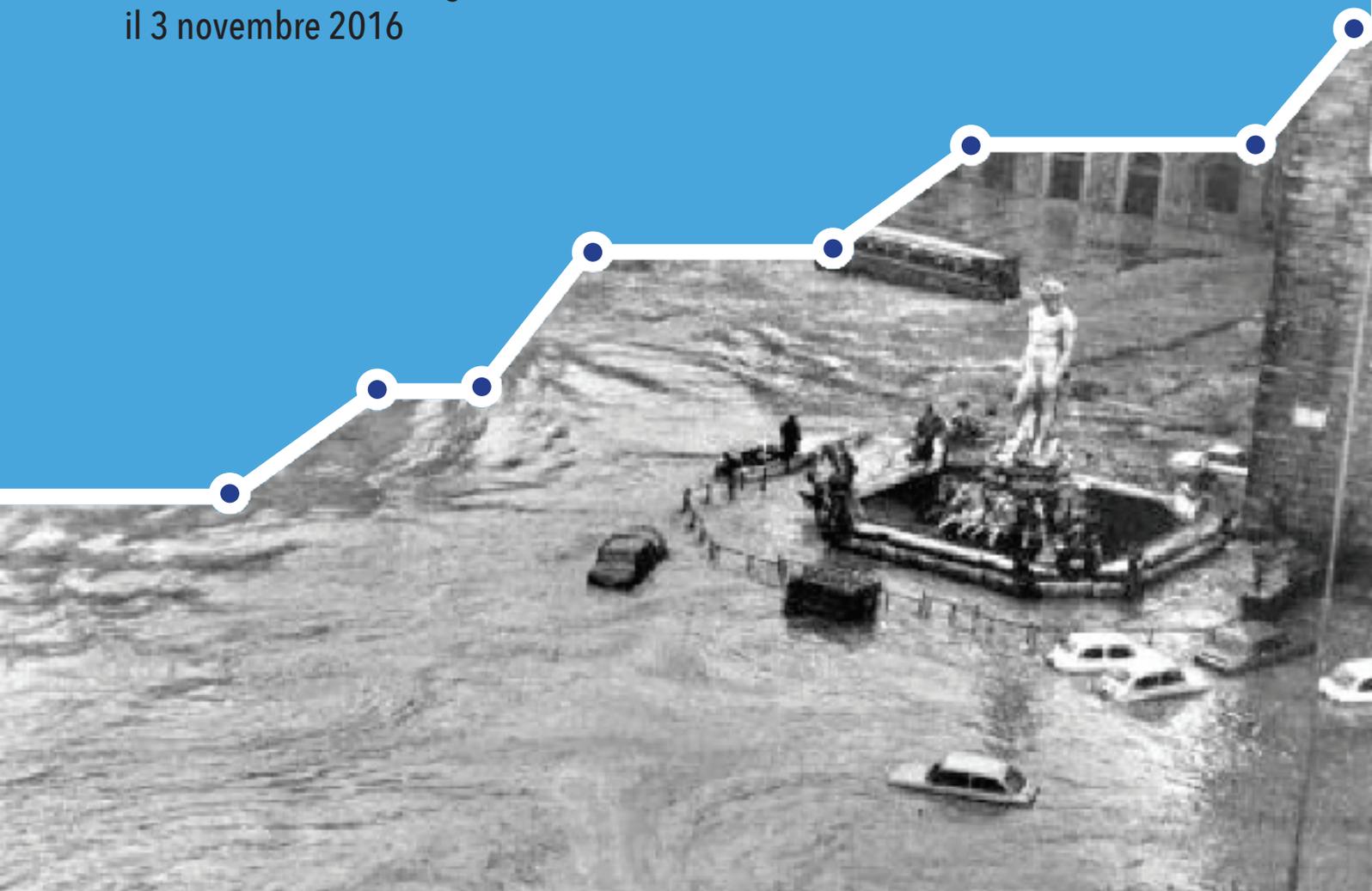


# ARNO 1966

## 50 anni di innovazioni in meteorologia

Contributi del workshop tenutosi  
all'Accademia dei Georgofili di Firenze  
il 3 novembre 2016



Regione Toscana



Consiglio Nazionale delle Ricerche



ACCADEMIA  
DEI GEORGOFILI



2016 Progetto Firenze

L'alluvione  
Le alluvioni



Publicazione edita da:  
Consorzio LaMMA - CNR  
ISBN: 9788895597348  
Firenze, Ottobre 2017

Raccolta dei contributi presentati al workshop  
“Arno 1966. 50 anni di innovazioni in meteorologia”  
tenutosi il 3 novembre 2016 presso l’Accademia dei Georgofili di Firenze.

Progettazione e realizzazione:  
Federica Zabini e Valentina Grasso

A cura di:  
Bernardo Gozzini  
Valentina Grasso  
Federica Zabini



**2016** Progetto **Firenze**  
*L'alluvione  
Le alluvioni*

Il workshop è stato organizzato dal Consorzio LaMMA nell’ambito delle iniziative previste dal Comitato “Firenze 2016. L’alluvione. Le alluvioni” per celebrare il cinquantesimo anniversario dell’Alluvione di Firenze del 1966.



Regione Toscana



Consiglio Nazionale delle Ricerche



ACCADEMIA DEI  
GEORGOFILI

# Sommario

---

## **Premessa** 4

## **Gli interventi**

50 anni di progresso in meteorologia.	7
La meteorologia da satellite dal 1966 a oggi.	21
I modelli e gli strumenti d'osservazione dell'Aeronautica Militare.	27
L'Alluvione di Firenze: la previsione del 1966 con gli strumenti di oggi.	38

## **La tavola rotonda**

Il punto di vista dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.	53
Il punto di vista della Protezione Civile Regionale Toscana.	56
Il punto di vista della Protezione Civile del Comune di Firenze.	59
Il punto di vista del Consorzio LaMMA.	62

## **Speciale**

Rischio alluvione: la percezione 50 anni dopo il '66	67
------------------------------------------------------	----

# Premessa

---

*In confronto alle realtà europee più avanzate, il panorama della meteorologia in Italia appare oggi particolarmente composito e in qualche modo ancora frastagliato.*

*Le ragioni di questo sono in qualche modo storiche, legate in primis alla mancanza in Italia di una struttura nazionale, paragonabile per esempio a quanto presente in Francia, Germania o Regno Unito, dove scelte precise, anche in termini di investimenti pubblici, hanno portato alla costituzione di strutture organiche in termini di attività operative, ricerca e formazione, con percorsi universitari e post universitari riconosciuti e "codificati". Va precisato che nel nostro paese i corsi universitari orientati alla fisica dell'atmosfera e alla meteorologia hanno fatto grossi passi in avanti in alcune università della penisola; molto resta ancora da fare per portare la nostra offerta formativa al livello di quella di altri paesi di più lunga tradizione didattica in questo campo fondamentale per il vivere civile.*

*Pur se in un quadro certamente non ottimale, la presenza italiana nella ricerca internazionale sulla fisica dell'atmosfera, la meteorologia, il clima, l'osservazione della terra dallo spazio, è invece molto rilevante e il CNR riveste in questi ambiti un ruolo da protagonista, vantando diversi istituti e enti partecipati all'avanguardia in tali settori (ISAC, IFAC, IBIMET, ISMAR, Consorzio LaMMA), impegnati in differenti ambiti di studio che caratterizzano la disciplina meteorologica in senso ampio, dalla modellistica atmosferica, allo studio dei cambiamenti climatici in atto, alla paleoclimatologia, al miglioramento degli strumenti e delle tecniche di osservazione, alla sensoristica, ecc.*

*In realtà la meteorologia investe molteplici settori, dunque le discipline e conseguentemente gli istituti coinvolti sono ancora di più, basti pensare agli istituti che studiano i fenomeni idrogeologici, o più in generale gli impatti delle condizioni meteo-climatiche sugli ecosistemi e sulle attività antropiche, e ancora agli istituti che si occupano di calcolo numerico. In una cornice come quella presente, caratterizzata da esigenze di gestione del territorio e adattamento alle variazioni climatiche sempre crescenti, questa capacità di visione e cooperazione interdisciplinare acquista valenza ancora maggiore.*

*Il Consorzio LaMMA è una realtà paradigmatica di tale concetto, nata proprio su queste fondamenta multidisciplinari, integrate con le competenze, gli strumenti e gli obiettivi operativi della Regione Toscana. In questo modo nel tempo è stata realizzata una struttura che produce*

*previsioni meteo marine operative alle scale di interesse regionale ma su domini ben più ampi di quelli della sola Toscana, che continuamente si alimentano dei più recenti traguardi della ricerca e ne promuovono di nuovi. Le competenze di ricerca scientifica legate ai sistemi di misura e alla modellistica atmosferica e marina si uniscono a quelle di geomatica, comprendendo gli aspetti operativi, di servizio meteorologico per la protezione civile e il territorio, per specifiche categorie professionali e per i comuni cittadini, nodo cruciale (e non sempre collaudato) nel processo di "trasferimento scientifico" verso la collettività.*

*Questa pubblicazione raccoglie i contributi dei relatori presenti nel workshop organizzato dal Consorzio LaMMA e dell'Accademia dei Georgofili nel Novembre 2016, in occasione del Cinquantesimo anniversario dell'Alluvione di Firenze (1966).*

*Bernardo Gozzini  
Amministratore Unico  
Consorzio LaMMA*



# 1966-2016: 50 anni di progresso in meteorologia

---

Roberto Buizza  
European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF

La meteorologia ha fatto enormi progressi negli ultimi 50 anni. Ai tempi dell'alluvione di Firenze del Novembre 1966, le mappe che rappresentavano la situazione meteo venivano redatte a mano, tenendo conto il più possibile delle poche osservazioni disponibili e delle conoscenze dei flussi atmosferici. Le previsioni venivano basate sulle conoscenze degli esperti di turno, che basandosi su una stima, molto approssimata, dello stato dell'atmosfera dedotto dalle poche osservazioni, che spesso era state raccolte 24-48 ore prima, cercavano di estrapolare quella che avrebbe potuto essere la situazione meteo nelle 24-48 ore successive. Non esistevano modelli numerici capaci di prevedere le situazioni meteo future, integrando le equazioni della fluido-dinamica che rappresentano i moti delle masse d'aria.

Oggi, 50 anni dopo tale evento, siamo in grado di prevedere le situazioni meteo future con alcuni giorni di anticipo, a volte con grande precisione anche per variabili complesse come la pioggia, come discuteremo più avanti (sezione 7). Tale enorme miglioramento è stato raggiunto grazie al progresso in 6 aree chiave:

1. Osservazioni dello stato attuale del sistema terra-oceano-atmosfera;
2. Ricerca scientifica;
3. Personale specializzato con alte capacità tecnico-scientifiche;
4. Potenza di calcolo;
5. Investimenti;
6. Collaborazioni.

Prima di discutere brevemente dei progressi in queste 6 aree chiave, è forse opportuno ricordare quale è il processo che porta all'emissione di previsioni meteo, prendendo come riferimento l'esperienza di European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF, [www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)). Tale processo (vedi figura1) richiede prima di tutto che vengano stimate le condizioni attuali dell'atmosfera, in altre parole le condizioni iniziali necessarie per prevedere i moti del fluido atmosfera nel futuro. Tale stima delle condizioni iniziali viene effettuata utilizzando tutte le osservazioni che vengono raccolte nelle ultime 6-12 ore, e tenendo conto la previsione a breve termine (6-12 ore) emessa il

più recentemente possibile. Quindi, partendo dalle condizioni iniziali, il modello numerico fornisce la previsione meteo valida per i prossimi giorni (mesi per le previsioni stagionali).

Nelle prossime 6 sezioni, cercherò di dare qualche informazione in più sul progresso in ognuna di queste aree. Quindi, nella sezione 7 illustrerò alcuni esempi di previsioni, e discuterò perché i limiti di predicibilità dipendono dalle scale spazio-temporali che si cerca di prevedere. Quindi, concluderò con alcune considerazioni sul fatto che occorre utilizzare previsioni probabilistiche, e non deterministiche, e sui progressi che ci possiamo aspettare in tali previsioni nei prossimi dieci anni.

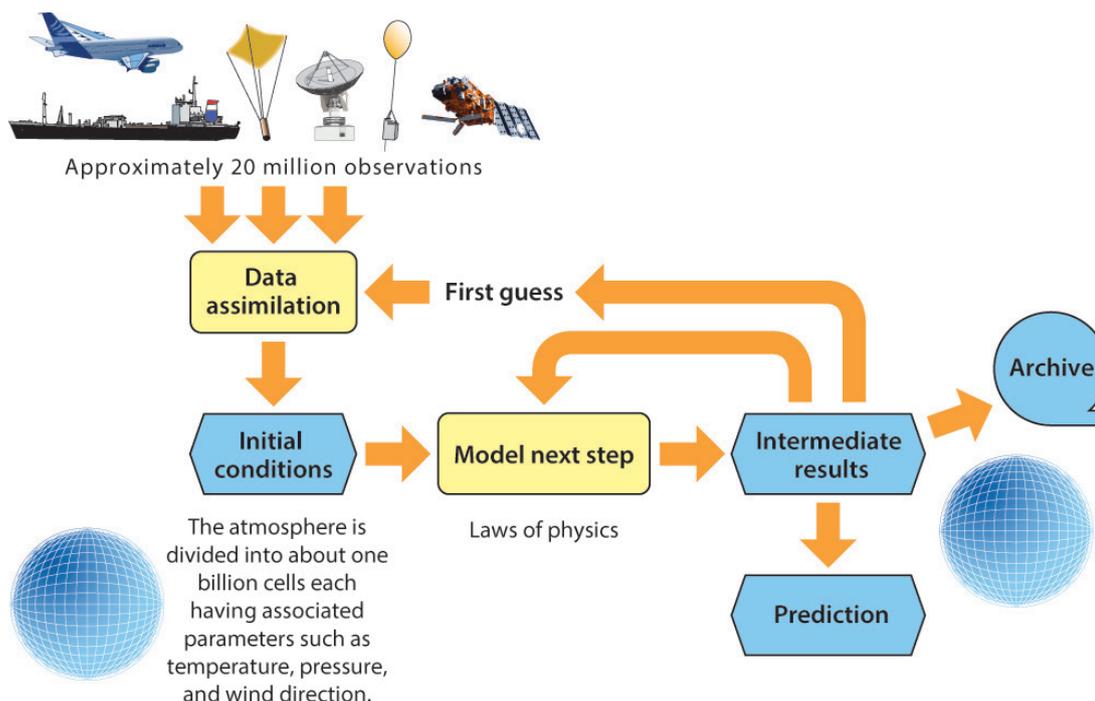


Figura 1. Schema del processo che porta alla produzione di una previsione meteo. Le osservazioni raccolte da strumenti montati su diverse piattaforme (aerei, navi, satelliti, stazioni di terra), vengono raccolte ed assimilate con un modello numerico. Il processo di 'data assimilation' genera una stima delle condizioni iniziali del sistema, tenendo conto di tutte le osservazioni raccolte nelle ultime 6-12 ore, e dell'ultima previsione emessa (di solito tra 6 e 12 ore prima). Una volta che le condizioni iniziali sono state calcolate, il modello numerico viene utilizzato per produrre la previsione per i successivi giorni. Tale previsione viene fornita ai vari utenti sotto forma di prodotti meteo, e quindi viene archiviata per eventuali utilizzi futuri, tra cui per motivi di diagnostica e verifica. Quindi, il ciclo successivo di data-assimilazione riparte, utilizzando sia la previsione a breve termine (6-12 ore) che le osservazioni che verranno raccolte nelle successive 6-12 ore. Ad ECMWF, tale ciclo viene ripetuto ogni 6 ore: prima di tutto vengono stimate le condizioni iniziali e quindi vengono emesse delle nuove previsioni meteo.

## 1. Osservazioni

Negli anni '60, ogni giorno venivano raccolte più o meno qualche migliaio di osservazioni. La maggior parte di tali osservazioni erano concentrate sulla terraferma, e misuravano lo stato dell'atmosfera vicino al suolo. Oggi, grazie agli enormi investimenti nei sistemi osservativi, ed in particolare nello sviluppo di strumenti satellitari, ogni giorno riceviamo decine di milioni di osservazioni. Tali osservazioni vengono per la maggior

parte (più del 95%) da strumenti montati su satelliti (vedi l'intervento del Dr. Levizzani). Non dimentichiamo, inoltre, che dal 1966 ad oggi la qualità delle osservazioni è migliorata notevolmente, grazie all'utilizzo di strumenti sempre più accurati.

La disponibilità di queste decine di milioni di osservazioni, tutte più accurate di quelle disponibili decine di anni fa, e il fatto che tali osservazioni coprono in maniera molto più uniforme tutto il globo, sono tra i motivi fondamentali per cui oggi riusciamo a stimare molto più accuratamente le condizioni iniziali, e quindi a fornire previsioni molto più accurate e con validità temporale più lunga. Istituzioni chiave che hanno permesso tale progresso sono le agenzie spaziali che raccolgono dati da satelliti, quali ESA (European Space Agency), EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), e le agenzie equivalenti negli altri continenti (ad esempio, la NASA in America).

## 2. Ricerca Scientifica

Avere a disposizione decine di milioni di osservazioni non avrebbe aiutato, se tale progresso non fosse stato accompagnato da miglioramenti fondamentali nei modelli che vengono utilizzati per stimare le condizioni attuali del sistema terra-oceano-atmosfera e per generare le previsioni meteo. Qui con la parola 'modelli' intendo sia i modelli numerici predittivi del sistema terra-oceano-atmosfera (ottenuti, ad esempio, migliorando la simulazione dei processi di convezione, e l'interazione della radiazione con le nubi), sia i modelli numerici di assimilazione dati. Questi ultimi sono essenziali per calcolare in modo accurato le condizioni iniziali del sistema.

Inoltre, nella parola 'modelli' includo anche lo sviluppo di sistemi di previsione probabilistici, di metodi cosiddetti 'ad insieme', che forniscono una stima del livello di confidenza (e/o di errore) sia delle condizioni iniziali che nelle previsioni. Grazie allo sviluppo di tali modelli ad insieme, oggi i previsori meteo hanno a loro disposizione non solo quella che potrebbe essere la situazione meteo che più probabilmente accadrà nel futuro, ma anche un livello di confidenza. In altre parole, i sistemi di previsione ad insieme danno ai previsori una misura oggettiva di quanto sia facile o difficile prevedere il tempo futuro.

E' opportuno a questo punto ricordare che un modello numerico di un fluido quale l'atmosfera (o l'oceano), rappresenta lo stato del fluido stesso su un grigliato 3-dimensionale. Le caratteristiche chiave di tale grigliato sono la sua risoluzione orizzontale (il suo passo griglia, in km) ed il numero dei livelli verticali. In ogni punto di tale griglia, lo stato dell'atmosfera viene rappresentato dai valori di variabili quali la temperatura, il vento, l'umidità e la pressione. Chiaramente, più il modello ha un numero elevato di punti griglia, e più riesce a simulare scale piccole, locali.

Per dare un esempio del progresso nella modellistica numerica, il modello ad insieme di oggi di ECMWF ha un passo-griglia di 18 km. Tale modello include processi quali la simulazione degli strati superficiali terrestri, dell'interazione tra le onde e le correnti marine, dell'oceano e delle calotte polari, il fatto che nelle nubi possono co-esistere vapore acqueo, gocce di acqua e cristalli di ghiaccio, e che tali diverse specie interagiscono in maniera diversa con la radiazione terrestre. Tali processi non erano simulati nelle prime versioni del modello di ECMWF utilizzato negli anni '80, che tra l'altro aveva un passo-griglia di circa 250 km. L'inclusione di tali processi si è dimostrata necessaria per rendere il modello numerico il più realistico possibile, e quindi per generare previsioni accurate.

### 3. Personale specializzato

Chiaramente, senza scienziati e tecnici capaci di costruire gli strumenti ed i satelliti su cui vengono montati, di studiare le leggi della fisica che descrivono i processi che avvengono in atmosfera, che conoscono come meglio utilizzare i dati che vengono raccolti su tutto il globo, e che ‘scrivono’ i modelli (predittivi, di assimilazione dati, e probabilistici), non saremmo arrivati dove siamo ora. Qui con la parola ‘scrivono’ si intende il processo che portare a scrivere un software che possa essere utilizzato da un computer, capace di simulare dei processi reali, quali lo sviluppo di un temporale.

In altre parole, non dimentichiamo che alla base degli sviluppi tecnologici e delle scoperte scientifiche ci sono delle persone fisiche, che dedicano la loro vita a migliorare la conoscenza, e a tradurre scoperte ed innovazioni in sistemi di previsione sempre più accurati.

Per dare un’idea di quanti ‘anni-uomo’ di lavoro ci siano voluti per arrivare dove siamo oggi, guardiamo all’esperienza ECMWF, che viene istituito nel 1973, quando 18 stati (tra cui l’Italia), firmano la sua convenzione. ECMWF nasce con lo scopo di avanzare la scienza della fisica dell’atmosfera, di dimostrare se sia possibile fare delle previsioni numeriche accurate, e quindi di fornire previsioni meteo numeriche agli stati fondatori. Nel giugno del 1979, ECMWF emette la sua prima previsione numerica. Nel 1979, ECMWF impiegava circa 150 persone. Tale numero è continuato a crescere negli anni, ed oggi ECMWF impiega circa 330 persone. Se facciamo una media di circa 180 persone l’anno dal 1973 ad oggi, arriviamo ad una stima di circa 7.500 anni-uomo di lavoro investiti per raggiungere i livelli di qualità di previsione e di conoscenza attuali. Quindi, se si volesse partire da zero, probabilmente ci vorrebbero almeno qualche migliaio di anni-uomo di lavoro per riuscire a produrre delle previsioni meteo accurate.

### 4. Potenza di calcolo

L’altro ingrediente chiave che ha permesso di utilizzare dei modelli numerici del sistema terra-oceano-atmosfera sempre più realistici ed accurati, è stato l’enorme progresso nei super-calcolatori. Prendendo sempre ad esempio ECMWF, nel 1978 installò una delle prime macchine CRAY-1A, con un solo processore ed una potenza di calcolo di circa 50 Mega-Flops (50.000.000, o  $50 \times 10^6$ , ‘floating point operations per second’). Tale calcolatore era molto più lento del processore che viene installato oggi in un i-phone 5s!!

	<b>CRAY-1A (1978)</b>	<b>CRAY-XC40 (2016)</b>	<b>2016:1978</b>	<b>I-phone 5s</b>
Processori	1	132,000	132.000:1	
Potenza di calcolo (sostenibile)	~ 50 Mega-Flops	~ 320 Tera-Flops	6.400.000: 1	~ 80.000 Mega-Flops

Tabella1. Caratteristiche dei super-calcolatori installati presso ECMWF nel 1978 e nel 2016.

Oggi (novembre 2016; vedi la Tabella 1), ECMWF utilizza un super-calcolatore CRAY-XC40, che ha 132,000 processori ed una potenza di calcolo di 320 Tera-Flops (320.000.000.000.000, o  $320 \times 10^{12}$ , Flops, cioè un fattore 6.400.000 più potente del CRAY-1A del 1978). A ECMWF, quattro volte al giorno, per riuscire a fornire in tempi veloci previsioni accurate, i processi di data assimilazione, di previsione e di produzione delle previsioni utilizzano circa il 50% della potenza di calcolo disponibile per circa 2 ore (quindi, ogni giorno, circa il 15% delle risorse di calcolo di ECMWF vengono utilizzate per la produzione delle previsioni; il resto viene utilizzato in parte per ricerca e sviluppo, ed in parte dai servizi meteo nazionali).

