873.

Germann, U., Berenguer, M., Sempere-Torres, D. and Zappa, M., 2009. REAL—Ensemble radar precipitation estimation for hydrology in a mountainous region. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 135(639), pp.445-456.

Guidelines for nowcasting techniques, 2017 edition, WMO-No. 1198

Golding, B.W., 1998: Nimrod: A system for generating automated very short range forecasts. *Meteorological Applications*, 5:1–16.

Haiden, T., A. Kann, C. Wittmann, G. Pistotnik, B. Bica and C. Gruber, 2011: The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) system and its validation over the Eastern Alpine region. *Weather and Forecasting*, 26(2):166–183.

Handwerker, J., 2002: Cell tracking with TRACE3D – a new algorithm. *Atmospheric Research*, 61:15–34.

Hering, A. M., C. Morel, G. Galli, S. Senesi, P. Ambrosetti and M. Boscacci, 2004: Nowcasting thunderstorms in the Alpine region using a radar-based adaptive thresholding scheme. *Proceedings of the Third European Conference on Radar Meteorology*, Visby, Sweden, 6–10 September.

Huang, L.X., 2011: Development of weighting, evaluation, bias correction and integrating system (WEBIS) for nowcasting. PhD dissertation, Department of Earth and Space Science and Engineering, York University, Toronto, Canada.

Ispra (2018). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio. Rapporti 287/2018*

Johnson, J.T., P.L. MacKeen, A. Witt, E.D. Mitchell, G.J. Stumpf, M.D. Eilts and K.W. Thomas, 1998: The storm cell identification and tracking algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Weather and Forecasting*, 13:263–276.

Jung, S.H. and G. Lee, 2015: Radar-based cell tracking with fuzzy logic approach. *Meteorological Applications*, 22(4):716–730.

Kober, K., Craig, G.C., Keil, C. and Dörnbrack, A., 2012. Blending a probabilistic nowcasting method with a high-resolution numerical weather prediction ensemble for convective precipitation forecasts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 138(664), pp.755-768.

Laroche, S. and I. Zawadzki, 1994: A variational analysis method for retrieval of three-dimensional wind field from single-doppler radar data. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 51:2664–2682.

Li, P.W. and E.S. Lai, 2004: Short-range quantitative precipitation forecasting in Hong Kong. *Journal of Hydrology*, 288(1):189–209.

Lin, C., Vasić, S., Kilambi, A., Turner, B. and Zawadzki, I., 2005. Precipitation forecast skill of numerical weather prediction models and radar nowcasts. *Geophysical research letters*, 32(14).

Metta S., Reborá N., Ferraris L., von Hardenberg J. and Provenzale A. (2009). Precipitation Nowcasting by a Spectral-Based Nonlinear Stochastic Model, *JHM*, 10, 1285-1297.

Mueller, C., T. Saxen, R. Roberts, J. Wilson, T. Betancourt, S. Dettling, N. Oien and J. Yee, 2003: NCAR Auto-Nowcast System. *Weather and Forecasting*, 18:545–561.

Novak, P., 2007: The Czech Hydrometeorological Institute's severe storm nowcasting system. *Atmospheric Research*, 83:450–457.

Panziera, L., Germann, U., Gabella, M. and Mandapaka, P.V., 2011. NORA–Nowcasting of Orographic Rainfall by means of Analogues. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(661), pp.2106-2123.

Pegram, G.G.S. and Clothier, A.N., 2001. High resolution space–time modelling of rainfall: the “String of Beads” model. *Journal of Hydrology*, 241(1-2), pp.26-41.

Pierce, C.E., Ebert, E., Seed, A.W., Sleigh, M., Collier, C.G., Fox, N.I., Donaldson, N., Wilson, J.W., Roberts, R. and Mueller, C.K., 2004. The nowcasting of precipitation during Sydney 2000: an appraisal of the QPF algorithms. *Weather and Forecasting*, 19(1), pp.7-21.

Poli V., Fornasiero A., Celano M., Amorati R., Alberoni P. (2015). I radar meteo a supporto della protezione civile. *Ecoscienza*, 59-60

Rigo, T. and M.C. Llasat, 2004: A methodology for the classification of convective structures using meteorological radar: Application to heavy rainfall events on the

Mediterranean coast of the Iberian Peninsula. Natural Hazards and Earth System Science, 4(1):59–68.

Rinehart, R.E. and E.T. Garvey, 1978: Three-dimensional storm motion detection by convective weather radar. Nature, 273:287–289.

Ruzanski, E., V. Chandrasekar and Y. Wang, 2011: The CASA nowcasting system. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 28(5):640–655.

Schmid, W., S. Mecklenburg and J. Joss, 2000: Short-term risk forecasts of severe weather. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 25(10):1335–1338.

Seed, A.W., 2003: A dynamic and spatial scaling approach to advection forecasting. Journal of Applied Meteorology, 42:381–388.

Wilson, J.W., N.A. Crook, C.K. Mueller, J. Sun and M. Dixon, 1998: Nowcasting thunder storms: A status report. Bulletin of the American Meteorological Society, 79:2079–2099.

Wilson J. (2003). Thunderstorm nowcasting: Past, present and future. Preprints, 31st Conf. on Radar Meteorology, Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc., J13–J19.

Xu, G. and Chandrasekar, V., 2005. Operational feasibility of neural-network-based radar rainfall estimation. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2(1), pp.13-17.