Tipo di previsione	#	H	LEV	DD	Componenti
Previsione singola ad alta risoluzione	1	9	137	10	Terra-Atm-Onde
Previsione probabilistica 'ad insieme' per la scale a medio-termine e mensile	51	18	91	46	Terra-Atm-Onde-Correnti-Ghiaccio
Previsione probabilistica 'ad insieme' per la scale stagionale	51	80	91	210	Terra-Atm-Onde-Correnti-Ghiaccio

Tabella 2. Caratteristiche principali dei tre sistemi di previsione globale utilizzati nel 2016 ad ECMWF, in termini di numero di previsioni (1 o 51 per i sistemi ad insieme), passo griglia orizzontale (H in km), numero di livelli in verticale (LEV), lunghezza della previsione (DD, in giorni), e componenti (terra solida, atmosfera libera, onde, correnti dell'oceano, ghiaccio).

Senza tale aumento della potenza di calcolo, non saremmo in grado di utilizzare tutte le osservazioni che sono disponibili oggi, e dovremmo basarci su sistemi predittivi molto più semplici, con una risoluzione spazio-temporale molto meno dettagliata. Nel 1981, ad esempio, il modello di ECMWF aveva un passo di griglia orizzontale di circa 250 km e 19 livelli in verticale. Oggi, non solo il modello a più alta risoluzione di ECMWF ha un passo di griglia di circa 9 km e 137 livelli in verticale, ma ECMWF emette anche previsioni ad insieme fino a 46 giorni, con una risoluzione di circa 18 km, e previsioni stagionali ad insieme con una risoluzioni di circa 80 km (vedi Tabella 2).

## 5. Investimenti: quanto costa sviluppare un modello numerico? Quale è il 'return-on-investment' in meteorologia?

Un indicazione di quanto sia necessario investire per sviluppare e continuare a migliorare un modello numerico può venire di nuovo da ECMWF. Il budget nel 2016 di ECMWF è di circa 80 milioni di euro: circa il 45% viene speso in personale, il 15% in super-computing ed un altro 15% in hardware a archivio dati. Il resto viene speso in manutenzione, elettricità, pensioni, ... In confronto, il budget di EUMETSAT, per esempio, è di circa 450 milioni di euro, o il costo di una missione satellitare (studio di fattibilità, sviluppo del satellite, messa in opera e operazione) costa qualche migliaio di milioni di euro.

Se uno volesse fare il conto di quanto gli stati membri di ECMWF hanno investito in

ECMWF, basta tenere conto che, più o meno, nel corso degli anni, il budget di ECMWF è cresciuto di un valore pari all'inflazione. Solo in qualche rara occasione, diciamo circa una volta ogni 10 anni, il budget è cresciuto di valori maggiori, diciamo circa del 10-15%, quando era necessario investire in un nuovo super-calcolatore. Quindi, assumendo che il personale di ECMWF è cresciuto più o meno di un fattore 2 dal 1979 ad oggi e senza tenere conto dell'inflazione, e quindi assumendo più o meno un budget costante sui 60 milioni di euro equivalenti, nei 40 anni di vita di ECMWF gli stati membri hanno investito circa 2.400 milioni di euro. Tale cifra è l'equivalente di una missione satellitare, quindi una cifra molto piccola confrontata a quanto gli stati spendono in missioni satellitari di osservazione del pianeta terra.

Altre indicazioni su quanto costa la meteorologia vengono dai budget dei servizi meteorologici nazionali (vedi i loro 'Annual Reports' su internet): Meteo France ha un budget annuale di circa 300 milio di euro ed impiega circa 3300 persone, UK Met Office ha un budget equivalente ed impiega circa 2000 persone, e il servizio meteorologico tedesco, DWD, ha un budget di circa 280 milioni ed impiega circa 2600 persone. Sempre fonti simili indicano che, in media, gli stati investono tra lo 0.01% e lo 0.03% del loro budget nazionale nei loro servizi meteorologici nazionali.

Due pubblicazioni che si possono trovare di nuovo su internet (una di UK Met Office, di M. Gray del 2015, ed una dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale, 'WMO Report # 1153') indicano che, in media, i 'return-on-investment' misurati in termini di 'Benefit/Cost Ratio (BCR)' in meteorologia variano tra un fattore 2:1 ed un fattore 36:1:

- BCR tra 4:1 a 36:1, in termini di impatto (costo) di eventi estremi;
- BCR tra 2:1 e 14:1, in termini di impatto sui piani di investimenti strategici;
- BCR di almeno 4:1, in termini di impatto sui cittadini del Nord America;
- BCR tra 3:1 e 6:1, in termini di impatto di periodi di siccità in Etiopia;
- BCR tra 2:1 e 9:1, in termini di impatto sull'agricoltura del Messico;
- BCR tra 2:1 e 3:1, in termini di impatto di uragani sul settore petrolifero;
- BCR di 10:1, in termini di investimenti nel 2014/15 in UK (M Gray, 2015).

Quindi per ogni euro speso, le stime parlano di ritorni che variano tra i 2 e 36 euro.

## 6. Collaborazioni

Due sono i fattori principali per cui senza collaborazioni non saremmo mai arrivati dove siamo. Prima di tutto, il problema delle previsioni meteorologiche è globale: errori nella stima delle condizioni iniziali propagano, in longitudine, di circa 20-30 gradi al giorno (circa 2000-3000 km), e quindi qualsiasi stato che desideri fare previsioni oltre 1-2 giorni, ha bisogno di ottenere le osservazioni non solo dagli stati confinanti, ma se desidera spingere le previsioni fino a 7-10 giorni, da tutto il globo. L'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), è l'ente che ha aiutato a definire i protocolli di scambio dei dati, a definire gli standard di osservazione, e a stipulare accordi globali di collaborazione. Inoltre, il problema dello sviluppo di modelli numerici accurati, e di sistemi di assimilazione dati che siano in grado di tenere conto di tutte le osservazioni disponibili, è così complesso, che solo

attraverso collaborazioni e scambi continui d'informazioni, idee, e software, il progresso può continuare. Sono pochissimi gli istituti che hanno una massa critica di gente in tutti i settori necessari: solo collaborando si riesce ad avanzare la scienza e la tecnica delle previsioni meteo in tutti i settori necessari in modo uniforme e con tempistiche veloci.

ECMWF, per esempio, collabora non solo con i servizi meteorologici e i principali istituti di ricerca dei 34 stati che lo finanziano, ma anche i servizi meteo e le istituzioni di ricerca di paesi di tutto il globo. Tra questi ricordiamo, ad esempio, i servizi meteorologici cinese e coreano, quello australiano e canadese, il servizio meteorologico americano ed il National Center for Atmospheric Research (NCAR), di Boulder, Colorado (US). Senza tali collaborazioni, ECMWF non sarebbe mai arrivato dove è oggi, e l'accuratezza delle sue previsioni sarebbe molto più limitata. Tali collaborazioni, ad esempio, ci hanno permesso di avere accesso, utilizzare e quindi introdurre nei sistemi ad insieme operativi un modello dinamico dell'oceano e del ghiaccio. Se avessimo dovuto sviluppare tale modello da zero, ci sarebbero volute molte più risorse ed anni di lavoro.

## 7. Quali fenomeni e quali scale temporali riusciamo a prevedere oggi?

Il progresso nelle 6 aree discusse nelle sezioni precedenti ha portato miglioramenti sostanziali ed inimmaginabili in meteorologia. Se consideriamo, di nuovo ECMWF, nel 1975 gli stati fondatori gli diedero come uno degli obiettivi principali di studiare se fosse possibile portare a termine previsioni numeriche accurate ad una settimana. Negli anni '80 e '90, ECMWF non solo riuscì a dimostrare che tali previsioni erano possibili, ma dimostrò che era possibile spingerle oltre una settimana. Negli ultimi 20 anni, grazie allo sviluppo di sistemi di previsione ad insieme, e all'utilizzo di modelli accoppiati del sistema terra-oceano-atmosfera (e non solo di modelli della terra solida e dell'atmosfera), ECMWF ha dimostrato che si può andare oltre. Lavori recenti hanno confermato che si può superare quello che era considerato il limite di predicibilità di 2 settimane, introdotto da Edward Lorenz, il padre della teoria del caos (il primo che introdusse il concetto del 'butterfly effect', il fatto che un piccolo errore agli antipodi di un qualsiasi punto del globo, potrebbe causare il fallimento di una qualsiasi previsione numerica dopo circa 2 settimane).

Si è compreso che il limite di predicibilità è in realtà funzione delle scale spazio-temporali che si cercano di prevedere: fenomeni caratterizzati da scale spazio-temporali più lunghe, se tali scale sono inizializzate in maniera accurata, possono venire previsti molto prima che fenomeni a scale spazio-temporali corte. In altre parole, non si parla più di un limite di predicibilità valido per tutte le scale spazio-temporali, ma si riconosce che certe scale possono venire previste in maniera accurata anche su tempi lunghi (figura 2). Tale interpretazione ci permette di comprendere come mai, ad esempio, si riescono a fare previsioni stagionali per certe variabili (tipo la temperatura media su una regione di qualche migliaio di km quadrati come l'Italia centrale), anche se non si riescono a fare previsioni accurate di pioggia in un punto preciso, quale la città di Firenze, pochi giorni in anticipo.

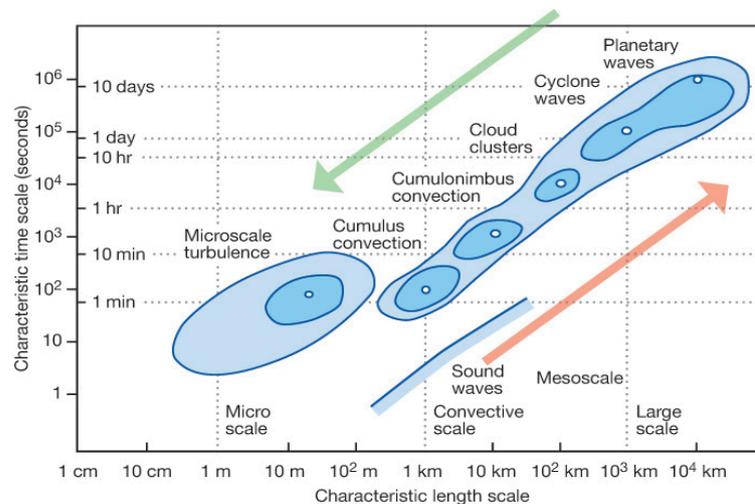


Figura 2. Illustrazioni dell'interazione tra gli errori, che propagano dalle scale piccole alle scale più grandi (frecci rosse) e i segnali predicibili, che propagano dalle scale grandi inizializzate in maniera appropriata, alle scale più piccole (freccia verde). Per ogni scala spazio-temporale, l'orizzonte temporale di predicibilità (in altre parole il limite temporale fino a quando si riesce ad emettere una previsione accurata) dipende dall'interazione tra la propagazione degli errori e dei segnali predicibili.

Le figure seguenti illustrano con casi reali tale concetto di 'scale-dependent predictability'.

La figura 3 mostra una previsione probabilistica (ad insieme) per un punto griglia specifico, in questo caso Firenze. I quattro pannelli mostrano la previsione della distribuzione della temperatura a 2-metri, dell'intensità del vento a 10-metri, della pioggia e della copertura nuvolosa, emessa il 27 ottobre 2016 e valida per i 10 giorni successivi. Per scale temporali di qualche giorno, ha senso fornire previsioni per un punto griglia specifico perché i modelli riescono a generare previsioni accurate per tali scale temporali. Infatti, in media, per la temperatura a 2-metri le previsioni a 3-4 giorni sono accurate al 90%, e a 7 giorni sono accurate al 60%. Prevedere il vento e/o la pioggia è più difficile, e l'accuratezza per tali variabili è più bassa.

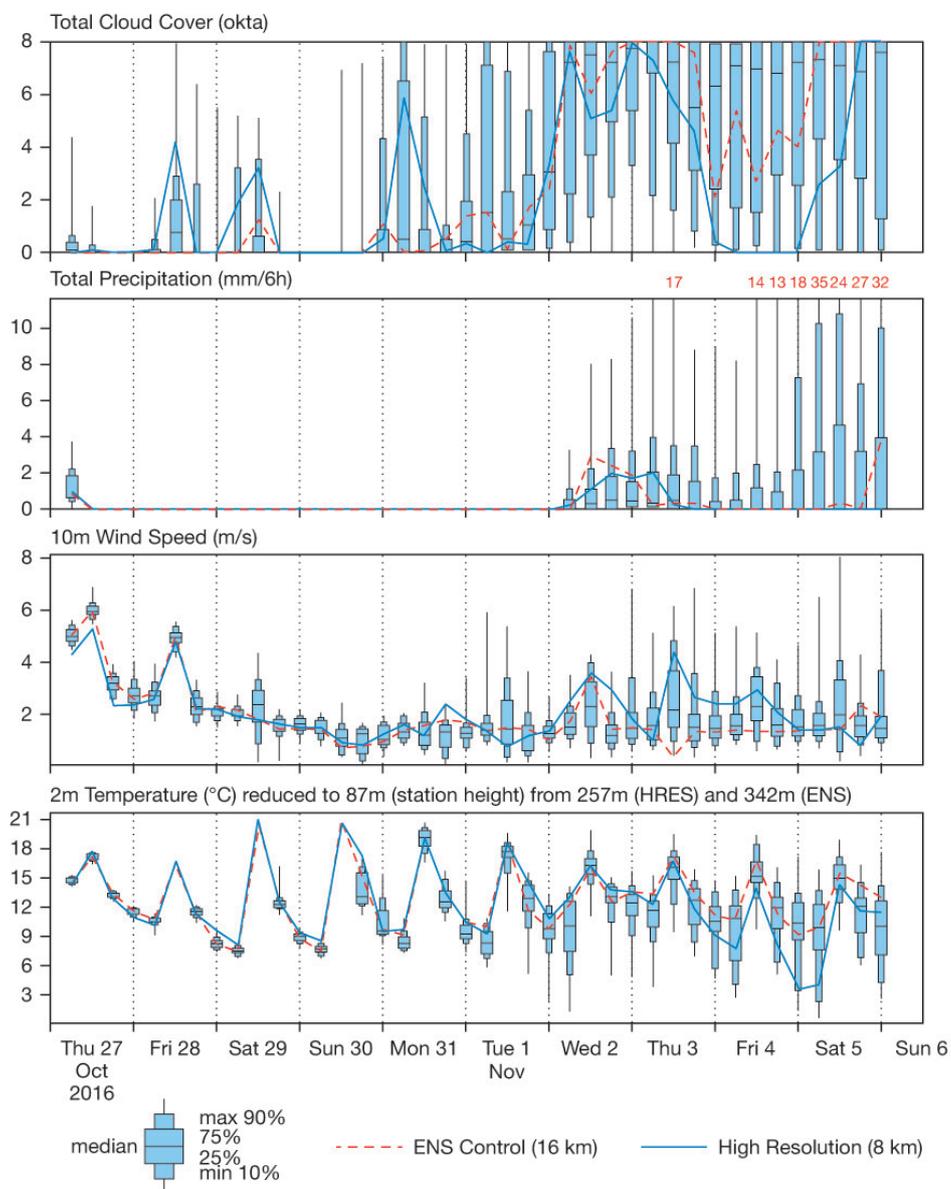
In generale, possiamo dire che ha senso cercare di prevedere variabili quale la temperatura ed il vento vicini al suolo e la precipitazione, su una scala temporale fino a circa 10 giorni. Ma non oltre, perché i modelli numerici di oggi non lo permettono. Il motivo è che errori nelle condizioni iniziali propagano molto velocemente e contaminano tali scale nel giro di pochi giorni. In media, oggi si considera che oltre 10 giorni le previsioni numeriche probabilistiche (ad insieme) per un punto griglia non offrono informazioni più accurate che una statistica degli eventi passati.

La figura 4 mostra una serie di previsioni probabilistiche (ad insieme) emesse fino a 32 giorni prima dell'evento che si cerca di prevedere. Tale evento è l'anomalia di temperatura media settimanale, per una regione ampia quale l'Europa centrale. Previsioni di fenomeni a scala così grande (qualche centinaio di km) e lunga (media su 7 giorni), e per una variabile come l'anomalia di temperatura, sono possibili anche con settimane di anticipo. In media,

queste scale sono prevedibili con una accuratezza del 60% fino a 3 settimane prima.

Tali previsioni sono possibili perché errori nelle condizioni iniziali delle scale piccole impiegano tempi più lunghi, ordine 3 settimane, a contaminare le previsioni sulle scale grandi/lunghe. In media, oggi si considera che fino a 3-4 settimane le previsioni numeriche probabilistiche (ad insieme) di medie settimanali per una regione delle dimensioni dell'Europa centrale offrono informazioni più accurate che una statistica degli eventi passati. Oltre tale orizzonte temporale, anche le previsioni di tali scale grandi/lunghe oggi non è fattibile.

La figura 5 mostra una previsione probabilistica (ad insieme) stagionale di anomalia di temperatura media mensile, per un'area che copre un terzo dell'oceano Pacifico centrale, la cosiddetta area Nino-3.4. L'anomalia di temperatura in tale regione dipende principalmente dall'evoluzione della temperatura dell'oceano, temperatura che evolve molto lentamente. Quindi, se per generare una previsione utilizziamo un modello che simula anche l'oceano, e se l'oceano è inizializzato in modo accurato, è possibile prevedere la sua evoluzione con mesi di anticipo. Infatti, i modelli ad insieme stagionali quale quello di ECMWF riescono a prevedere tali variabili con mesi di anticipo, in casi eccezionali perfino due anni prima. In media, oggi si considera che fino a 12 mesi le previsioni numeriche probabilistiche (ad insieme) di valori medi mensili per una regione delle dimensioni di Nino-3.4 offrono informazioni più accurate che una statistica degli eventi passati. Oltre tale orizzonte temporale, i modelli attuali non danno informazioni più utili di statistiche basate su eventi passati.



Figura

3. Esempio di previsione ad insieme per una punto griglia, Firenze, emessa dal sistema di previsione ad insieme il 27 ottobre 2016 (generata dal sistema ad insieme di ECMWF). Partendo dal basso, i quattro diagrammi mostrano la distribuzione dei valori previsti per la temperatura a 2-metri (pannello 1), l'intensità del vento a 10-metri (pannello 2), la pioggia (pannello 3) e la copertura nuvolosa (pannello 4). Ogni 6 ore, il diagramma 'box-and-whiskers' mostra i valori minimi e massimi previsti (whiskers), e i valori compresi tra il 25-esimo e il 75-esimo percentile (box). In termine di temperatura, il 4 Novembre 2016 la temperatura osservata a Firenze era di circa 14 gradi, un valore compreso nella previsione emessa il 27 ottobre.

## Analysis and ECMWF ENS Forecasting System

2-metre Temperature anomaly

Verification period: 26/09/2016 to 02/10/2016

ensemble size =51 - climate size =660

Shaded areas significant at 10% level, Countours at 1% level

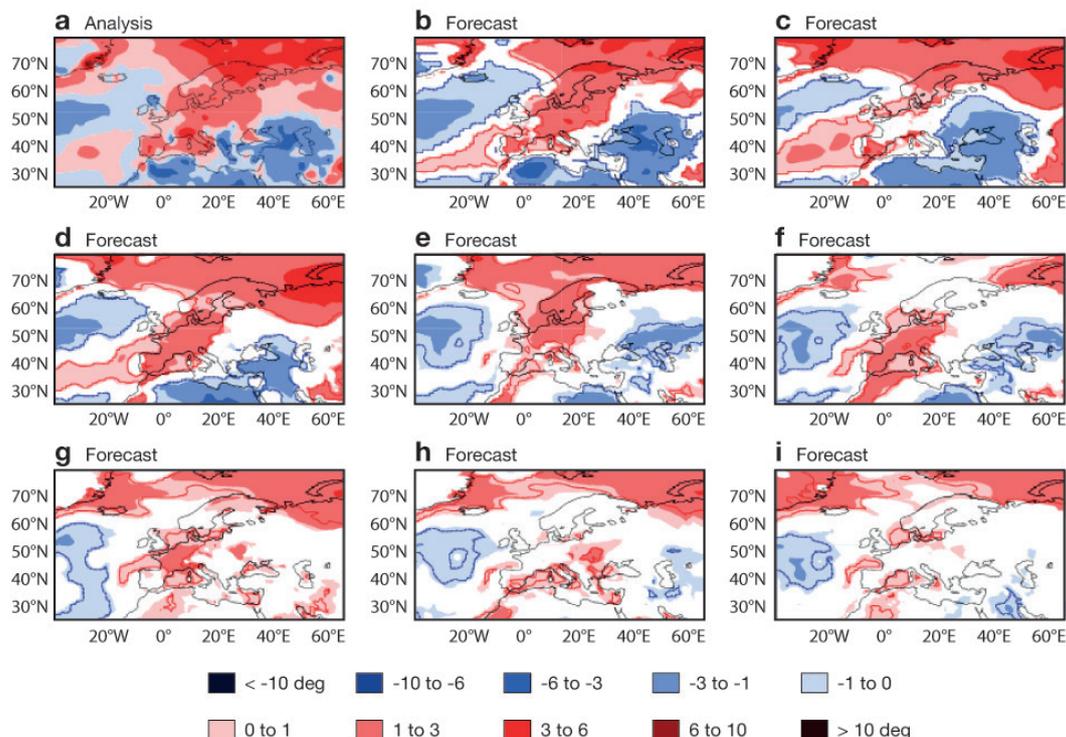


Figura 4 Esempio di previsione ad insieme di anomalie di temperatura a 2-metri prevista per una regione, in questo caso l'Europa, valida per la settimana dal 26 settembre al 2 ottobre 2016 (generata dal sistema ad insieme di ECMWF). Partendo dall'alto a sinistra il primo pannello mostra l'anomalia di temperatura osservata ('analysis'), ed i pannelli successivi le previsioni emesse a partire dal 1 settembre. In dettaglio, i 9 pannelli mostrano:

- prima riga: (a) analysis e previsioni emesse (b) il 26/9 (+1-7 giorni) e (c) il 22/9 (+5-11gg);
- seconda riga: previsioni emesse (d) il 19/9 (+8-14gg), (e) il 15/9 (+12-18gg) e (f) il 12/9 (+15-21gg);
- terza riga: previsioni emesse (g) il 8/9 (+19-25gg), (h) il 5/9 (+22-28gg) ed (i) il 1/9 (+26-32gg).

I pannelli mostrano che dalla previsione emessa il 12/9 (+15-21gg; pannello f), le previsioni sono riuscite ad indicare l'esistenza di un dipolo di anomalie di temperature sull'Europa.

## NINO3.4 SST Anomaly plume ECMWF forecast from 1 November 2015

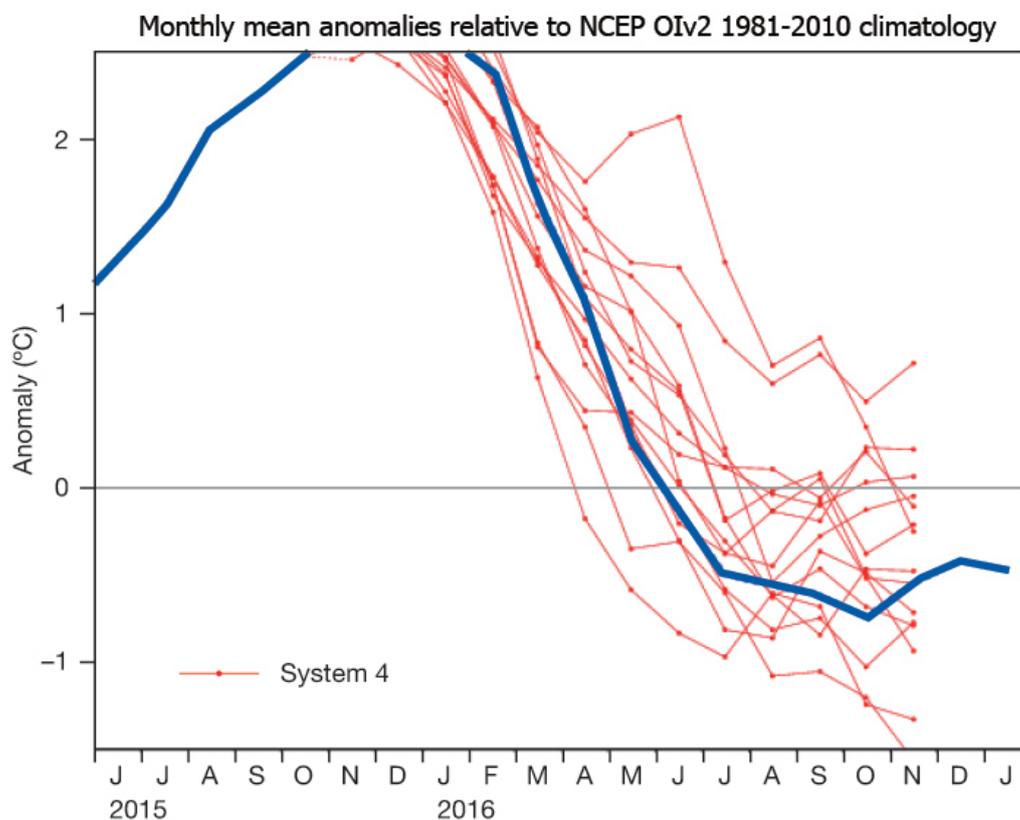


Figura 5. Esempio di previsione stagionale dell'anomalia di temperatura a 2-metri in una regione dell'oceano Pacifico centrale (la cosiddetta area Nino 3.4), emessa dal sistema di previsione ad insieme stagionale di ECMWF il 1 novembre 2015, valida per i 13 mesi successivi. Le linee rosse individuano le 15 previsioni dei membri del sistema ad insieme, e la linea blue mostra i valori osservati. Si noti come gli 11 membri del sistema predittivo prevedono l'evoluzione della temperatura osservata.

## 8. Cosa possiamo aspettarci dal futuro?

Credo che si possa continuare a ridurre gli errori e ad aumentare l'accuratezza delle previsioni meteorologiche, e quindi che si possa espandere l'orizzonte temporale di predicibilità. Tali obiettivi si possono raggiungere rendendo i modelli sempre più realistici, includendo quelle componenti che per ora non sono ancora incluse (ad esempio gli aerosol), aumentando la risoluzione della griglia su cui vengono risolte le equazioni numeriche, e aumentando le nostre conoscenze del sistema terra-oceano-atmosfera. In poche parole, continuando a lavorare lungo tutte le aree discusse qui sopra, si può continuare a progredire.

Quanto velocemente si può continuare ad allungare il limite di predicibilità?

La figura 6 mostra l'evoluzione di una delle misure della qualità delle previsioni probabilistiche ad insieme per una variabile che rappresenta le scale medie (diciamo ordine qualche centinaio di km), il geopotenziale a 500 hPa, sull'emisfero Nord. Valori positivi di tale metrica indicano che le previsioni sono migliori di previsioni statistiche, basate sull'analisi degli eventi occorsi degli ultimi 20 anni (previsioni perfette avrebbero una misura di accuratezza 1.00). La figura mostra che le previsioni a 7 giorni emesse oggi (nel 2016, curva verde), hanno lo stesso livello di accuratezza delle previsioni a 5 giorni che venivano emesse 10 anni fa (curva rossa). In altre parole, le previsioni probabilistiche ad insieme per tale variabile sono migliorate, in media, di circa 2 giorni ogni decade. Una simile analisi basata sulle previsioni di precipitazione mostra valori simili di miglioramento (non mostrata), mentre un'analisi basata su scale più grandi/lunghe mostra che si riescono a guadagnare 2-4 giorni ogni 10 anni.

Chiaramente, se vogliamo mantenere tale passo di miglioramento, occorre continuare a lavorare lungo tutte e 6 le direzioni strategiche individuate sopra: osservazioni, ricerca scientifica, personale, potenza di calcolo, investimenti e collaborazioni. Se si riuscisse in tale impresa, penso che si potrebbero continuare a migliorare la qualità delle nostre previsioni, e guadagnare circa 1-2 giorni di predicibilità per le scale piccole ogni 10 anni, circa 2-4 giorni per le scale medie e circa 1 settimana per le scale più lunghe.

In conclusione, se ripensiamo a eventi quale l'alluvione di Firenze del 1966, negli ultimi 50 anni ci sono stati progressi enormi e fondamentali in meteorologia. Oggi, con i sistemi di previsione probabilistici ad insieme riusciamo a prevedere tali eventi estremi qualche giorno prima (vedi anche il contributo di V. Capecchi). Notate che parlo di previsione 'probabilistiche' e non di una previsione deterministica. Di fatti, malgrado il progresso, i sistemi predittivi non sono in grado di dare una previsione di eventi estremi di pioggia su un punto griglia preciso come Firenze, neppure su scale temporali brevissime (diciamo poche ore). Ad esempio, non sono in grado di prevedere accuratamente l'intensità e la localizzazione di eventi estremi a piccola scala, quale quelli legati ad esempio a una cella temporalesca che causa precipitazioni dell'ordine di 50-100 mm in qualche ora. Sono però in grado di prevedere la probabilità che tali eventi estremi, che possono causare danni catastrofici, accadano nei giorni successivi. Utilizzando in modo appropriato tali previsioni probabilistiche, oggi siamo in grado di prendere le decisioni necessarie per ridurre al minimo l'impatto che tali eventi possono avere sulla popolazione e sul territorio.

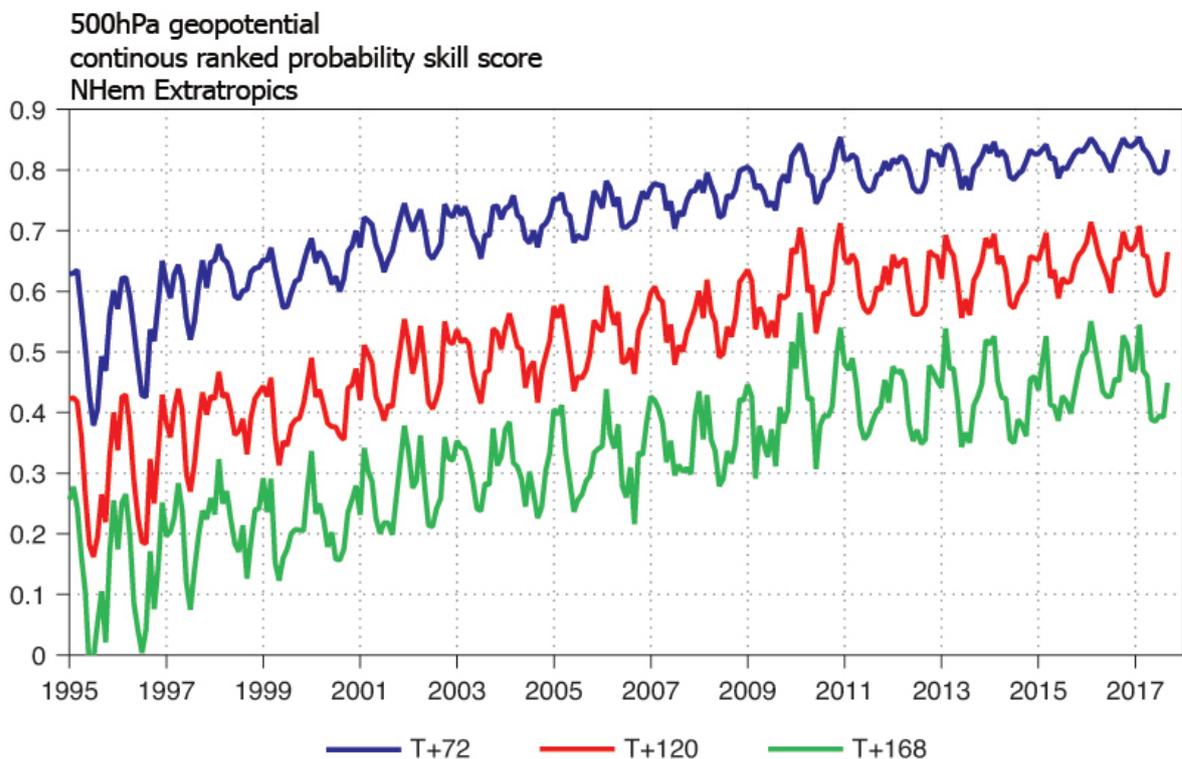


Figura 6. Qualità delle previsioni probabilistiche ad insieme per la previsione del geopotenziale a 500 hPa sull'emisfero nord, per le previsioni a 3 giorni (linea blue), a 5 giorni (linea rossa) e a 7 giorni (linea verde). La qualità delle previsioni è misurata con il 'Continuous Rank Probability Skill Score', una metrica che confronta la qualità delle previsioni giornaliere con una previsione statistica, basata sugli eventi passati degli ultimi 20 anni. Valori positivi di CRPSS indicano che le previsioni sono meglio delle previsioni statistiche. Un valore di CRPSS=1.00 indica una previsione perfetta.

# La meteorologia da satellite dal 1966 a oggi

Vincenzo Levizzani  
CNR-Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima

Osservare l'atmosfera terrestre dallo spazio non era possibile alla fine degli anni '50 del secolo scorso perché il primo satellite meteorologico fu lanciato il giorno 1 aprile 1960 dalla National Aeronautics and Space Administration (NASA), il Television InfraRed Observation Satellite (TIROS-1). Altri nove TIROS vennero realizzati tra il 1960 e il 1966 e l'evoluzione della meteorologia satellitare è continuata da allora senza soste. Passi da gigante sono stati compiuti dalle semplici visioni fotografiche dei primi satelliti ai sofisticati sensori attivi e passivi che sono ospitati a bordo degli attuali satelliti. Cosa riusciamo a osservare ai nostri giorni? Quali sono i contributi che la moderna meteorologia satellitare mette a disposizione per meglio prevedere e osservare un evento di precipitazione intensa come quello che provocò l'alluvione dell'Arno il 4 novembre 1966?



Figura 1. Costellazione dei satelliti meteorologici e ambientali inclusi nel Global Observing System (GOS) della World Meteorological Organization (WMO).

La Figura 1 mostra l'attuale composizione della costellazione dei satelliti che assicurano il monitoraggio globale in tempo reale dell'atmosfera terrestre; i singoli satelliti appartengono ai vari servizi meteorologici e ambientali delle nazioni afferenti alla World Meteorological Organization (WMO). Mediante questa costellazione siamo in grado di monitorare in tempo reale le varie componenti del ciclo dell'acqua quali ad esempio: la precipitazione, il trasporto di calore negli oceani, l'evaporazione, il flusso di vapore acqueo, l'umidità del suolo, la salinità degli oceani e molto altro ancora. Capiamo, quindi, i giganteschi passi avanti che sono stati compiuti dal punto di vista osservativo dagli anni 60 del secolo scorso. Teniamo, inoltre, presente che questi dati entrano nelle basi di dati per gli studi di lungo periodo sul clima e i cambiamenti climatici.

Tuttavia, per la meteorologia e le precipitazioni, cosa in realtà osserviamo e quali contributi danno le osservazioni satellitari con sensori passivi (radiometri) e attivi (radar)? La nube è un ambiente estremamente complesso nella sua dinamica e anche nella microfisica delle idrometeore (Figura 2). Quando osserviamo da 800 Km di quota mediante i sensori attivi e passivi noi otteniamo informazioni in emissione o scattering dalle idrometeore che si possono trovare a diverse quote e possono essere liquide, solide o miste. I sensori a bordo dei moderni satelliti per le osservazioni delle nubi e della precipitazione sono evoluti dal semplice visibile/infrarosso in grado di osservare soltanto la sommità delle nubi a sensori molto più complessi nelle microonde e radar a varie frequenze.

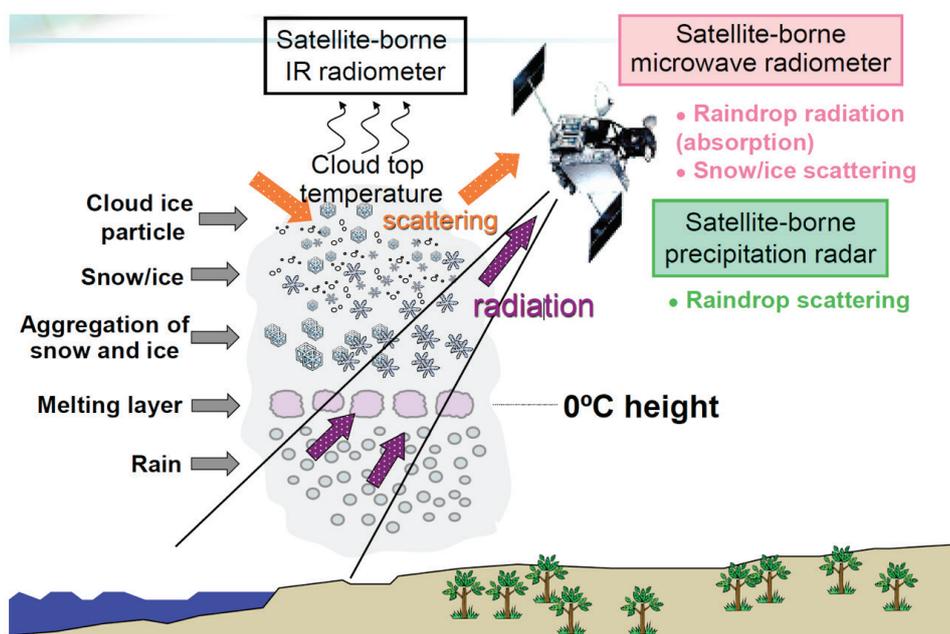


Figura 2. Struttura di una nube temporalesca e sistemi di osservazione di remote sensing passivi e attivi da satellite.

La missione più recente a cui partecipano anche gruppi di ricerca italiani è la Global Precipitation Measurement (GPM) mission (<https://pmm.nasa.gov>) che porta in orbita un radiometro di ultima generazione nelle microonde (GPM Microwave Imager, GMI) e un radar a doppia frequenza (Dual-frequency Precipitation Radar, DPR) che è in grado di osservare la precipitazione alla frequenza di 13.6 GHz e le idrometeore di nube non ancora precipitanti a 35.5 GHz (Figura 3).

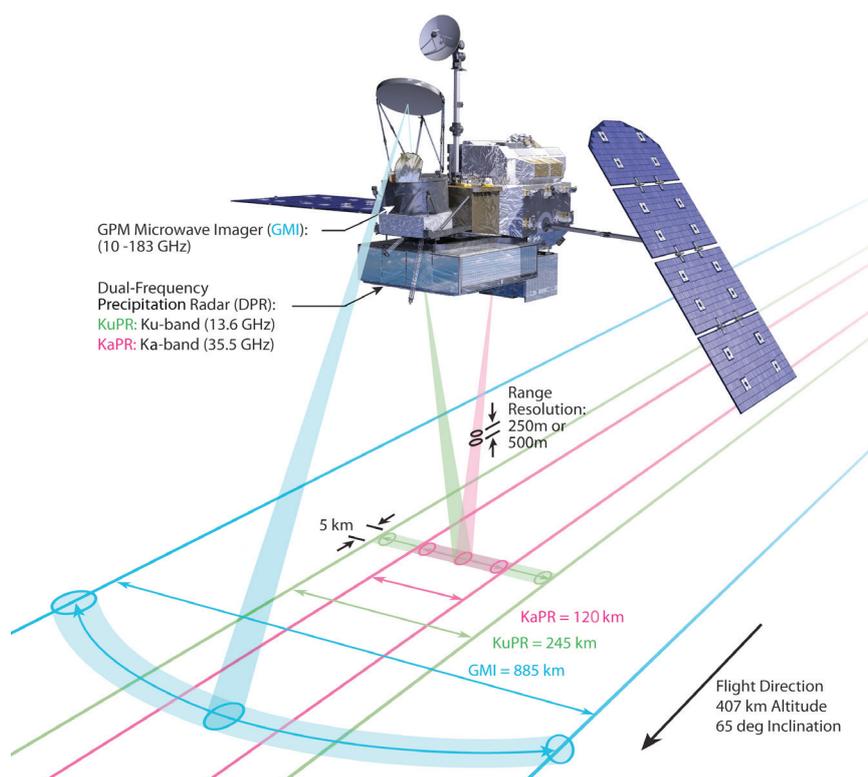


Figura 3. Il satellite Global Precipitation Measurement (GPM) mission lanciato il 27 febbraio 2014 dalla National Aeronautics and Atmospheric Administration (NASA) e dalla Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA).

Il radar a bordo del satellite è il successore del radar a frequenza singola della Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) che ha contribuito moltissimo al miglioramento quantitativo della misura di precipitazione dallo spazio nella fascia tropicale. La misura radar dell'intensità di precipitazione è molto più precisa di quella più indiretta da radiometro nelle microonde. Essa viene utilizzata sia come prodotto a sé stante e per calibrare la misura da radiometro GMI, ma anche per calibrare i sensori alle microonde sugli altri satelliti della costellazione globale. In questo modo non solo disponiamo di misure globali ad alta frequenza temporale (la GPM assicura una copertura globale delle mappe di precipitazione ogni 3 ore), ma anche di misure per la prima volta calibrate in maniera omogenea. La Figura 4 mostra un esempio di uno dei prodotti globali in occasione del passaggio dell'uragano Otto

sul Centro America.

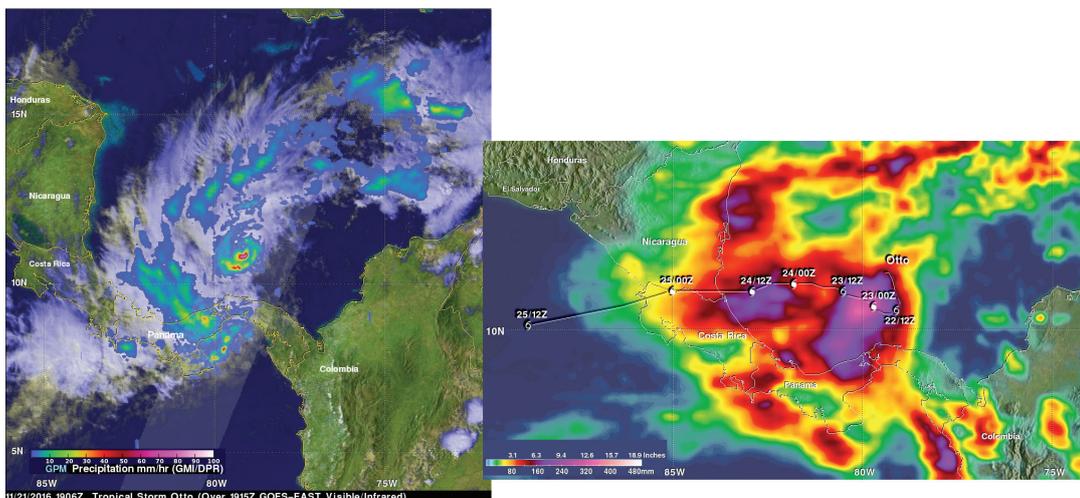


Figura 4. Mappa di precipitazione (in mm/h) in caduta dall'uragano Otto (21 novembre 2016 1906 UTC) e mappa della precipitazione cumulata (in mm) tra il 21 e il 25 novembre. La traiettoria dell'occhio dell'uragano è sovrapposta con la collocazione alle 0000 e alle 1200 UTC.

L'avanzamento delle capacità osservative dei sistemi precipitanti, però, non si ferma al miglioramento quantitativo della misura della precipitazione liquida (pioggia), ma i nuovi sensori ad alta frequenza nelle microonde e i nuovi radar come il DPR consentono per la prima volta di osservare la componente ghiacciata (neve). Questo è un autentico salto “quantico” nelle nostre capacità osservative perché apre di fatto la strada alla chiusura del ciclo dell'acqua alle alte latitudini dove la precipitazione solida è prevalente. Un esempio di osservazione di precipitazione liquida e solida da parte di GPM è mostrato in Figura 5.

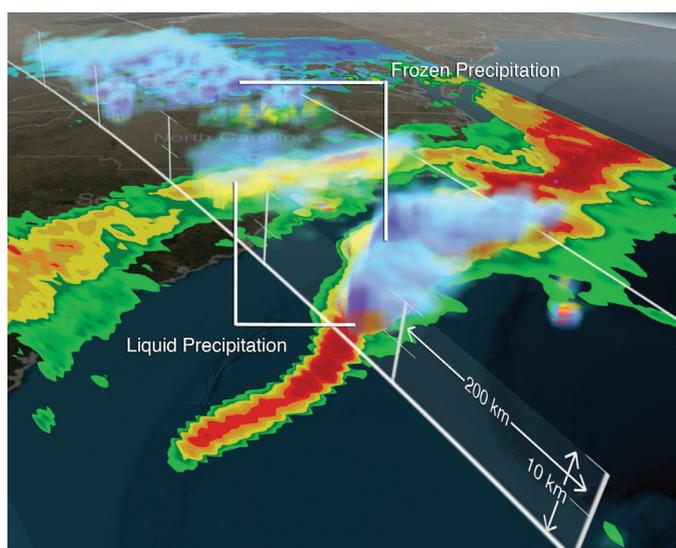


Figura 5. Osservazione GPM della precipitazione da un sistema invernale sulla costa est degli Stati Uniti il 17 marzo 2014. Si osservi la componente liquida a bassa quota (toni dal verde al rosso) e quella solida a quota più elevata (toni dall'azzurro al blu).

Quindi, in buona sintesi: cosa possiamo aspettarci dai dati satellitari della costellazione dei satelliti meteorologici in orbita e dall'avanzamento enorme delle capacità tecniche e scientifiche per il monitoraggio delle nubi e delle precipitazioni? Abbiamo maggiori capacità osservative rispetto al novembre 1966 e soprattutto riusciamo ad avere informazioni che ci permettano di meglio prevedere fenomeni come quello del 4 novembre 1966 che provocò l'esondazione dell'Arno?

La risposta è del tutto positiva e la più importante applicazione dei dati satellitari è la loro assimilazione nei modelli di previsione numerica del tempo per aumentare la precisione delle previsioni attraverso una migliore descrizione dei processi fisici nei modelli stessi. I moderni modelli sono in grado di assimilare prodotti quali la precipitazione e il vapore acqueo, cosa che non era considerata possibile fino a meno di dieci anni orsono.

Molte recenti osservazioni di fenomeni atmosferici hanno poi permesso di capire meglio le ragioni profonde di alcuni fenomeni estremi che possono portare ad alluvioni come quella del 4 novembre 1966. Uno di questi è la scoperta attraverso le osservazioni satellitari degli "atmospheric river", stretti corridoi o "filamenti" di umidità concentrata in atmosfera che sono responsabili della maggior parte del trasporto verso i poli di vapore acqueo. Essi consistono di strette bande di aumentato trasporto di vapore tipicamente lungo i confini tra grandi aree di divergenza alla superficie incluse alcune zone frontali associate a cicloni extratropicali che si formano sugli oceani. Un esempio sul Pacifico occidentale il giorno 11 dicembre 2014 alle 1055 UTC è mostrato in Figura 6. L'analisi dell'evento del novembre 1966 sembra indicare che uno di questi fenomeni di trasporto è alla base della disponibilità di vapore acqueo che provocò la formazione di precipitazioni intense sulla Toscana prima e sul Nord Est in seguito.

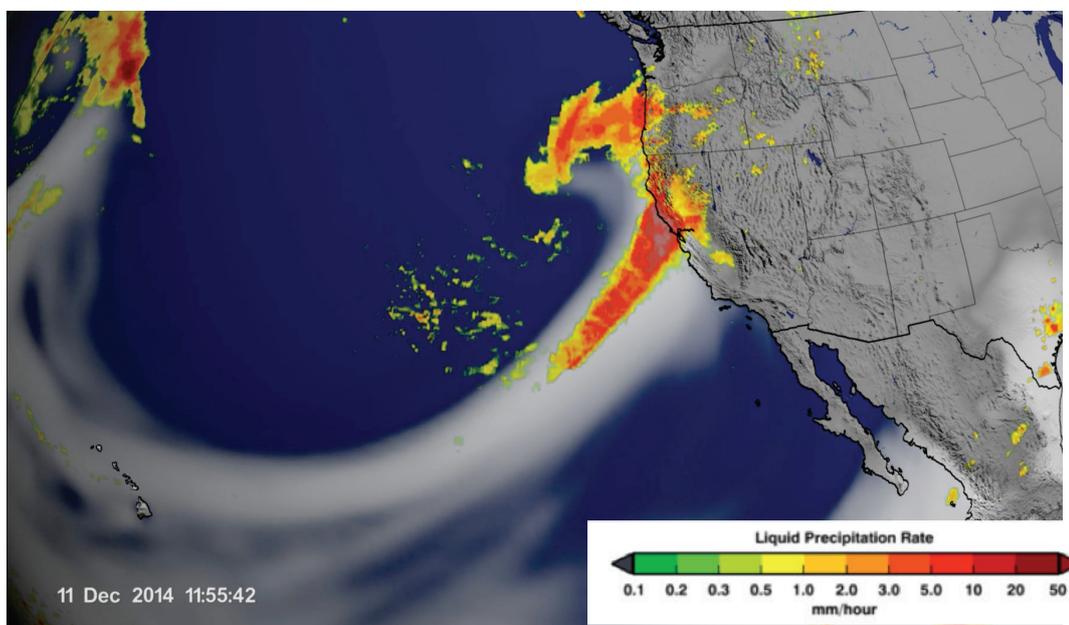


Figura 6. Osservazione di un "atmospheric river" sul Pacifico davanti alle coste della California. La precipitazione dalla missione GPM è sovrapposta ed è alimentata dall'apporto massivo di vapore acqueo su grande distanza del "river".

Il remote sensing satellitare non si sostituisce alle previsioni da modello numerico o alle osservazioni radar da terra, ma è complementare a entrambe e fornisce un punto di vista su varie scale che vanno da quella globale alla scala di nube con osservazioni molto frequenti e che forniscono un input fondamentale su dinamica, struttura microfisica e caratteristiche evolutive dei sistemi precipitanti. Le osservazioni satellitari non sono influenzate dal tempo meteorologico e avvengono su mare e su terra. Infine, i dati sono disponibili in tempo quasi reale da algoritmi veloci e operativi e il costo degli stessi è già incluso nell'operatività dei vari satelliti. Usiamoli!

*La meteorologia in Italia: storia e ruolo del servizio meteorologico nazionale.*

# *Imodelli e gli strumenti d'osservazione dell'Aeronautica Militare.*

---

*Col. G.A.r.n. Silvio Cau,  
Aeronautica Militare,  
Rappresentante Permanente dell'Italia presso l'OMM*

A 50 anni di distanza è, forse, il momento giusto per riflettere brevemente su cosa avevamo allora e cosa avremo avuto oggi per confrontarci con un evento così intenso.

Per dare un'idea della forza dell'ondata di piena ricordo che, a causa dello stato del mar Tirreno (forza 5), si ebbe una diminuzione della capacità di deflusso in mare dell'Arno con conseguente effetto di risalita verso monte. Il 13 novembre alle 07.30 crollò di schianto Ponte Solferino a causa del defluire della piena e quindi della massa d'acqua che lo sosteneva dopo che lo aveva minato. Le conseguenze dell'alluvione non si limitarono al crollo del Ponte, nel febbraio 1967 cominciò a cedere anche Lungarno Pacinotti a causa della pressione della piena che aveva attraversato di slancio l'unica arcata del Ponte di Mezzo infrangendosi sul muro del Lungarno. Per otto anni un ponte Bailey congiunse le rive consentendo l'attraversamento pedonale del fiume fino all'inaugurazione di un nuovo ponte.



*Figura 1. Immagine dell'Arno che attraversa la città di Pisa.*

Dai dati climatologici si vede come, in media, il mese più piovoso a Firenze sia novembre e, analizzando le 56 alluvioni verificatesi tra il 1100 ed il 1966 più di 1 su 4 sia avvenuta a novembre e di queste 3 volte il 4 novembre ed una volta il 3 dello stesso mese. Quindi il periodo era consigliava di tenere alto il livello di attenzione.

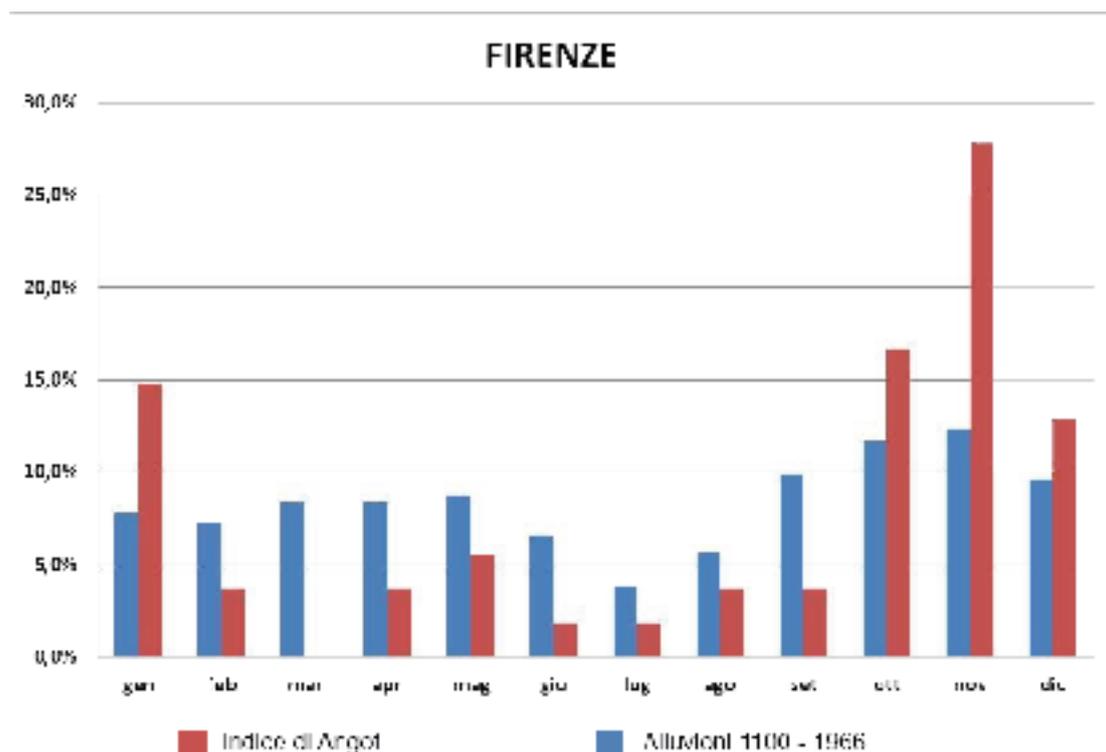


Figura 2. Istogramma sull'occorrenza delle alluvione nei diversi mesi dell'anno nella città di Firenze

All'epoca si analizzava la situazione sinottica con le carte che erano tracciate a mano basandosi sui dati che arrivavano via telescrivente e venivano mandate via MUFAX. Si avevano anche le prime immagini da satellite. Dalla situazione in quota del giorno 2 si vedeva un ampio promontorio verso le isole britanniche e la Scandinavia che bloccava l'afflusso di masse fredde dalla Groenlandia. Più a sud aria fredda si spingeva dai paesi baltici verso Spagna e golfo di Biscaglia. Contemporaneamente vi era un moderato afflusso di aria calda dall'Africa settentrionale all'Italia.

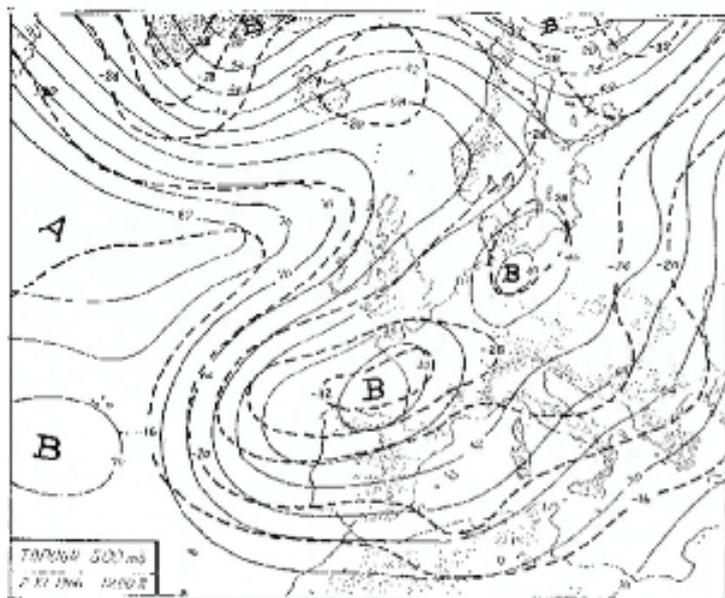


Fig. 16 - Topografia a 500 mb delle ore 00 del 2-11-1966

Figura 3. Carta sinottica, situazione in quota del giorno 2.

Il giorno 3 l'anticiclone atlantico si sfaldava rapidamente e lo scudo contro la forte irruzione fredda dalla Groenlandia svaniva così che l'aria fredda irrompeva velocemente verso l'Europa occidentale rinforzando il preesistente vortice sulla Spagna, spingendosi fino all'Atlante. L'approfondimento della saccatura e la notevole vorticità ciclonica in seno alla saccatura stessa sono evidenziate dalla rapida caduta di pressione al suolo sull'Italia.

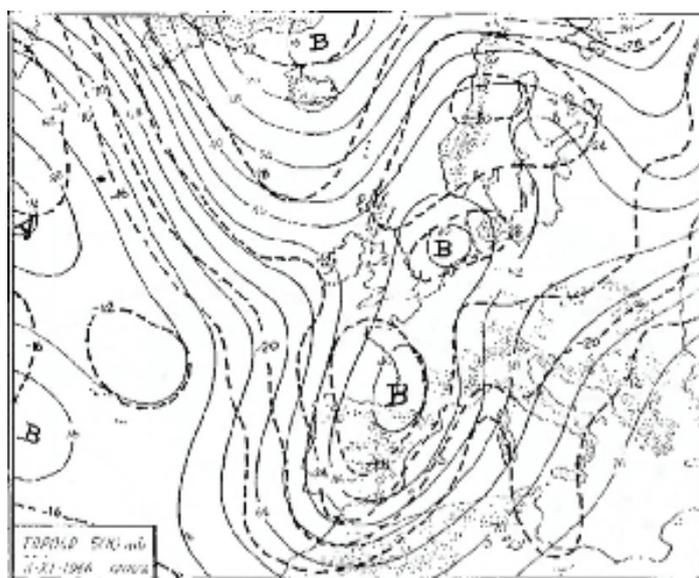


Fig. 17 - Topografia a 500 mb delle ore 08 del 3-11-1966

Figura 4. Carta sinottica, situazione in quota del giorno 3.

Il giorno 4, dai rilevamenti effettuati dal satellite NIMBUS 2 su 3 passaggi (10.01Z, 11.49Z e 13.37Z), si ricava la distribuzione della nuvolosità da cui si può rilevare l'importante avvezione fredda dalla Groenlandia verso l'Europa occidentale e l'intenso flusso di aria calda verso l'Italia. Dall'andamento barico al suolo si vede come siamo attorno al minimo.

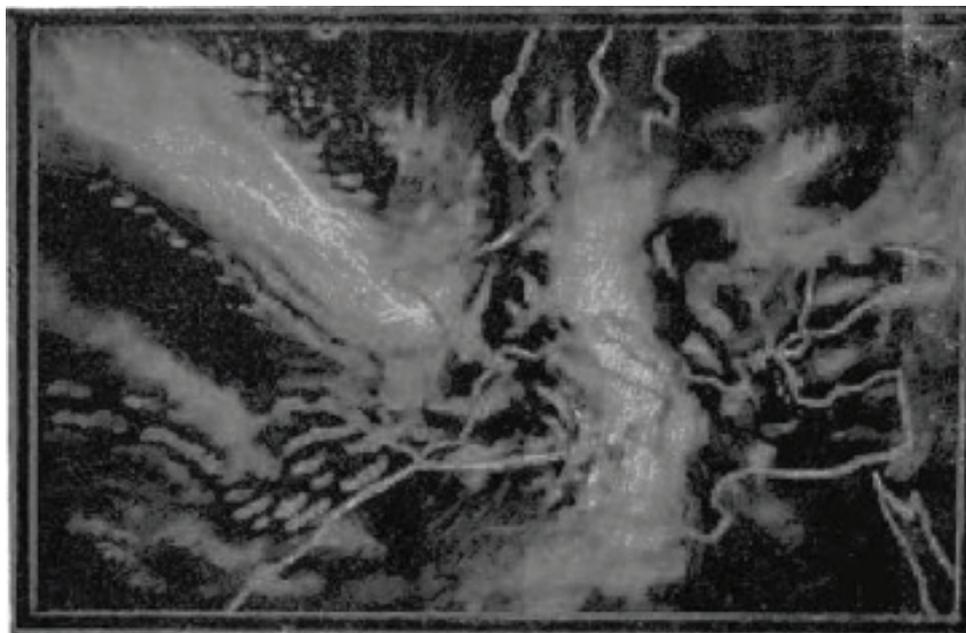


Fig. 1 - Schizzo ricavato dai rilevamenti fotografici trasmessi dal satellite meteorologico Nimbus 2 e ricevuti dalla Meteorologische Satellitenforschung di Berlino Ovest in tre successivi passaggi alle ore 10 01, 11 49 e 13 37 del 4 novembre 1966 (rotazioni in orbita n. 2304, 2305 e 2306)

Figura 5. Schizzo ricavato dai rilevamenti fotografici del satellite meteorologico Nimbus2, ricevuti in tre successivi pasaggi del giorno 4 Novembre 1966.

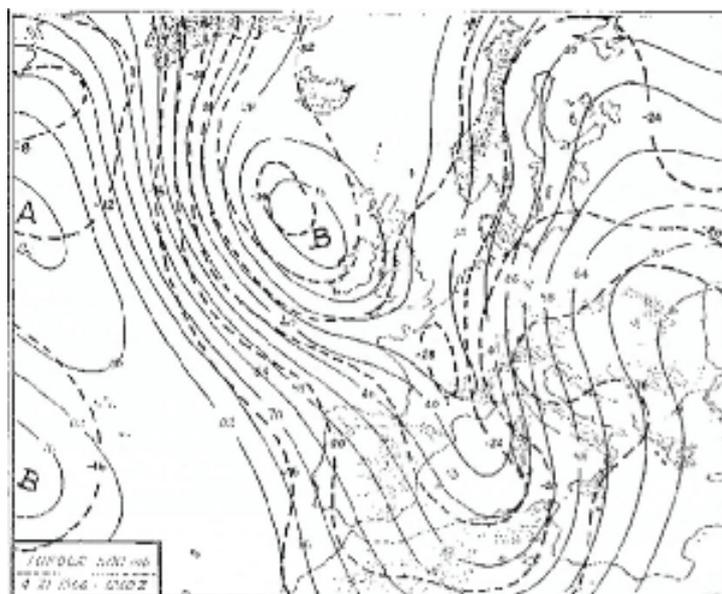


Fig. 15 - Viteografia a 500 mb d'alta ore 15 del 4 11 1966

Figura 6. Carta sinottica situazione in quota del giorno 4

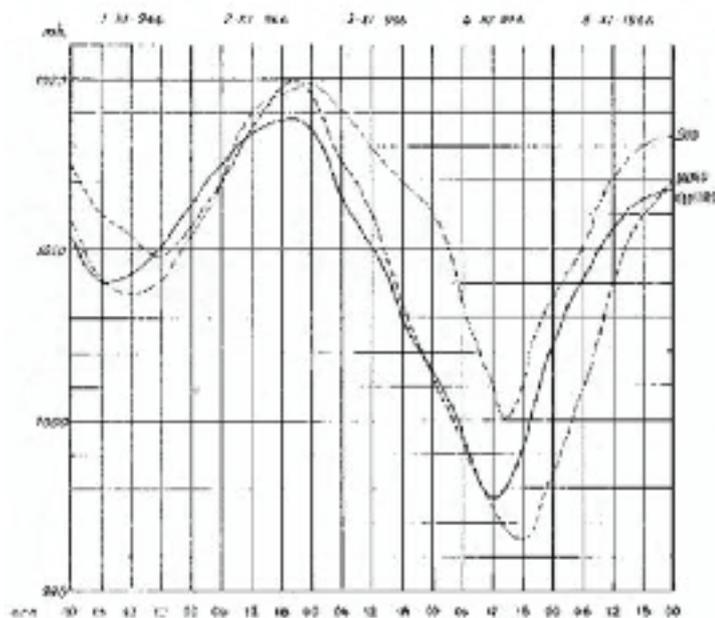


Figura 7. Cronosondaggio

Da un esame dei cronosondaggi, balza all'occhio come ci sia stato un risucchio di aria calda in quota, evidente soprattutto dai dati di Udine (0° a 3780m tra le 00z e le 12Z del 4 nov con un aumento di 12°C), seguito da un equivalente abbassamento nelle 24 ore successive. L'ampiezza dell'onda termica fu rilevante a Udine Milano e Cagliari. Si evidenzia anche un forte aumento della velocità del vento da sud a tutte le quote e la rapida rotazione del vento nei bassi strati al passaggio del fronte freddo. L'intensità media del vento fu di 30-35 kts con raffiche che localmente superarono i 65 kts, raggiungendo la massima intensità nella notte e nella prima mattinata del 4.

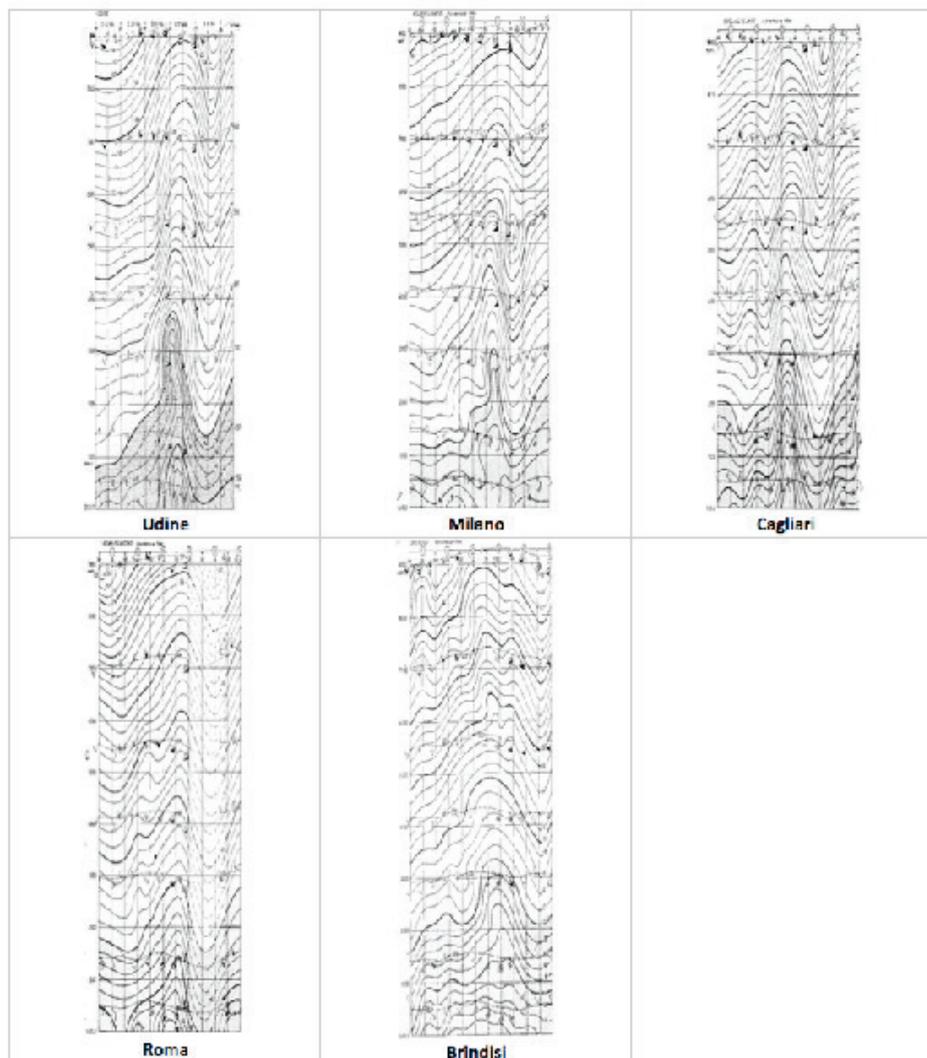


Figura 8. Cronosondaggi nelle città di Udine, Milano, Cagliari, Roma e Brindisi

In conseguenza del rapido afflusso di aria calda ed umida da sud, le piogge furono estese ed intense. I dati sono stati desunti dai bollettini sinottici dell'epoca. L'effetto stau al quale hanno obbedito le masse d'aria calda e umida nel seguire l'orografia sopravvento ha accentuato il fenomeno sulla zona ligure-toscana. I valori di precipitazione sull'area risultano abbondanti. Le stazioni dell'ENEL del bacino del Serchio registrarono a loro volta, in diverse località, valori superiori ai 200 mm. Tali piogge abbondanti determinarono l'eccezionale portata dei fenomeni. Data l'intensità e la persistenza del vento le registrazioni pluviometriche potrebbero essere state sottostimate a causa dei vortici e della forte inclinazione delle gocce in caduta.

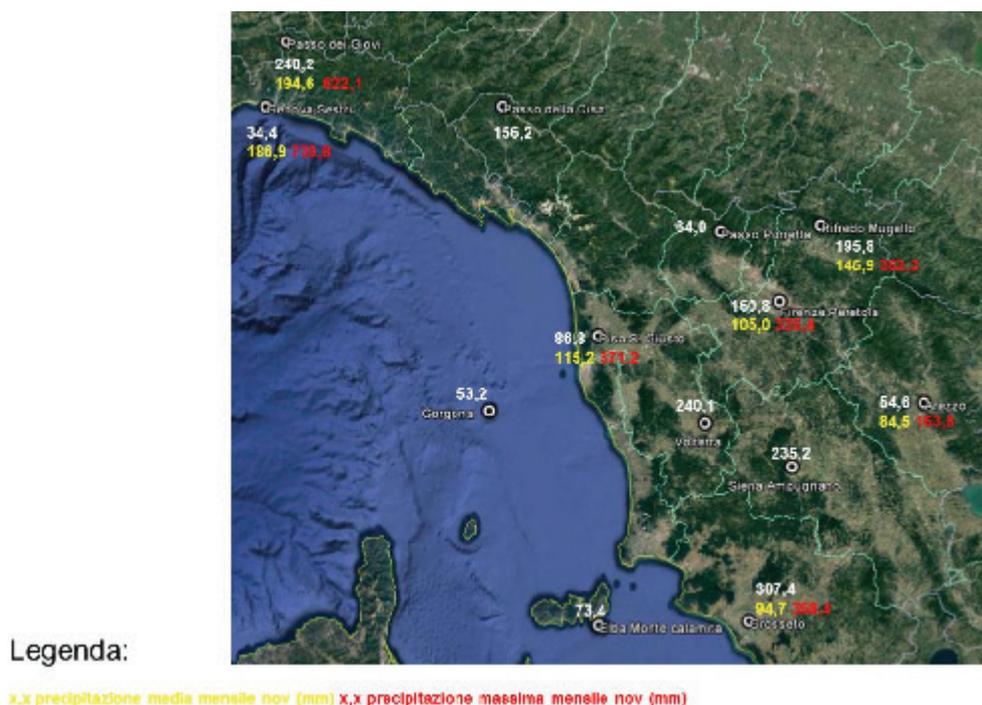


Figura 9. Precipitazione (mm) media e massima mensile del mese di Novembre

Per ricevere le carte meteorologiche si usava il MUFAX con possibilità di ricezione anche via radio. Il segnale in arrivo era convertito in impulsi che arrivavano ad una lamina scrivente che impressionava la carta trattata chimicamente. Alla fine della trasmissione si aveva la carta. Per diffondere e ricevere i dati in formato alfanumerico si usava la telescrivente, all'epoca elettromeccanica, che trasmetteva i bollettini attraverso la rete sinottica. Il codice usato era il Baudot in cui i caratteri sono rappresentati da cinque bit. La velocità era di 50 baud (50 simboli al secondo e quindi equivaleva a 250 bit/s). Le immagini da satellite provenivano dal satellite NIMBUS 2 che si trovava su un'orbita quasi circolare e quasi eliosincrona di 1179 Km con un periodo di circa 108'. Venivano mandate immagini nel visibile con una risoluzione di circa 750 m al nadir, immagini infrarosse ad alta risoluzione (8 Km al nadir nella finestra 3,5-4,1  $\mu\text{m}$ ) ed immagini infrarosse a media risoluzione (nelle finestre 6,4-6,9  $\mu\text{m}$  assorbimento H<sub>2</sub>O vap., 10-11  $\mu\text{m}$  finestra, 14-16  $\mu\text{m}$  assorbimento CO<sub>2</sub>, 5-30  $\mu\text{m}$ , 0,2-0,4  $\mu\text{m}$ ).

Con l'ausilio dell'attuale modellistica numerica le Ensembles global forecasts a t<sub>0</sub>+72 h avrebbero fornito una valida informazione circa le condizioni sinottiche.

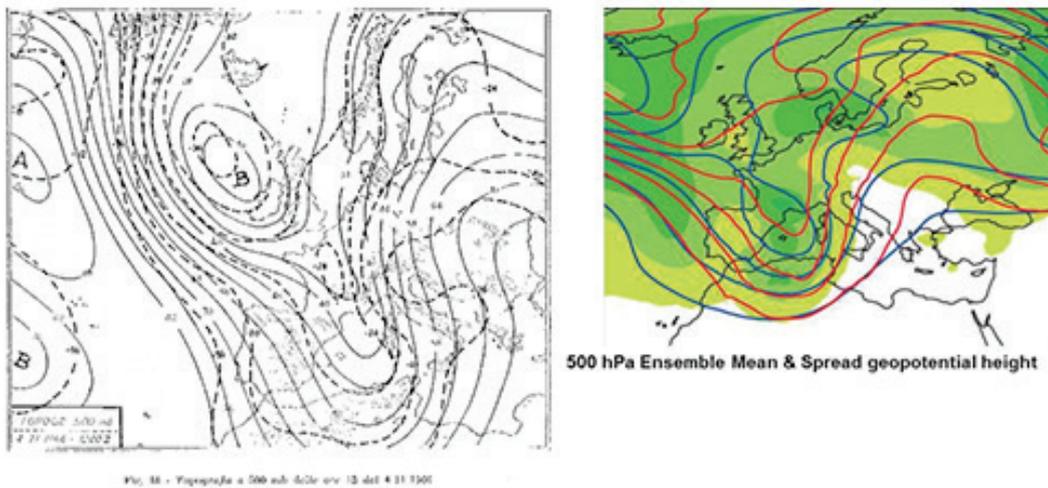


Figura 10. Uscita modellistica sull'altezza del Geopotenziale a 500 hPa.

L'uso di un LAM avrebbe consentito di prevedere a 24 ore la situazione verificatasi a mesoscala.

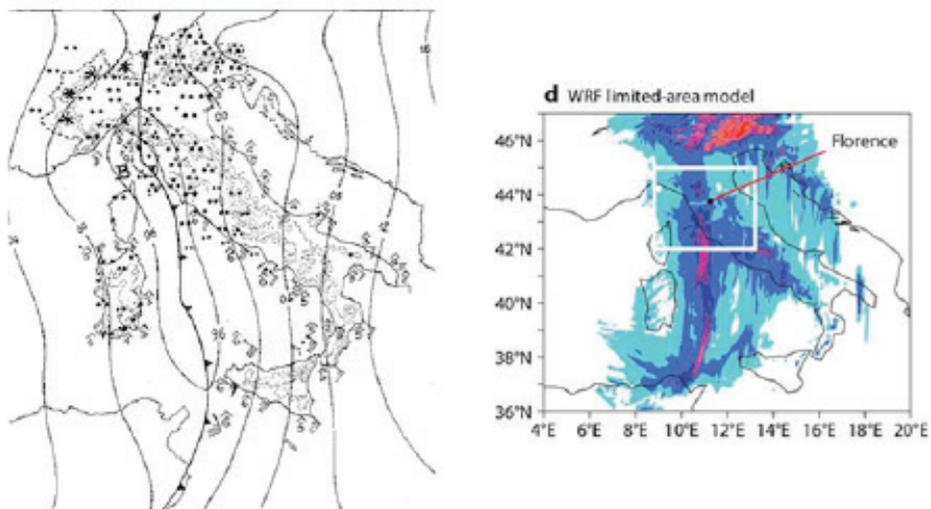


Figura 11. Uscita di un modello ad area limitata.

La predizione di Probabilità di Precipitazione superiore a 50 mm a  $t_0+72$  h avrebbe consentito di dare input meteorologici quantitativi di buon valore per gli idrologi.

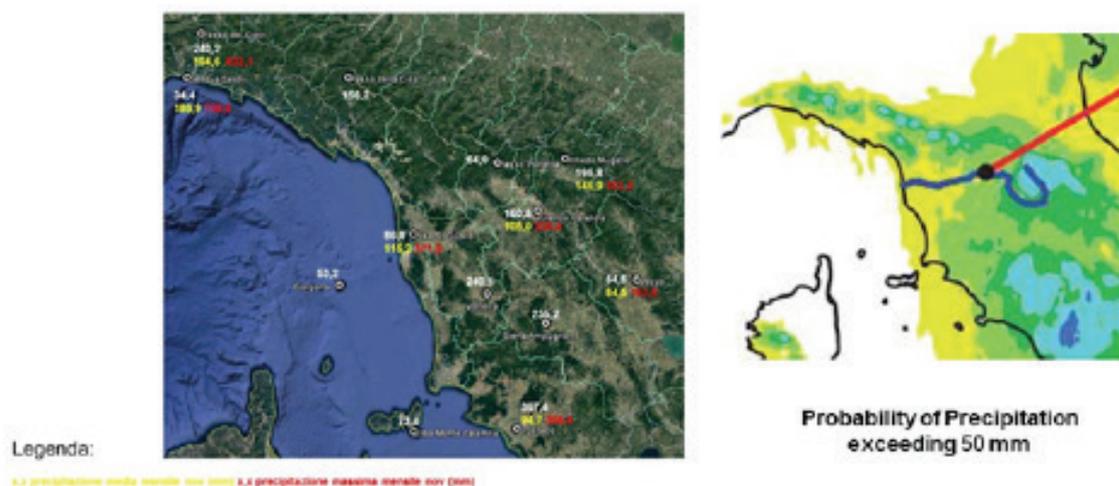


Figura 12. Precipitazione (mm) media e massima mensile del mese di Novembre; uscita modellistica sulla probabilità di precipitazione sopra i 50 mm nelle 24 ore per il giorno 4 novembre 1966

Oggi l'accentramento, l'elaborazione e la distribuzione di dati meteo avviene sfruttando le tecnologie HPC e ICT. L'attuale HPC dell'Aeronautica Militare presso il Centro Operativo per la Meteorologia di Pratica di Mare ha un'architettura ibrida CPU/GPU con una potenza di calcolo di picco nominale di circa 190 TFlops e una banda verso l'esterno di 200 Mb/sec. I satelliti in servizio oggi sono sia geostazionari (METEOSAT a circa 36000 Km.) che polari (EPS a circa 800 Km.). Con l'ingresso in servizio della Seconda Generazione METEOSAT la risoluzione nel visibile passerà da 2,5 Km. a 1 Km. e quella nell'infrarosso da 5 Km. a 3 Km. Gli EPS montano un'ampia gamma di strumenti che comprendono sensori per fornire dati di temperatura ed umidità sull'intera colonna atmosferica ad alta risoluzione orizzontale e verticale con l'indubbio vantaggio che possono essere assimilati direttamente nei NWP models.

Con i mezzi e le procedure dell'epoca si riuscì comunque a dare un preavviso della situazione che stava evolvendo. Il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare seguì con continuità lo sviluppo della situazione segnalando per tempo una situazione di pericolo.

Alle 22.41 del 2 novembre il Centro Meteorologico Regionale di Fiumicino emise un Avviso di Burrasca, confermato alle 03.47 da un Avviso di Burrasca in corso. Inoltre i testi delle previsioni per la RAI, emessi dal Centro Meteorologico Nazionale ed i messaggi diramati dai Centri Meteorologici Regionali preannunciavano l'aggravarsi della situazione.

Con la moderna tecnologia si riduce il TEMPO DI RISPOSTA, cioè il tempo che passa dal momento della misurazione dei parametri meteorologici al momento che l'informazione elaborata arriva sul tavolo del decisore. Il tempo di MISURA era dettato da scadenze prestabilite con procedure implementate da un operatore "umano", oggi si sta andando, ove possibile, verso stazioni automatiche che possono assicurare un flusso di dati praticamente continuo. Inoltre si hanno dati da satellite e da radar per cui si è passati da un ordine di grandezza, come media giornaliera, di 104 osservazioni convenzionali a 107 osservazioni per inizializzare i modelli di previsione. Il tempo di ACCENTRAMENTO era rigido in quanto si seguivano procedure che usavano i cosiddetti centri stella a vari livelli con i dati che venivano inseriti nei circuiti globali in finestre temporali prestabilite, con le velocità trasmissive che abbiamo visto. Oggi, con la tecnologia ICT si sta andando verso

strutture di DB tipo WIGOS con velocità di trasmissione di 4-5 ordini di grandezza superiori. Il fattore decisivo che ha portato alla drastica riduzione del tempo è l'eliminazione del fattore umano nel processo. Mentre allora si aveva una prima fase di plottatura ad opera dell'aiuto cartografo che prendeva i dati dalla telescrivente e li riportava sui moduli cartacei per la successiva tracciatura ed analisi da parte del previsore, oggi i dati alimentano i modelli che girano sugli HPC dei servizi per produrre sia analisi che previsioni visualizzabili coi moderni sistemi informatici. Il tempo di FRUIZIONE che prima richiedeva l'invio delle previsioni specialistiche tramite mezzi di comunicazione quali telescrivente e/o telefono (in alternativa staffetta motociclista) oggi avvengono grazie alle risorse ICT con lo stesso incremento previsto per il tempo di ACCENTRAMENTO. Non solo, ma possono essere tagliate su misura le informazioni da dare al decisore sulla base delle esigenze operative che lo stesso manifesta in modo da evitare un overkill nel flusso informativo che potrebbe avere lo stesso deleterio effetto di una carenza informativa. La nostra prossima frontiera sarà di poter visualizzare le informazioni meteo in formati compatibili con i GIS a supporto dei sistemi di comando e controllo dei decisori in modo che il nostro supporto sia visualizzabile come strato informativo ambientale nell'ambito di un quadro di situazione complessivo.



Avere i modelli numerici di previsione ha aumentato l'orizzonte temporale delle previsioni, come visto, oggi si sarebbe potuto prevedere con buona consapevolezza la pericolosa situazione che si sarebbe creata almeno 72 ore prima. Questo orizzonte dovrebbe ulteriormente allargarsi in quanto, secondo la ECMWF 2016-2025 Strategy "By 2025 the goal is to make skilful ensemble predictions of high-impact weather up to two weeks ahead" Prendendo a prestito il linguaggio militare, si aumenta il raggio d'azione con un battlerythm superiore.



# *L'Alluvione di Firenze: la previsione del 1966 con gli strumenti di oggi*

---

*Valerio Capecchi  
Consorzio LaMMA  
Istituto di Biometeorologia - CNR*

Durante i primi giorni del Novembre 1966 la penisola italiana fu interessata da una violenta perturbazione che dette luogo a precipitazioni intense e persistenti in particolare sulle regioni del nord-est (Friuli Venezia Giulia, Veneto e Trentino Alto Adige) e su quelle tirreniche centro-settentrionali (Liguria e, soprattutto, Toscana). Questa perturbazione fece seguito a un periodo particolarmente prolungato di piogge più abbondanti rispetto alla media che caratterizzarono il mese di Ottobre 1966, rendendo il suolo particolarmente saturo e vulnerabile a movimenti superficiali e a esondazioni dei fiumi. La città di Firenze fu interessata nelle prime ore del 4 Novembre dall'esondazione del fiume Arno che causò ingenti danni al patrimonio artistico e culturale della città. Similmente la città di Trento fu interessata dall'esondazione del fiume Adige, mentre le acque del fiume Ombrone sommersero Grosseto e la Maremma. Nelle stesse ore, a Venezia si registrarono i livelli più elevati di acqua alta dall'inizio delle misurazioni nel 1872. Nel complesso quest'evento è considerato uno dei più importanti del secolo scorso con più di 110 vittime. A quel tempo non fu emessa nessuna allerta meteorologica.

In occasione del 50-esimo anniversario dell'Alluvione di Firenze, il Consorzio LaMMA in collaborazione con il Centro Europeo di previsioni a medio termine ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ha realizzato una "re-forecast", vale a dire una previsione ex-post, utilizzando i modelli numerici più recenti e applicando un approccio probabilistico per la previsione della quantità di pioggia. I risultati, ottenuti facendo girare il modello a scala globale e innestando in cascata un modello a scala limitata, mostrano che l'approccio probabilistico fornisce un valore aggiunto rispetto alla singola corsa deterministica, poiché fornisce una stima dell'incertezza associata alla previsione.

Tuttavia né il modello globale né il modello a scala limitata riescono a fornire un'accurata previsione del cumulo di pioggia sul bacino del fiume Arno benché i risultati forniscano un'utile indicazione di condizioni sinottiche potenzialmente favorevoli al verificarsi di eventi particolarmente violenti con un anticipo di circa 1-2 giorni. Poiché il numero di osservazioni disponibili nel 1966 per l'inizializzazione dei modelli è di alcuni ordini di grandezza inferiore al numero di osservazioni disponibili oggi (soprattutto per la presenza dei dati satellitari dalla metà degli anni '90), la stima di un preavviso di 1-2 giorni dev'essere considerata come conservativa.

Nel lavoro si è valutato anche il valore aggiunto fornito da un modello a scala limitata (ovvero LAM, Local Area Model) fatto correre ad alta risoluzione e con una configurazione che permette la risoluzione in maniera esplicita della convezione (in altre parole la convezione non è parametrizzata). I risultati mostrano che le uscite del modello LAM forniscono cumulati più alti di precipitazione avvicinandoli ai valori registrati dalle stazioni.

## 1. Le piogge del novembre del 1966

La prima ricostruzione meteorologica dell'evento del 3-4 Novembre 1966, è stata compiuta da Fea et al. (1967). Gli autori analizzarono il caso utilizzando le immagini satellitari disponibili a quel tempo, alcuni echi radar e i cumulati di pioggia registrati dai pluviometri sparsi sul territorio italiano, oltre ovviamente alle analisi sinottiche redatte a mano. Più recentemente alcuni articoli scientifici hanno trattato in dettaglio l'evento da un punto di vista meteorologico, idrologico e oceanografico; ricordiamo in particolare i lavori di Meneguzzo et al., 2004; De Zolt et al., 2006; Malguzzi et al., 2006. Per una trattazione più completa della situazione meteorologica antecedente all'evento rimandiamo all'articolo di Malguzzi et al. (2006), qui ci limitiamo a elencare brevemente alcuni dei caratteri salienti delle condizioni sinottiche che hanno determinato la tempesta del 3-4 Novembre. Il 1 Novembre 1966 un blocco atlantico è presente a largo delle coste francesi, mentre l'area del Mediterraneo è caratterizzata da una vasta area depressionaria non particolarmente profonda (si veda la Figura 1a di Malguzzi et al., 2006). Il 2 di Novembre l'alta pressione atlantica è indebolita sul suo fianco discendente da una saccatura piuttosto strutturata con asse esteso dalla penisola iberica all'Europa orientale. Nelle prime ore del 3 Novembre l'asse della saccatura comincia a ruotare in senso anti-orario determinando, nei bassi strati dell'atmosfera, un flusso meridionale caldo-umido dalle coste nord-africane sul bacino del Mediterraneo e rinforzando l'alta pressione sui Balcani (1028 hPa alle 12 UTC, si veda la figura 1e in Malguzzi et al., 2006). Il 4 di Novembre la saccatura (adesso sul Mediterraneo centrale) è ulteriormente rinforzata da una seconda saccatura che si muove velocemente dall'Islanda verso latitudini inferiori (si veda la Figura 1d in Malguzzi et al., 2006).

Dal punto di vista delle precipitazioni sulla Toscana e sul bacino dell'Arno, le piogge registrate sono elevate con intensità di precipitazioni oraria eccezionali (si veda la Figura 1b e 1c). Infatti come stabilito nel documento di Fea et al (1967), sulla base dei dati disponibili a quel tempo, le piogge cadute tra il 3 e il 4 Novembre 1966 in Toscana sono state principalmente dovute alla convezione profonda. Dal lavoro di de Zolt et al (2006) l'analisi GEV (Generalized Extreme Value) riporta dei tempi di ritorno per la pioggia cumulata sulle 24 ore superiore a 50 anni. La pioggia cumulata tra le 00 UTC del 3 Novembre e le 00 UTC 5 Novembre raggiunge i circa 300 mm vicino alla costa maremmana, mentre per quanto riguarda la pioggia caduta nel bacino dell'Arno si mostra in Figura 1c il pluviogramma di una stazione nei pressi di Firenze. Si nota pertanto che il periodo di precipitazioni intense è compreso grosso modo tra le 12 UTC del 3 Novembre e le 12 UTC del 4 Novembre. Questa conclusione è vera per la quasi totalità delle stazioni disponibili sul bacino dell'Arno (si veda gli annali idrologici del Ministero dei Lavori Pubblici del 1970).

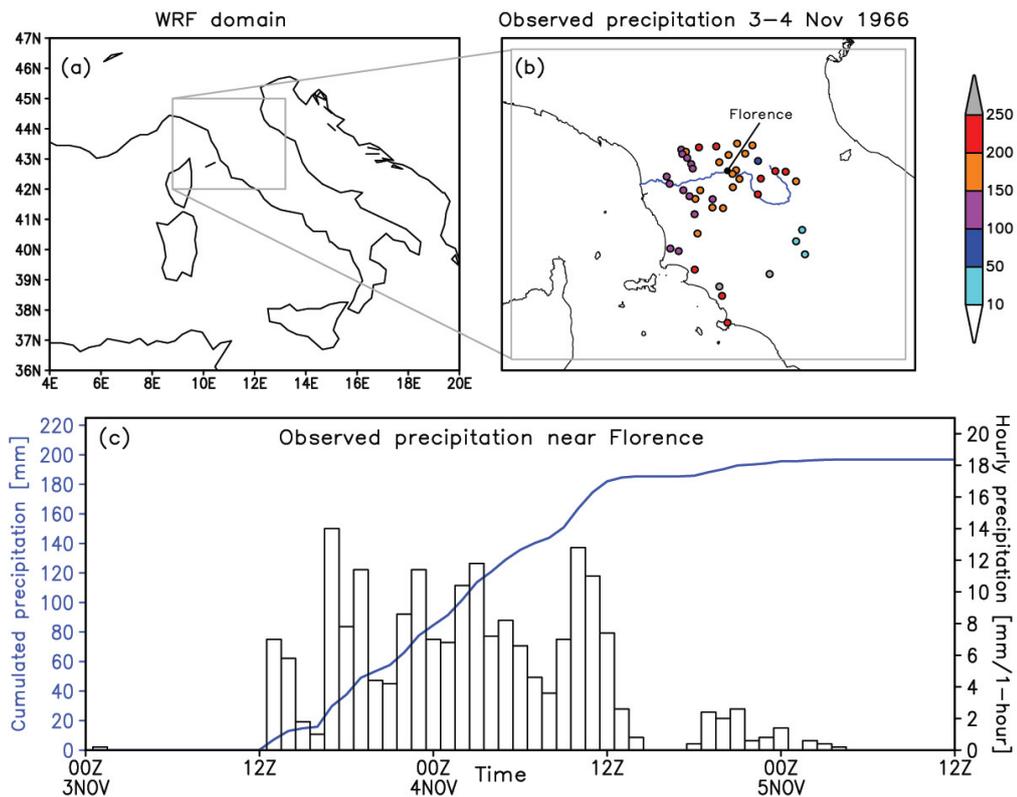


Figura 1. (a) dominio d'integrazione delle simulazioni a scala regionale del modello WRF; (b) precipitazioni registrate nei giorni 3 e 4 Novembre 1966 da alcuni pluviometri in Toscana; (c) pluviogramma di una stazione nei pressi di Firenze nel periodo 00 UTC 3 Novembre 1966 – 12 UTC 5 Novembre 1966

## 2. Dati e metodi

Nel Marzo del 2016, l'ECMWF ha introdotto significativi miglioramenti nella suite di modelli operativi. Tali innovazioni (model cycle 41r2) hanno riguardato il modello ad alta risoluzione (HIRES), le previsioni probabilistiche o d'ensemble (ENS) e l'Ensemble Data Assimilation (EDA). Uno degli update di maggior rilevanza è stato l'introduzione di una nuova griglia ("cubic reduced Gaussian grid") per mezzo della quale l'onda più corta risolta dal modello è adesso rappresentata da quattro invece che da due punti griglia. Come conseguenza la risoluzione spaziale del modello è passata a circa 9 km per il modello HIRES e a circa 18 km per le previsioni ENS. Non è stato viceversa introdotta nessuna modificata per quanto riguarda i livelli verticali (137 per HIRES e 91 per ENS). Una descrizione più approfondita dei cambiamenti introdotti nel model cycle 41r2 è disponibile in Malardel et al. (2016).

Per il caso dell'Alluvione di Firenze abbiamo fatto correre il modello globale ECMWF-ENS a partire da circa 7 giorni prima dell'evento. Inoltre per stimare il valore aggiunto apportato da un modello a scala limitata in cui la convezione viene risolta esplicitamente invece che essere parametrizzata, abbiamo fatto correre anche il modello WRF (Weather and Research Forecasting) alla risoluzione orizzontale di circa 3 km. Come condizioni iniziali e al contorno sono state utilizzate le previsioni ECMWF-ENS. Nella Tabella 1 sottostante sono riportate alcune caratteristiche delle corse dei modelli ENS e WRF-ENS.

	Area	Risoluzione	# di membri	Condizioni iniziali	Condizioni al contorno
ENS	Global	TCO639L91 (18 km, 91 livelli)	51	ECMWF TL511L60 (40 km, 60 livelli)	N/A
WRF-ENS	Limited area	3 km, 60 livelli	51	ENS	ENS

Tabella1. alcune caratteristiche delle simulazioni a scala globale e a scala regionale dei sistemi ENS e WRF-ENS dettagliati nel testo.

Da sottolineare il fatto che come analisi sono stati utilizzati i dati prodotti circa 10 anni fa utilizzando il modello globale dell'ECMWF (model cycle 23r4) alla risoluzione spettrale TL511L60 che corrisponde a un passo griglia di circa 40 km.

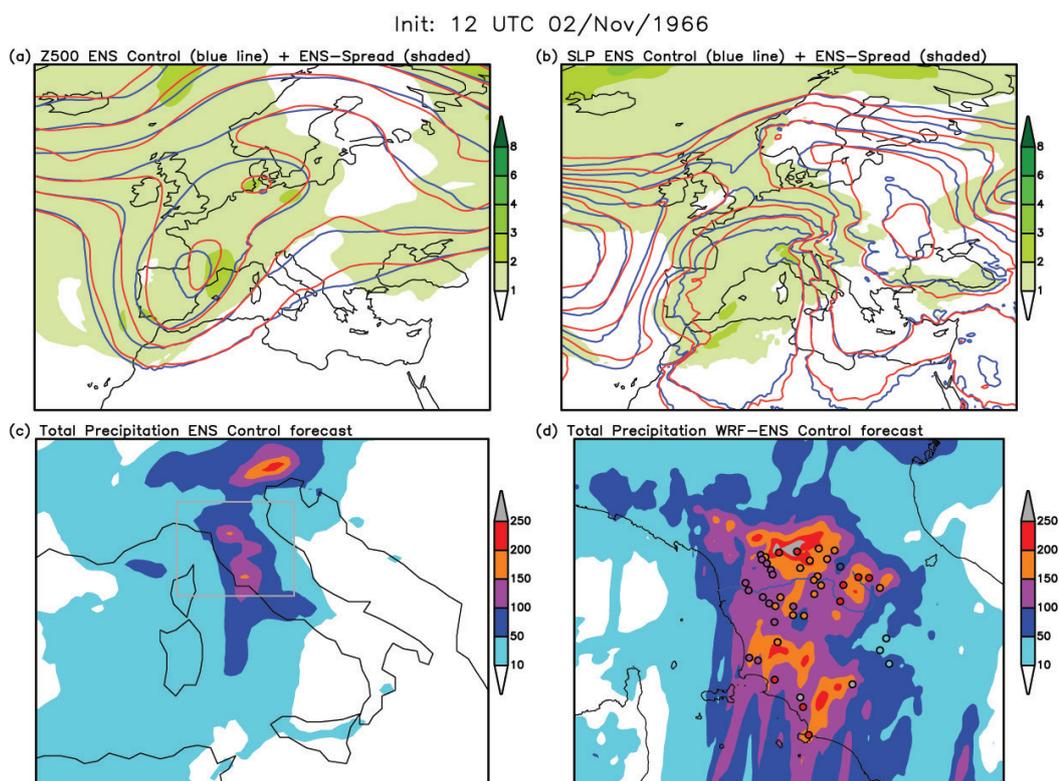
Il lavoro qui presentato è infatti un aggiornamento del paper pubblicato da Malguzzi et al. (2006) nel quale gli autori hanno simulato lo stesso caso studio utilizzando i modelli (sia globale che a scala limitata) operativi nel 2006. Il nostro lavoro si distingue per l'approccio probabilistico alla previsione in luogo della singola corsa deterministica.

Deve essere sottolineato come il numero di dati impiegati per la creazione delle analisi del 1966 è di alcuni ordini di grandezza inferiore a quello disponibile adesso, in larga parte a causa della presenza dei dati satellitari. In altre parole i risultati qui mostrati illustrano la capacità previsionali dell'attuale sistema in uno scenario "povero di dati". Questo significa che le conclusioni che traiamo (così come quelle di Malguzzi et al., 2006) sottostimano le potenzialità previsionali del sistema numerico impiegato. E' lecito ipotizzare che se un caso simile a quello del 1966 si dovesse ripresentare, potremmo disporre di un'informazione previsionale più ricca e completa di quella qui discussa.

### 3. Previsioni a breve e medio termine

Per valutare la bontà delle previsioni a breve termine, mostriamo i risultati delle previsioni inizializzate uno e due giorni prima dell'evento. Il periodo d'interesse sono le 24 ore comprese tra le 12 UTC del 3 Novembre 1966 e le 12 UTC del 4 Novembre 1966. Per stimare la predicibilità dell'evento e valutare la probabilità di occorrenza di eventi estremi, mostriamo nelle Figure 2a e 2b la previsione di altezza del geopotenziale alla superficie isobarica 500 hPa (Figura 2a) e di pressione ridotta al livello del mare (Figura 2b) prodotta

dalla corsa di controllo del sistema ENS (linea continua blu). Con le sfumature di verde mostriamo lo spread (definito come la deviazione standard dell'ensemble), mentre la linea rossa continua rappresenta l'analisi. L'ora di inizializzazione si colloca alle 12 UTC del 2 Novembre mentre l'ora di validazione alle 12 UTC del 3 Novembre che corrispondono grosso modo all'inizio della precipitazioni sulla Toscana. Per stimare la bontà delle previsioni sul cumulato di pioggia, nelle Figure 2c e 2d compariamo in maniera visuale la precipitazione predetta dalla corsa di controllo dei sistemi ENS (Figura 2c) e WRF-ENS (Figura 2d dove sono mostrati i valori di pioggia osservata per un set di pluviometri localizzati in Toscana).



3

Figura 2. (a) altezza del geopotenziale alla superficie isobarica 500 hPa prevista dal modello ENS (linea blu continua) ed ensemble spread (sfumatura di verde) definito come deviazione standard . Pressione ridotta al livello del mare prevista dal modello ENS (linea blu continua) e ensemble spread (sfumatura di verde) definito come deviazione standard. (c) Pioggia prevista dalla corsa di controllo del modello ENS nelle 24 ore comprese tra le 12 UTC del 3 Novembre e le 12 UTC del 4 Novembre. Pioggia prevista dalla corsa di controllo del modello WRF-ENS nelle 24 ore comprese tra le 12 UTC del 3 Novembre e le 12 UTC del 4 Novembre. Nei pannelli (a) e (b) la linea continua rossa indica l'analisi. L'ora di inizializzazione delle previsioni sono le 12 UTC del 2 Novembre 1966.

La bontà delle previsioni probabilistiche alla scala locale è valutata nelle Figure 3a-d dove si comparano i valori osservati in 4 stazioni appartenenti al bacino idrologico del fiume Arno (linea verticale rossa) con la PDF (Probability Density Function) indicata con la curva nera e i valori minimo, medio e massimo (linee verticali nere) dell'ensemble ENS estratti per la località d'interesse. Con la linea verticale grigia è indicato il valore estratto per la run di

controllo delle previsioni ENS.

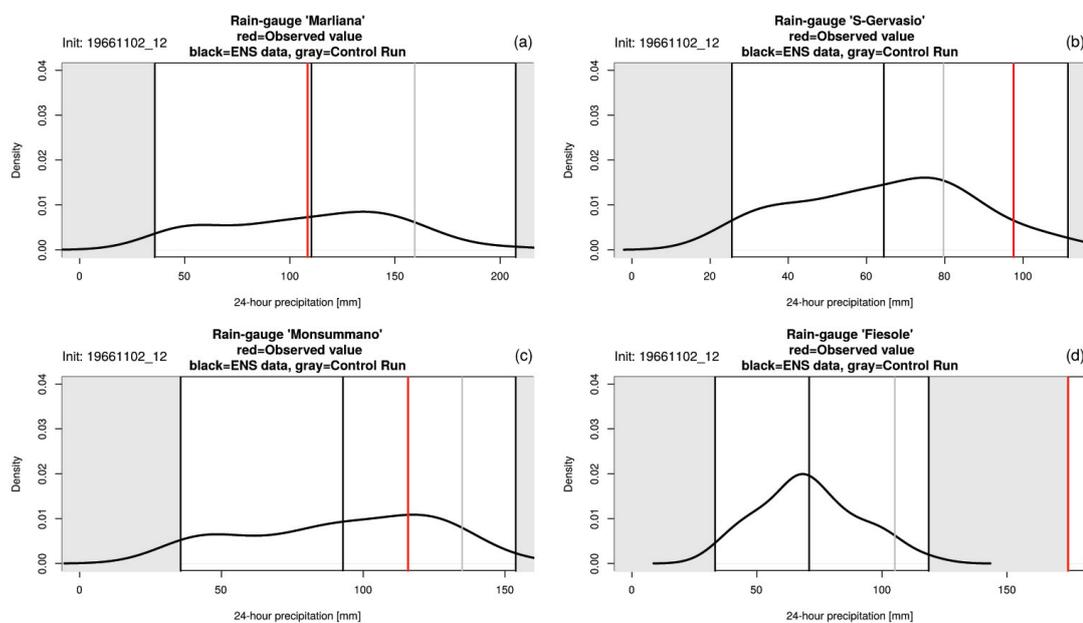


Figura 3. Pioggia registrata (linee rosse verticali) in 4 pluviometri appartenenti al bacino del fiume Arno nelle 24 ore comprese tra le 12 UTC del 3 Novembre e le 12 UTC del 4 Novembre. (a) Marliana, (b) San Gervasio, (c) Monsummano, (d) Fiesole. Per lo stesso periodo si mostrano nei 4 pannelli anche con la curva nera continua la Probability Density Function (PDF) dei valori estratti per le 4 stazioni dalle previsioni ENS. Le 3 linee verticali nere indicano minimo, media e massimo nella distribuzione dei valori ENS, la linea verticale grigia indica la corsa di controllo ENS. L'ora di inizializzazione delle simulazioni ENS sono le 12 UTC del 2 Novembre 1966.

Similmente a quanto mostrato nelle Figure 2a-d, nelle Figure 4a-d si mostrano gli stessi risultati ma per le corse dei modelli ENS e WRF-ENS inizializzate il 1 Novembre 1966 alle 12 UTC.

Init: 12 UTC 01/Nov/1966

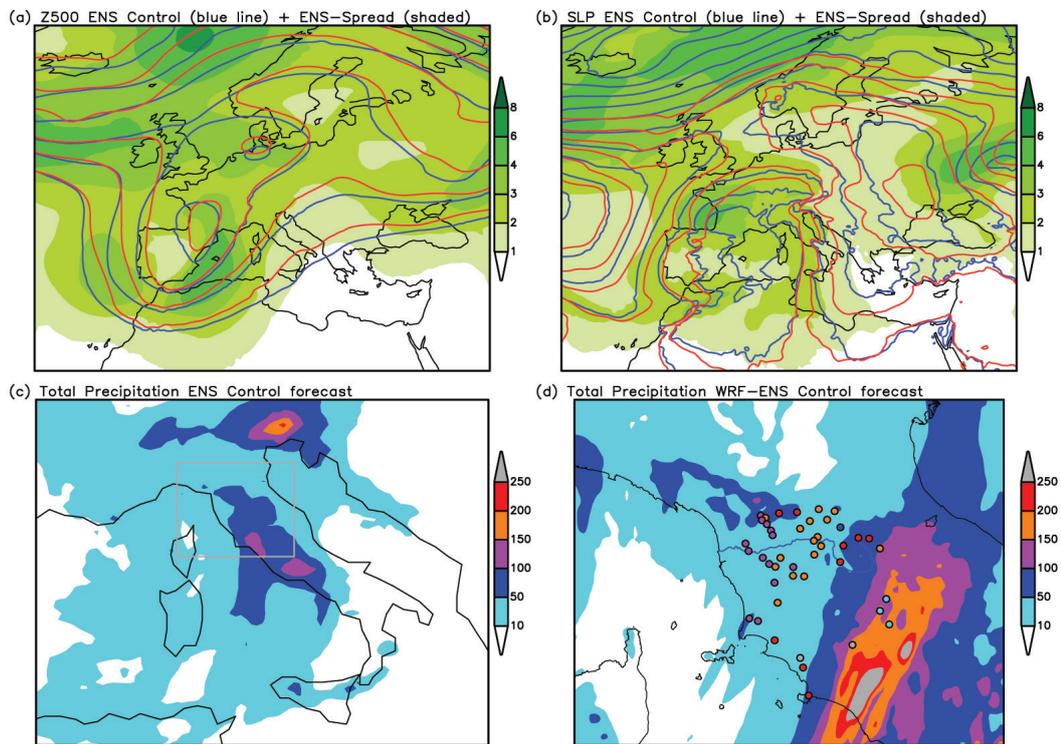


Figura 4. (a) altezza del geopotenziale alla superficie isobarica 500 hPa prevista dal modello ENS (linea blu continua) ed ensemble spread (sfumatura di verde) definito come deviazione standard . Pressione ridotta al livello del mare prevista dal modello ENS (linea blu continua) e ensemble spread (sfumatura di verde) definito come deviazione standard. (c) Pioggia prevista dalla corsa di controllo del modello ENS nelle 24 ore comprese tra le 12 UTC del 3 Novembre e le 12 UTC del 4 Novembre. Pioggia prevista dalla corsa di controllo del modello WRF-ENS nelle 24 ore comprese tra le 12 UTC del 3 Novembre e le 12 UTC del 4 Novembre. Nei pannelli (a) e (b) la linea continua rossa indica l'analisi. L'ora di inizializzazione per i 4 pannelli sono le 12 UTC del 1 Novembre 1966.

Per valutare il valore aggiunto delle previsioni probabilistiche rispetto alla singola corsa deterministica, nelle Figure 5a-d si mostra la probabilità di precipitazione cumulata superiore alle soglie di 50 mm e 100 mm in 24 ore per il sistema ENS (pannelli 5a e 5c) e per il sistema WRF-ENS (pannelli 5b e 5d). L'ora di inizializzazione si situa alle 12:00 UTC del 2 Novembre. Analogamente nelle Figure 6a-d si mostrano le probabilità di precipitazione per le corse del modello inizializzate alle 12:00 UTC del 1 Novembre.

Init: 12 UTC 02/Nov/1966

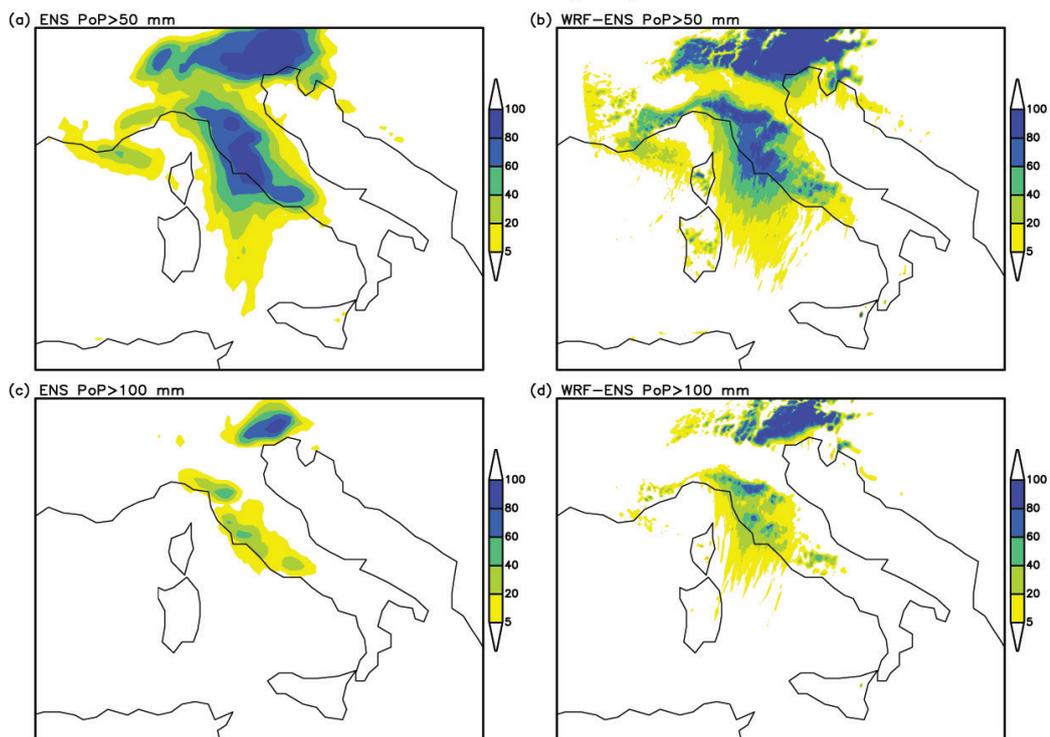


Figura 5. Probability of Precipitation (PoP) previsti dai sistemi ENS e WRF-ENS per la previsione di pioggia superiore a 50 mm (pannelli (a) e (b)) e 100 mm (pannelli (c) e (d)) cumulata nelle 24 ore comprese tra le 12 UTC del 3 Novembre e le 12 UTC del 4 Novembre. L'ora di inizializzazione sono le 12 UTC del 2 Novembre 1966.

Init: 12 UTC 01/Nov/1966

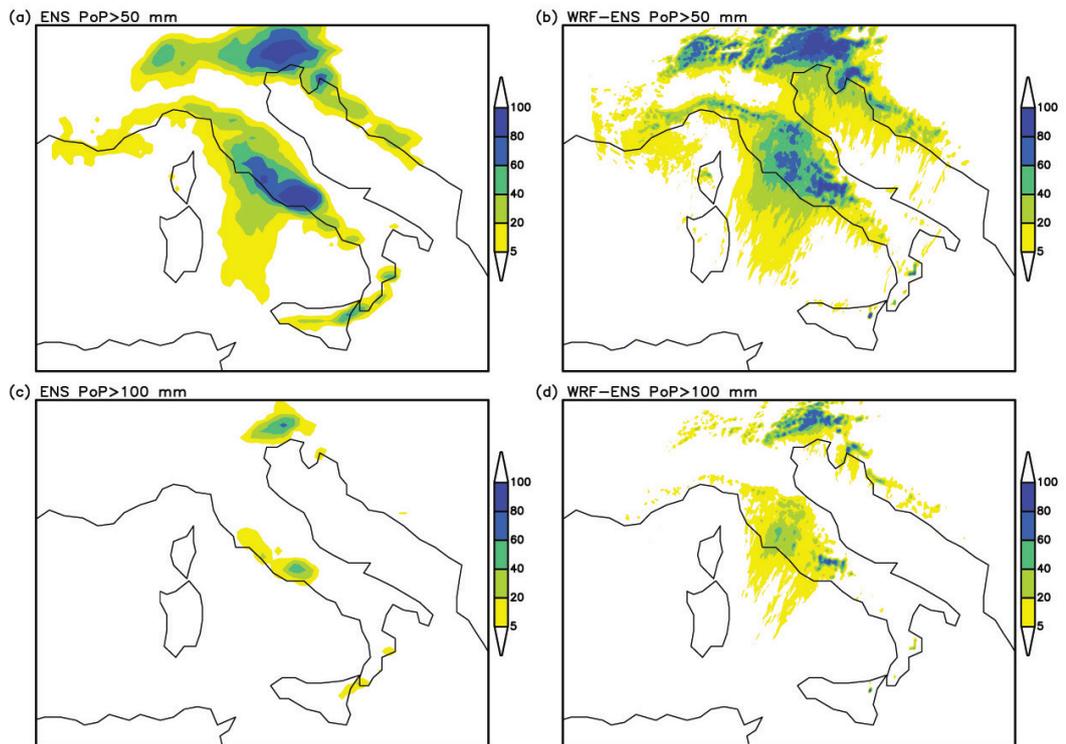


Figura 6. Probability of Precipitation (PoP) previsti dai sistemi ENS e WRF-ENS per la previsione di pioggia superiore a 50 mm (pannelli (a) e (b)) e 100 mm (pannelli (c) e (d)) cumulata nelle 24 ore comprese tra le 12 UTC del 3 Novembre e le 12 UTC del 4 Novembre. L'ora di inizializzazione sono le 12 UTC del 1 Novembre 1966.

Infine per valutare se l'evento fosse prevedibile dai modelli numerici su un orizzonte temporale a medio termine (3/5 giorni d'anticipo), nelle Figure 7a-d si mostra la probabilità di precipitazione cumulata in 24 ore superiore alle soglie 25 mm e 50 mm per le corse del modello ENS inizializzato alle ore 12 UTC del 29 Ottobre (pannelli 7a e 7c) e alle ore 12 UTC del 31 Ottobre (pannelli 7b e 7d).

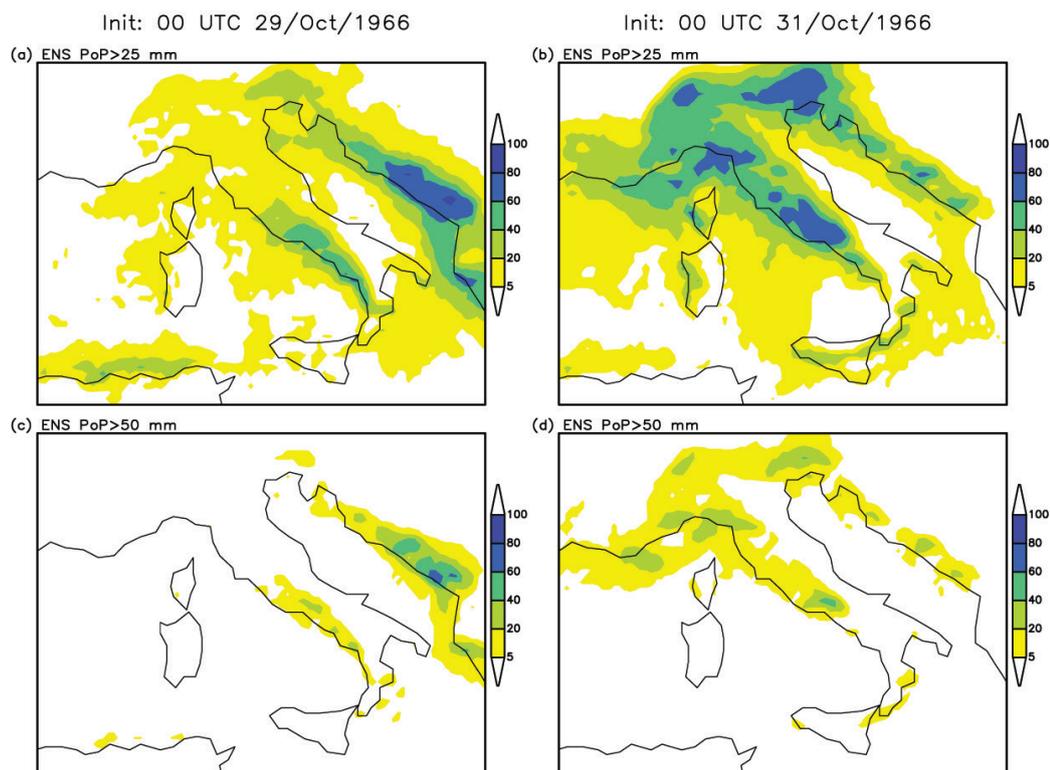


Figura 7. Probability of Precipitation (PoP) previsti dal sistema ENS per la previsione di pioggia superiore a 25 mm (pannelli (a) e (b)) e 50 mm (pannelli (c) e (d)) cumulata nelle 24 ore comprese tra le 12 UTC del 3 Novembre e le 12 UTC del 4 Novembre. L'ora di inizializzazione sono le 00 UTC del 29 Ottobre 1966 (pannelli (a) e (c)) e le 00 UTC del 31 Ottobre 1966 (pannelli (b) e (d)).

## 4. Discussione e conclusioni

In occasione del 50-esimo anniversario dell'Alluvione di Firenze, abbiamo svolto un esercizio numerico volto a rispondere alla domanda: "se si presentasse un evento con caratteristiche simili a quello del 3-4 Novembre 1966 quale sarebbe la capacità previsionale dell'attuale sistema numerico operativo presso il centro europeo ECMWF e presso un centro regionale come il Consorzio LaMMA?". Altre questioni investigate sono relative al valore aggiunto apportato dall'approccio probabilistico alla previsione e il valore aggiunto apportato da un modello numerico ad alta risoluzione con trattazione esplicita della convezione.

Come già accennato in precedenza, le risposte sono parziali perché il numero di osservazioni disponibili ai giorni nostri per creare le condizioni iniziali è di qualche ordine di grandezza inferiore a quello del 1966. Di conseguenza le analisi generate per il caso in esame sono di una qualità inferiore rispetto a quelle che vengono generate quotidianamente

nei centri internazionali. Per avere un'idea, il numero medio di osservazioni disponibili quotidianamente negli anni Sessanta è di circa 18000 (Uppala et al., 2005), mentre il numero di osservazioni assimilate in un ciclo giornaliero del modello ai giorni nostri è di circa  $7 \times 10^7$  (fonte ECMWF "Data assimilation" Training Course 2015), in larga parte grazie alla presenza dei dati satellitari.

I risultati mostrati per la previsione a breve termine (uno e due giorni d'anticipo) sono particolarmente interessanti per quanto riguarda la run inizializzata il 2 Novembre alle 12 UTC. La run di controllo mostra un buon accordo con l'analisi sia per quanto riguarda la variabile in quota considerata (altezza geopotenziale a 500 hPa, Figura 2a) che per quella al suolo (mean sea level pressure, Figura 2b). Contemporaneamente lo spread dell'ensemble è basso, da cui si deduce una bassa incertezza nella previsione e una buona affidabilità delle previsioni. Il cumulato di pioggia previsto è in ottimo accordo (almeno da un punto di vista qualitativo) con le osservazioni a terra, in particolare per quanto riguarda la pioggia del modello a scala locale (Figura 2d). Da un punto di vista quantitativo, i pannelli della Figura 3 mostrano che l'ensemble riesce a predire un cumulato di pioggia che rientra tra il minimo e il massimo della distribuzione, con in alcuni casi (pannelli 3a, 3b, 3c) una sovrastima della run di controllo. Nel caso del pannello 3d, il valore particolarmente elevato di pioggia registrato (poco meno di 200 mm in 24 ore), è sistematicamente sottostimato dall'ensemble. Allo stesso tempo, i parametri statistici (in particolare la deviazione standard) della distribuzione dei valori ENS descrivono una curva più "piccata" e affetta da BIAS (sottostima). Anche la mappa della probabilità di precipitazione superiore alle soglie 50 mm e 100 mm in 24 ore è molto soddisfacente in quanto mostra probabilità tra il 40% e il 60% per i dati ENS e superiori all'80% per i dati WRF-ENS per la soglia 100 mm nella zona prossima alla costa tirrenica toscana, fornendo una chiara indicazione di fenomeni potenzialmente intensi.

Risultati a prima vista meno soddisfacenti sono ottenuti per la run inizializzata il 1 Novembre alle 12 UTC (circa due giorni prima dell'intervallo target 12 UTC del 3 Novembre - 12 UTC del 4 Novembre). Come è possibile apprezzare dalla Figura 4c e ancora di più nella Figura 4d, la zona interessata dalle precipitazioni più intense è localizzata alcune decine di chilometri a sud-est rispetto alle osservazioni. Una ragione può essere ricondotta alla maggiore incertezza sulla posizione della saccatura e sul flusso risultante (Figura 4a). Tale indicazione è tuttavia in parte corretta dalla mappa della probabilità di pioggia (Figure 6a-d). Valori non nulli di probabilità di pioggia maggiore a 100 mm (probabilità superiori al 20% per il caso WRF-ENS, si veda la Figura 6d) mostrano la possibile occorrenza di fenomeni intensi sulla costa tirrenica toscana, spostando più a nord rispetto alla run di controllo (Figura 4d) la linea di pioggia con cumulati elevati.

In generale dal confronto tra i risultati del modello ENS e quelle del modello WRF-ENS (si confrontino la Figure 5c con la Figura 5d e la Figura 6c con la Figura 6d), gli output del modello WRF-ENS tendono a fornire percentuali più alte di probabilità di pioggia intensa (superiore a 100 mm in 24 ore) e ad allargare le aree con probabilità alte. Se ne conclude che il modello ad area limitata fornisce cumulati più elevati a causa della trattazione esplicita della convezione.

Infine per quanto riguarda la previsione per orizzonti temporali più lunghi (3/5 giorni) la Figura 7, mostra che la probabilità di precipitazioni intense è molto bassa o nulla per la run inizializzata 5 giorni prima dell'evento (corsa inizializzata il 29 Ottobre 1966 alle 00 UTC),

mentre si possono apprezzare aree con probabilità di pioggia in 24 ore superiore a 25 mm o 50 mm (soglia relativamente alta per un modello a scala globale) per la corsa inizializzata il 31 Ottobre 1966 alle 00 UTC (con un anticipo rispetto all'inizio delle precipitazioni di circa 84 ore).

In conclusione, benché la mancanza di dati osservati per l'inizializzazione del modello costituisca un forte limite all'esercizio numerico svolto, possiamo trarre le seguenti conclusioni:

- i lavori presenti in bibliografia hanno dimostrato che singole corse ad alta risoluzione dei modelli atmosferici forniscono una sottostima del cumulado di precipitazioni prevista sul bacino del fiume Arno (determinando eventualmente previsioni di portate dei fiume inferiori rispetto ai valori registrati)

- i modelli recenti (ENS e WRF-ENS) forniscono precipitazioni deterministiche piuttosto accurate con un anticipo rispetto all'inizio delle previsioni di 24 ore (Figura 2c e 2d)

- l'approccio probabilistico migliora ulteriormente questo risultato sia puntualmente (Figure 3a-3d) che su base regionale (Figure 5a-5d) fornendo vaste aree in cui la probabilità di precipitazioni risulta alta per soglie elevate (100 mm in 24 ore)

- considerando le previsioni inizializzate 48 ore prima dell'inizio delle precipitazioni i cumulati di pioggia previsti dalla singola corsa deterministica dei sistemi ENS e WRF-ENS mostrano un'errata localizzazione dei massimi (Figure 4c e 4d)

- considerando lo stesso anticipo di 48 ore, le previsioni probabilistiche ENS e WRF-ENS sono capaci di modificare solo in parte la localizzazione dei massimi di pioggia, confermando che una bassa varianza delle condizioni iniziali (dovuta alla scarsità di dati per la creazione delle analisi) costituisca un limite alla bontà delle previsioni

- in generale le previsioni WRF-ENS forniscono cumulati più elevati e probabilità di pioggia più alte rispetto alle previsioni ENS, risultando pertanto più performanti

- considerando previsioni a medio termine (3-5 giorni) i risultati non sono soddisfacenti (probabilità di precipitazioni nulle o molto basse) con un anticipo di rispetto all'inizio delle precipitazioni di 132 ore (Figure 7a e 7c), mentre forniscono probabilità di precipitazioni non nulle sul bacino del fiume Arno (comprese tra il 5% e il 20%) con un anticipo di 84 ore e per una soglia di 50 mm in 24 ore, che per un modello a scala globale è ritenuta elevata.

## Bibliografia essenziale

De Zolt, S., Lionello, P., Nuhu, A., and Tomasin, A.: The disastrous storm of 4 November 1966 on Italy, *Natural Hazards and Earth System Science*, 6, 861–879, 2006.

Fea, G., Gazzola, A., and Cicala, A.: Prima documentazione generale della situazione meteorologica relativa alla grande alluvione del novembre 1966, CENFAM - CNR. Centro nazionale di fisica dell'atmosfera e meteorologia and Italia, 1967.

Malardel, S., Wedi, N., Deconinck, W., Diamantakis, M., Kühnlein, C., Mozdzyński, G., Hamrud, M., and Smolarkiewicz, P.: A new grid for the IFS, *ECMWF Newsl*, 146, 23–28, 2016.

Malguzzi, P., Grossi, G., Buzzi, A., Ranzi, R., and Buizza, R.: The 1966 “century” flood in Italy: A meteorological and hydrological revisitation, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111, 2006.

Meneguzzo, F., Pasqui, M., Menduni, G., Messeri, G., Gozzini, B., Grifoni, D., Rossi, M., and Maracchi, G.: Sensitivity of meteorological high-resolution numerical simulations of the biggest floods occurred over the Arno river basin, Italy, in the 20th century, *Journal of Hydrology*, 288, 37–56, 2004.

Uppala, Sakari M., et al. The ERA-40 reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131.612, 2005.



# TAVOLA ROTONDA

---

*Guardando ai prossimi 10 anni:  
quali sfide per migliorare la  
comunicazione del rischio alluvioni  
e la comprensione delle  
previsioni meteo?*

Dicussione in tavola rotonda moderata. Hanno partecipato:

Bernardo Mazzanti, Autorità di Bacino del Fiume Arno

Riccardo Gaddi, Regione Toscana

Lorenzo Tomassoli, Comune di Firenze

Bernardo Gozzini, Consorzio LaMMA

Moderatore: Michele Fabbri, Università di Ferrara

# *Il punto di vista dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.*

---

*Ing. Bernardo Mazzanti  
Autorità di Bacino del Fiume Arno*

*Il testo riporta in modo sintetico l'intervento dell'Ing. Mazzanti durante la tavola rotonda*

Il tema dell'incertezza della previsione meteo si interseca in modo molto significativo sia con l'analisi del cambiamento climatico, oggetto dell'approfondita discussione della giornata, sia con gli obblighi dettati dai doveri di comunicazione e partecipazione pubblica che le più recenti normative impongono a tutti gli operatori del settore pubblico. Partendo dalla Convenzione di Aarhus ("Convenzione sull'accesso alle informazioni, la partecipazione dei cittadini e l'accesso alla giustizia in materia ambientale", 2001), è fatto obbligo di curare con specifica attenzione la fase di comunicazione di ogni attività pianificatoria della pubblica amministrazione. Nel nostro caso, come Autorità di Bacino, questo ha comportato in particolare un impegno dedicato all'informazione e all'attivazione di canali di partecipazione pubblica nel corso della preparazione del Piano di Gestione della Acque ex Direttiva 2000/60/CE e del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, ex Direttiva comunitaria 2007/60/CE. Proprio nel corso di quest'anno è stato approvato il primo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque, e la prima redazione di quello di gestione delle Alluvioni, con la collaborazione di tutte le regioni che ricadono nel Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, per il quale l'Autorità di bacino ha il compito di coordinamento ai sensi di legge.

Guardando retrospettivamente con spirito critico tale attività, occorre ammettere che, per una struttura eminentemente tecnica come la nostra, è ancora lungo il percorso per riuscire ad attuare una vera "comunicazione", nel significato più autentico del termine: e cioè quello di mettere in comunione, ottenendo in risposta al messaggio inviato un significativo riscontro, il soggetto "emittente" e il soggetto "ricevente" – nel nostro caso, noi pianificatori da una parte e la vasta platea di portatori di interesse sul tema acqua dall'altra. Questa difficoltà intrinseca diventa ancora più complessa se consideriamo che, per entrambi i Piani (gestione delle acque e gestione del rischio alluvioni), il tema del cambiamento climatico deve essere messo in assoluto primo piano. Questo, sia che si debba valutare l'efficacia degli interventi del Programma delle Misure avente come obiettivo quello di portare nello stato ambientale "buono" i corpi idrici superficiali e sotterranei (secondo i dettami della Direttiva Acque), sia che si debbano calibrare gli interventi strutturali e non strutturali per la gestione del rischio alluvioni (secondo gli obiettivi della Direttiva Alluvioni). È fondamentale

– e molto complesso – trovare un compromesso tra le esigenze di chiarezza e trasversalità e il rigore tecnico-scientifico del messaggio legato alle scelte di pianificazione (ad esempio, le basi conoscitive e le scelte modellistiche per la progettazione degli interventi di difesa idraulica). Nel nostro caso si è cercato di esprimere le valutazioni in modo sintetico nelle apposite schede predisposte per ogni corpo idrico del distretto (si vede come esempio il caso riportato in figura 1), rimandando ad approfondimenti specifici i dettagli delle scelte operative, che possono interessare solo un settore specifico dei portatori di interesse.



Figura 1 - Esempio estratto dagli allegati al Piano di Gestione delle Acque del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, scheda del corpo idrico "Pesa Valle" cod. IT09CI\_N002AR623fi2. La stima dell'effetto atteso del cambiamento climatico è sintetizzata in quattro fattori: l'impatto potenziale, legato a come il cambiamento climatico possa alterare il ciclo idrologico; il conseguente possibile degrado dello stato ambientale, legato alle attuali risultanze del monitoraggio di qualità ecologica; l'adattabilità al cambiamento delle misure che insistono sul corpo idrico, funzione della loro tipologia; l'adeguatezza delle stesse misure all'entità del cambiamento. La valutazione complessiva è espressa come "status", e può evidenziare o meno una combinazione sfavorevole tra impatto del cambiamento climatico e inadeguatezza delle misure adottate. Il link a fianco consente un agevole accesso alla parte di spiegazione di dettaglio che illustra la procedura con cui si è giunti ai valori visualizzati.

Uno dei punti ad esempio portati avanti con forza nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Appennino Settentrionale è quello dell'importanza degli interventi di tipo non strutturale, tra cui il mantenimento, l'evoluzione ed il perfezionamento dei sistemi di previsione idrometeorologica in tempo reale. L'Autorità di bacino è impegnata in prima linea, con Consorzio LaMMA e Regione Toscana (in particolare con i colleghi del Centro Funzionale Regionale), a sviluppare la catena previsionale sviluppando la parte di modellistica idraulica. È chiaro che l'utilizzo di modelli da applicare in tempo reale deve venire a patti con un margine di incertezza non trascurabile, che deve essere comunicata nel modo più corretto alla sempre più ampia platea di fruitori. Se si considerano poi gli effetti del cambiamento climatico in termini di recrudescenza degli eventi di piena, in particolare nei bacini di dimensioni limitate, si capisce appieno la delicatezza del tema: diventa quindi importante condividere esperienze e perseguire con costanza un progressivo perfezionamento della fase di comunicazione, essenziale per non vanificare, in caso di risultati interdittori, il pesante lavoro svolto: **non esistono sistemi perfetti, non esistono modelli infallibili** (tantomeno se il processo di taratura è impegnativo e richiede un'ampia collezione di eventi), **non esistono procedure che funzionano senza errori** al loro primo

utilizzo. E in questo contesto, il cambiamento climatico non può essere l'alibi dietro cui nascondersi per giustificare ogni errore o ogni scelta di pianificazione, ma deve essere trattato con rigore scientifico e proprietà di strumenti comunicativi.

Ed è per questo, anche nell'ottica di migliorare l'azione di comunicazione sul tema, che riteniamo veramente preziosa un'iniziativa come quella organizzata oggi dall'Accademia dei Georgofili.

*Tavola rotonda*

# *Il punto di vista della Protezione Civile Regionale Toscana.*

---

*Ing. Riccardo Gaddi  
Regione Toscana. Responsabile Settori  
"Protezione Civile e riduzione del rischio alluvioni"  
"Settore idrologico regionale"*

*Il testo riporta in modo sintetico l'intervento dell' Ing. Gaddi durante la tavola rotonda*

Ringrazio molto per l'invito ricevuto e con vero piacere oggi partecipo a questa giornata nonostante il sisma in Centro Italia ci stia impegnando sin dalle prime ore con l'intervento della nostra colonna mobile, presente ad Amatrice già dal 25 agosto.

Quale dirigente sia del settore "Idrologico Regionale" che del settore "Protezione civile e riduzione del rischio alluvioni", mi piace qui sottolineare il lavoro che in questi anni è stato svolto nella organizzazione del sistema di previsione e comunicazione.

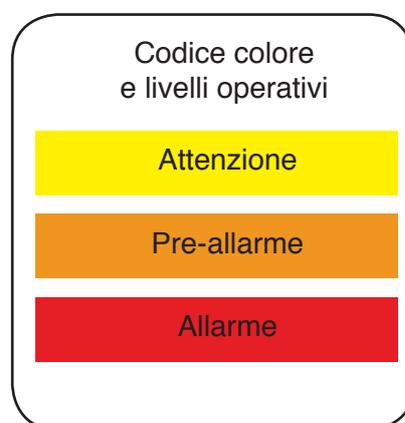
Del processo di valutazione e informazione non solo fa parte, a pieno titolo, anche il LaMMA, ma anzi sono proprio le sue valutazioni che innescano tutti i processi di previsione. Forse non tutti sanno che quotidianamente il LaMMA, entro le ore 10.00, emette un "Bollettino Meteo Regionale" contenente le previsioni meteorologiche sul territorio toscano, cui segue un secondo bollettino "di Vigilanza Meteo Regionale", entro le ore 11.30, con valutazioni tecniche indirizzate al settore Idrologico Regionale e al settore della Protezione Civile Regionale. E' proprio sulla base di questo documento e dei dati trasmessi che il settore Idrologico Regionale, congiuntamente allo stesso LaMMA nella loro veste di Centro Funzionale Regionale, predispongono, entro le ore 13:00, una valutazione degli effetti al suolo e un "Bollettino di Valutazione delle Criticità" che assume, per criticità stimata superiore o uguale a quella definita come "moderata", la forma di "avviso di criticità". Il dirigente della Protezione Civile Regionale adotta l'avviso di criticità, se presente, e congiuntamente alla indicazione delle norme generali di prevenzione e protezione da adottare, lo dirama mediante la SOUP Toscana (Sala Operativa Unificata Permanente) a tutte le componenti del Sistema Regionale di Protezione Civile che si allertano con modalità, tempi e operatività preventivamente definiti.

Il Centro Funzionale Regionale, formato dal Consorzio LaMMA e dal Servizio Idrologico Regionale, nella sua configurazione di centro funzionale fa parte della rete nazionale di Centri Funzionali Decentrati, responsabili per ciascuna regione dell'attività di

previsione e sorveglianza meteorologica, previsioni delle quali si avvale anche lo stesso Centro Funzionale Centrale presso il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile.

Alla filiera così costituita si è aggiunto recentemente un tassello importante grazie ad una più stretta collaborazione con l'organo ufficiale di comunicazione della regione, l'agenzia Toscana Notizie. Nel corso del 2016 abbiamo lavorato con i giornalisti della redazione per studiare e capire come comunicare in modo efficace la previsione meteo nel caso delle allerte, per rendere comprensibili i possibili effetti al suolo sui diversi territori e migliorare l'informazione. L'emissione di un avviso di criticità è stato così arricchito delle indicazioni di massima circa i comportamenti dei cittadini e degli enti in relazione alla possibile presenza di un determinato scenario. Dietro il codice colore sono quindi presenti oltre che diversi livelli di operatività del Sistema Regionale di Protezione Civile, ma anche modelli di comportamento che, ancorché generali, costituiscono una prima valida indicazione per atteggiamenti di auto protezione.

Queste indicazioni risultano importanti anche e soprattutto in considerazione della frequenza con la quale risultano emessi gli avvisi di criticità. Ricordando che il colore giallo corrisponde ad un livello operativo di "attenzione", arancione di "preallarme" e rosso di "allarme", è stato calcolato che per il nostro territorio si presenta, in media, per il 50% dei giorni dell'anno un codice "giallo" e per un altro 10% un codice "arancione" o "rosso". Queste percentuali danno conto dell'impegno del sistema di protezione civile regionale che deve sempre, in questi casi, almeno verificare l'efficienza del sistema così da poter prontamente rispondere con azioni di contrasto nella eventualità, peraltro mai certa, in cui l'evento effettivamente si presenti. Un impegno reso possibile da un sistema di comunicazione bidirezionale verso gli enti che garantisce la certezza che tutto il territorio toscano sia a conoscenza e consapevole della previsione effettuata. Parimenti è importante che queste comunicazioni arrivino a tutti i componenti delle comunità locali e che ciascuno conosca ed attui le misure di prevenzione.



In questo senso prossimo e necessario passo da affrontare sarà il miglioramento o adeguamento degli strumenti di pianificazione. Se la struttura della protezione civile, e comunque tutto il sistema nel suo complesso, presenta una grandissima capacità di risposta in emergenza mediante attività di soccorso e di superamento dell'emergenza, non sempre altrettanto può dirsi per la prevenzione e la pianificazione. Sono questi i due temi ai quali dovremo lavorare anche facendo chiarezza su significati, competenze e procedure. Senza addentrarmi in un argomento che ci porterebbe lontani dal tema di oggi, voglio qui ripetere, anche pensando alle recenti emergenze, una frequente domanda che ci sentiamo rivolgere dalle amministrazioni comunali: "Mi dovete dire, non se è giallo o rosso, mi dovete dire se devo o meno chiudere le scuole". Se è vero che in queste scelte nessun Sindaco deve e dovrà restare solo, è peraltro evidente che la risposta a questa domanda dovrà trovarsi proprio nello strumento principe per affrontare l'emergenza ovvero il piano di protezione civile, nella fattispecie comunale. E' questo il documento che deve contenere le riposte alle domande ricorrenti prima e durante l'emergenza o le procedure per arrivare se non alle risposte alla definizione delle più idonee azioni di contrasto. Le indicazioni valide per l'ambito regionale devono quindi trovare specificazione in misure di prevenzione che tengano conto delle fragilità di un territorio. Così un comune che non ha un efficace sistema di drenaggio delle acque bianche manifesterà una "fragilità" che richiederà una particolare attenzione e quindi misure specifiche di prevenzione nel caso di piogge anche non particolarmente intense, misure che invece potrebbero essere non necessarie in presenza di un sistema

efficiente.

E' evidente come le difficoltà di previsione dei fenomeni unite alla necessità di incrociare ciò che potrebbe accadere con le fragilità del territorio, ma anche spesso la diversa percezione che i vari soggetti hanno dei fenomeni, porta necessariamente a dover considerare il codice colore come un livello "di minima operatività", cioè quello che noi riteniamo debba almeno essere attivato sul territorio.

Ed a ben vedere l'importanza della pianificazione è ancor più sottolineata dalla evidente impossibilità di fare in sua assenza informazione e comunicazione. Cosa comunichiamo se non abbiamo prima individuato quali sono i rischi del nostro territorio e quali gli effetti che sullo stesso gli eventi possono causare? Senza il piano finiremo per comunicare indicazioni di tipo generale, utili ma anche potenzialmente meno efficaci di una informazione specifica che sarebbe invece capace anche di incidere nei comportamenti della comunità avviando quelle buone pratiche, quelle attenzioni che instaurerebbero un meccanismo virtuoso che genera autoprotezione e contribuisce ad una comunità più resiliente.

# Il punto di vista della Protezione Civile del Comune di Firenze

---

Ing. Lorenzo Tomassoli  
Comune di Firenze

*Il testo riporta in modo sintetico l'intervento dell'Ing. Tomassoli durante la tavola rotonda*

Volevo ringraziare davvero gli organizzatori del convegno perché comunque il livello è davvero alto quindi mi fa piacere sia stata organizzata questa tavola rotonda. Spero che come sempre sia più un momento di partenza e non di arrivo e che si possano realizzare ulteriori momenti di confronto di questo livello.

Detto questo vorrei partire proprio da un punto: il legislatore è stato molto lungimirante. Nella legge sulla protezione civile ha indicato una sola autorità di protezione civile: il sindaco. Quindi la persona che è più vicina ai cittadini che dovrebbe conoscere il territorio. A lui è stato attribuito il compito, e anche l'onere e l'onore, di informare i cittadini. Quindi in emergenza è il sindaco che fa informazione e comunicazione ai cittadini.

Dov'è che il sistema ogni tanto va in loop? Sulla consapevolezza.

E' vero che noi come struttura tecnica (Protezione Civile del Comune di Firenze) dobbiamo dare il supporto massimo e operare per informare i cittadini, ma dall'altra parte dobbiamo avere la capacità anche di interloquire con i nostri amministratori che devono acquisire quella consapevolezza di appartenenza al sistema di protezione civile (e nel Comune di Firenze c'è) così come lo devono avere tutti i cittadini in primis e tutte le altre strutture dell'amministrazione comunale, perché solo così si arriverà a quella consapevolezza che ci consente di operare per raggiungere gli obiettivi.

Partendo da dove? Anche dagli uffici stampa che molto spesso non riescono ad avere tutta quella consapevolezza di appartenenza al sistema di protezione civile e quindi vogliono informare, comunicare e dare notizie che è cosa ben diversa da informare i cittadini per quanto riguarda l'attività di protezione civile. Questo è assolutamente fondamentale. Nel nostro ufficio stampa (ndr Comune di Firenze) abbiamo fatto un grosso lavoro proprio su questo: il capo ufficio stampa è venuto da noi e ha capito, è entrato nel meccanismo per capire che cosa poi trasmettere agli uffici di comunicazione, ai media ecc. ecc.

Quindi questo passo interno culturale deve essere fatto. In parte stato fatto ma dovrà sempre più incrementare.

D'altro canto bisogna cercare di ricucire questo divario che c'è fra il cittadino e

l'istituzione. Se rimane ampio, sicuramente il risultato sarà sempre molto basso, pessimo sotto questo punto di vista.

Quindi l'impegno deve essere proprio quello di ricucire e ricostruire questo patto sociale che in questi anni si è disgregato tra il cittadino e le istituzioni. Questo è un passo fondamentale perché se non assolutamente non si raggiunge nessun obiettivo di quelli che ci siamo posti.

Perché i cittadini tutt'ora dicono che non è cambiato nulla. Invece è cambiato tanto. Perché dal 1966 ad ora l'urbanizzazione dei territori è esplosa, il clima è cambiato ma ancora le persone, i cittadini non sono riusciti a fare quel salto quantico necessario ad affrontare questi cambiamenti. Quindi se a questo si aggiunge il fatto che il patto fra istituzioni e cittadini è sempre più ampio, è chiaro che si potrà comunicare tutto ciò che si vuole ma mancherà la legittimità necessaria per poter arrivare a portare lo status di emergenza nel quotidiano.

Ad esempio, il cittadino vuole mantenere il proprio status ordinario nelle condizioni di allerta con il codice giallo, arancio o rosso oppure nelle condizioni di pioggia, nelle condizioni di rischio ghiaccio, rischio neve, o in condizioni di effetti al suolo importanti. Questo è assolutamente impossibile.

Quindi l'attività di comunicazione e informazione che facciamo come protezione civile lavora per cercare di far crescere nelle giovani generazioni questa cultura di protezione civile. Questo avviene in molti modi: all'interno delle scuole, lavorando con i cittadini durante eventi che di protezione civile non c'entrano niente (come può essere la festa dello sport) per cercare di entrare proprio in contatto con la cittadinanza cercando di portare avanti un concetto di rischio legato al territorio. Far crescere quella consapevolezza del rischio necessaria a far capire alle persone che bisogna adattarsi alle condizioni contingenti, non rinchiudersi in schemi definiti prestabili e perentori.

Dall'altra parte, sotto il profilo mediatico, abbiamo qualche difficoltà perché alcuni siti commerciali ci dicono, ad esempio, che fra cinque ore esatte arriva il temporale su Firenze, e con certezza matematica ci informano anche che a causa del temporale, a Firenze Peretola si avranno 10 millimetri di pioggia mentre a Firenze centro se ne avranno 7. Noi sappiamo che queste certezze contrastano con la reale predicibilità dei fenomeni meteo. Ma questa comunicazione fa "saltare il banco", genera caos. Il risultato è che la confusione e le criticità diventano sempre maggiori.

Aggiungo anche che non dobbiamo nemmeno seguire invece il modello della "rassicurazione" perché è un sistema vecchio, sostanzialmente, che non aiuta né il cittadino né le istituzioni poi ad operare. Bisogna **avviare il processo di costruzione di "società del rischio"**, consapevolezza del rischio e del rischio accettabile. Perché è bene che il cittadino sappia che se ha un'abitazione sull'Arno oppure "dentro al Mugnone" è fortemente a rischio. Così come è a rischio chiunque viaggia in macchina utilizzando lo smart-phone o senza cinture di sicurezza. Questo deve diventare un patrimonio culturale ordinario. Nelle scuole si sta lavorando con i ragazzi su questi temi. Sempre parlando di scuole, c'è spesso la difficoltà dell'amministrazione comunale di decidere se tenere aperte o chiuse le scuole, decisione che si traduce in un effetto domino su tutta la società, perché la chiusura delle scuole comporta anche una ricaduta sociale, economica che deve essere valutata. Dobbiamo chiederci infatti se i ragazzi sono più sicuri a casa o a scuola, se a scuola è presente il piano. In alcune scuole non era stato assolutamente valutato di pensare a fare anche il piano per il rischio idraulico, il rischio terremoto. Poi dopo le scosse del 2014 si è corsi ai ripari. Non sempre chiudere le scuole è l'unica alternativa. Ad esempio, in occasione della nevicata del dicembre 2010, mi domando, se i ragazzi non fossero più sicuri nelle scuole piuttosto che lungo strada con i genitori che si precipitarono a prendere i propri figli.

Questo dimostra come nonostante tutto il nostro impegno, il salto quantico lo si fa nel momento in cui c'è l'acquisizione della cultura della protezione civile da parte dei cittadini. Ed è questo il fattore che comunque porterà a migliorare questo rapporto, perché non capiti più quello che oggi troppo spesso avviene, ovvero che le persone credono quasi più alla notizia pubblicata su qualche blog o sui social media, piuttosto che al comunicato che rilascia il sindaco o l'autorità di protezione civile.

*Tavola rotonda*

# *Il punto di vista del Consorzio LaMMA.*

*Dott. Bernardo Gozzini  
Amministratore Unico Consorzio LaMMA  
Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale  
per lo Sviluppo Sostenibile*

*Il testo riporta in modo sintetico l'intervento del Dott. Gozzini durante la tavola rotonda*

Innanzitutto volevo ringraziare l'Ing. Gaddi, l'Ing. Tomassoli e l'Ing. Mazzanti per essere presenti a questa tavola rotonda nonostante la protezione civile regionale sia attualmente impegnata in maniera massiccia sul fronte del terremoto di Amatrice, quindi il ringraziamento per loro è duplice.

Il tema di questa tavola rotonda è l'incertezza della previsione meteorologica e la sua comunicazione. Da sempre le condizioni del tempo sono uno dei principali temi di discussione fra le persone. Quando qualcuno di noi sale in ascensore, o va al mercato o è in coda al supermercato, non è raro che il primo approccio con qualcuno che non conosce sia proprio basato sul tempo: se fa freddo, o caldo, se piove o non piove, e in generale si commenta quello che hanno detto i meteorologi in tv o il LaMMA in Toscana. A me per primo capita spesso al supermercato di sentir dire "il LaMMA ha detto", "il LaMMA ha scritto", "le mappe del LaMMA dicono". Ognuno commenta e condivide una sua interpretazione delle varie informazioni. Dico questo per ribadire quanto la sensibilità delle persone su questo tema sia aumentata. L'argomento è di estrema attualità e questa grande attenzione comporta la necessità di prestare sempre più attenzione alle modalità con cui vengono fornite le informazioni meteorologiche. Insomma la comunicazione sta diventando sempre più un elemento cardine della meteorologia.

Il consorzio LaMMA, in quanto servizio meteo operativo del Centro Funzionale della Regione Toscana, ha un forte interesse e una grande attenzione a questa tematica, considerato il duplice ruolo di fornire, da un lato, informazioni puntuali e molto tecniche agli enti istituzionali della catena di Protezione Civile, come ribadiva il dott. Gaddi, e dall'altro di rendere queste stesse informazioni comprensibili e facilmente fruibili da parte di tutti i cittadini. Si tratta di due livelli di comunicazione molto diversi. Nei confronti degli enti istituzionali occorre fornire dati e informazioni tecniche dettagliate, sempre aggiornate e molto puntuali per poter arrivare a definire il livello di criticità previsto e trasformarlo nel corrispondente colore di allertamento, in modo da consentirne una più semplice interpretazione da parte dei Comuni della Toscana e dei cittadini.

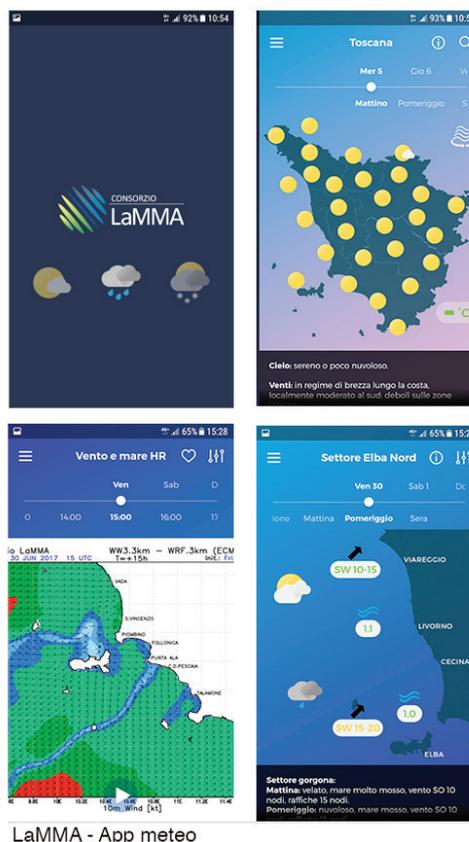
Gli incredibili sviluppi tecnologici nella meteorologia in questi ultimi 50 anni hanno

evidenziato la necessità di una comunicazione sempre più attendibile, rapida e fruibile, che sappia sfruttare tutte le tecnologie esistenti.

In effetti le presentazioni che si sono succedute questa mattina hanno mostrato come è aumentata in maniera esponenziale la conoscenza dei fenomeni meteorologici attraverso nuovi strumenti di osservazione che permettono di seguire gli eventi atmosferici quasi in tempo reale, con scarti minimi di qualche minuto. Già l'attuale rete di stazioni meteorologiche in gestione al Servizio Idrologico Regionale è stata modificata ed è attualmente in grado di mostrare i dati registrati con ritardi nell'ordine dei 5/10 minuti. I satelliti hanno aumentato il numero di canali fornendo informazioni sempre più dettagliate sulle nubi ed inoltre sono a sempre più rapido aggiornamento. Tutto ciò ha evidenziato la necessità di seguire l'evolversi della situazione meteo in atto in tempo reale durante un avviso di criticità attraverso la presenza di un previsore che fornisca informazioni sugli sviluppi temporali e spaziali dell'evento incrociando i dati osservati con quelli previsti dai modelli, un idrologo che dia informazioni sui fiumi, ed infine la protezione civile che deve prendere le decisioni riguardo alle azioni da mettere in atto. In pratica una macchina complessa che deve essere ben oliata e che deve mettere il/i decisore/i nelle condizioni di avere a disposizione tutte le informazioni per poter prendere velocemente ed adeguatamente delle decisioni.

Molte delle informazioni che i vari strumenti di osservazione forniscono vengono visualizzate liberamente su web, questo comporta un aumento della conoscenza anche da parte del cittadino che quindi può e deve diventare parte attiva, quasi un attore non protagonista, nel sistema di protezione civile cercando di mettere in pratica tutte quelle procedure di autoprotezione necessarie. Inoltre, le nuove tecnologie forniscono al cittadino lo strumento attraverso cui egli stesso può essere parte attiva nel processo di costruzione della conoscenza: condividendo con il proprio smart-phone quello che accade intorno a lui, il cittadino diventa un "sensore" umano che produce dati/informazioni e le ricondivide. Oggi attraverso il cellulare, i canali social e le innumerevoli App esistenti, qualsiasi utente può inviare informazioni e foto in tempo quasi reale dalla scena dell'evento. In molti casi grazie a una piattaforma di social networking come Facebook o Twitter, il cittadino è il primo a segnalare la calamità in corso. Questo nuovo atteggiamento, reso possibile dalla tecnologia, rappresenta una novità importante anche per la protezione civile che ha timidamente iniziato ad usare questi strumenti, a comprenderne le potenzialità e, soprattutto, a trovare metodologie appropriate per determinarne l'attendibilità.

Un largo uso dei canali social, insieme alle webcam, avviene ad esempio per la valutazione di quando e dove inizia a nevicare. Nell'intervento di Vincenzo Levizzani abbiamo potuto constatare che con gli attuali satelliti si riesce a discriminare la neve ed avere una forma di monitoraggio di questo fenomeno. In effetti i nivometri vengono installati in montagna e presso località sciistiche, perché sarebbe assurdo installare uno strumento per il monitoraggio della neve all'interno nel



comune di Firenze dove il fenomeno è abbastanza raro. D'altra parte la neve diventa un problema allorchè viene prevista su quote inferiori ai 5/600 metri sopra il livello del mare, vale a dire dove non esistono i nivometri. Quindi quando si prevede neve a quote inferiori, gli unici mezzi che abbiamo per poter valutare dove ha iniziato a nevicare e dove sta ancora nevicando sono le webcam oppure tutte le segnalazioni che leggiamo su Facebook, Twitter, forum, ecc.. Quindi senza questi canali di comunicazione avremmo grosse difficoltà a seguire fenomeni meteorologici quali neve, grandine o colpi di vento nei temporali.

E' per questo che anche il Consorzio LaMMA ha attivato un canale Twitter e una pagina istituzionale Facebook, nell'ottica di mantenere un collegamento diretto con gli utenti e anche per "recuperare" online informazioni utili e fare un servizio più dettagliato sul territorio. L'aggiornamento di questi canali è ovviamente un ulteriore impegno per il nostro staff e per i previsori, che devono seguire queste pagine, tenerle aggiornate con nuove informazioni, rispondere ad eventuali critiche, domande o suggerimenti. Rappresenta comunque un elemento importante per fidelizzare gli utenti, avere un dialogo diretto con loro e nello stesso tempo renderli partecipi nel processo di costruzione della previsione coinvolgendoli nella raccolta di informazioni utili sul territorio.

Ormai la nostra vita è in qualche modo determinata dalle "App". Le ricerche dicono che, dopo i giochi, le App più scaricate sono quelle sul meteo. Ognuno di noi ha infatti sul suo cellulare almeno 2/3 App sul meteo che consulta, confrontandole fra loro, per organizzare gli spostamenti o i weekend, le ferie. Per cui ci siamo abituati alla previsione fornita dalla App che è tendenzialmente "site specific", cioè ti mostra una unica previsione relativa al posto dove sei nel momento in cui la consulti, oppure il tempo previsto per un determinato giorno, e ora, per la località dove vorresti andare. Questa informazione è confezionata per l'utente in modo personalizzato, con una previsione puntuale e localizzata che non permette di comprendere in maniera più accurata qual'è la previsione meteo delle zone circostante a quella che si consulta. L'utente si è quindi abituato a questo tipologia di informazione meteo che presenta un elevato dettaglio spaziale e temporale. Pochi però sono consapevoli che questo elevato dettaglio, in realtà, in meteorologia non è possibile. Si tratta di una comunicazione che ha elevata accuratezza/precisione ma scarsa attendibilità.

Un elemento nuovo del processo di comunicazione al cittadino delle informazioni meteo è legato al concetto di probabilità, ormai entrato a far parte della comunità meteorologica mondiale. In effetti il cosiddetto "ensemble forecast", presentato da Roberto Buizza, ormai ha raggiunto risoluzioni spaziali e tempi veramente operativi, introducendo un elemento in più per la valutazione quantitativa dell'incertezza della previsione che viene espressa in termini di probabilità di accadimento. Nel nostro paese però, la previsione meteo resta fondamentalmente deterministica e la comunicazione probabilistica non viene ancora utilizzata.

Per avere maggiori elementi sulla fattibilità di inserire informazioni probabilistiche nella nostro bollettino meteo, nel 2014 abbiamo pubblicato sul nostro sito ([www.lamma.rete.toscana.it](http://www.lamma.rete.toscana.it)) un questionario rivolto agli utenti. Abbiamo ricevuto più di 2.000 risposte con risultati piuttosto interessanti. Ad esempio, abbiamo scoperto che tutti gli utenti



dichiarano di guardare la mappa con i simboli, pochissimi però arrivano a leggere la descrizione testuale delle previsioni che spiega l'evoluzione dei vari fenomeni. Nel guardare la mappa la maggioranza controlla soltanto il simbolo presente sopra la propria città o il luogo di interesse, difficilmente allarga lo sguardo ai simboli accanto. Anche l'interpretazione del simbolo rivela alcune perplessità. Per esempio, quando inseriamo il simbolo del coperto quasi tutti affermano che non pioverà e quindi non devono prendere l'ombrello. Se piove allora il LaMMA ha sbagliato la previsione. Oppure se vede sulla sua propria città il simbolo del sole, anche se tutto intorno ci sono simboli di coperto e/o pioggia, l'utente dichiara di aspettarsi sole e che non pioverà. Queste risposte confermano una tendenza già nota, ovvero che il cittadino è abituato a confrontarsi con informazioni chiare e dirette, di tipo deterministico.

Le risposte sull'interpretazione della probabilità hanno dato dei risultati contrastanti. Ad esempio all'affermazione che una determinata previsione ha il 60% di probabilità di avverarsi, gli utenti forniscono risposte molteplici e variegate. Alcuni sostengono che la corretta interpretazione è che pioverà sul 60% del territorio e sul restante 40% non pioverà. Altri dichiarano che pioverà il 60% del tempo, cioè piove 18 ore su 24. Un 47% del campione propende per un'interpretazione secondo cui il 60% dei previsori valuta che pioverà, mentre per il 40% non pioverà. Un concetto quest'ultimo che si avvicina a quello dell'ensemble forecasts.

I risultati del questionario dimostrano che se il concetto di probabilità, dal punto di vista scientifico, aumenta il valore della mia previsione perché afferma se questa ha un carattere di maggiore o minore probabilità di accadimento, e quindi ha una maggiore affidabilità, diventa molto difficile comunicarlo successivamente al cittadino. Esistono diversi studi che analizzano le modalità con cui comunicare la probabilità, con un semplice numero oppure con una parola o una frase, dimostrando la necessità di lavorare ancora ed in maniera più approfondita sul tema della comunicazione al cittadino.

La comunicazione al pubblico è l'anello finale della catena previsionale, che necessita di un costante lavoro di ascolto, comprensione e interpretazione.



La memoria dell'alluvione, il livello di informazione e percezione del rischio

# Memoria e rischio alluvione: 50 anni dopo il '66

Valentina Grasso, Federica Zabini  
Consorzio LaMMA - Ibimet CNR

Se l'affidabilità delle previsioni è un prerequisito per una comunicazione al pubblico utile ed efficace, è anche vero che non è una condizione sufficiente a garantire che i cittadini ricevano davvero le informazioni e che siano in grado di interpretarle e di agire di conseguenza.

Tale consapevolezza è alla base della grande crescita che negli ultimi anni hanno avuto gli studi dedicati ad approfondire i diversi aspetti coinvolti nella percezione del rischio di alluvioni e altri eventi estremi, la comunicazione e l'analisi dei comportamenti (una review in Bubeck et al. 2012; Bradford et al. 2012; Wachinger et al. 2013; Kellens et al. 2013). Un interesse incoraggiato anche dal cambio di prospettiva avvenuto nell'ambito del *flood risk management*, maggiormente orientato verso un approccio più olistico, in cui la percezione del rischio diventa un fattore importante nella disponibilità delle persone ad adottare misure di prevenzione e, in ultima analisi, nel limitare l'impatto delle alluvioni (Birkholz et al 2014).

In questo quadro, anche gli indirizzi comunitari (vedi EU Floods Directive 2007/60/EC) hanno avuto un ruolo, considerando la valutazione e la mitigazione del rischio di alluvione in modo integrato con l'analisi degli aspetti legati alle comunità e alle società.

Infine, è ormai riconosciuto che comprendere il modo in cui una comunità percepisce il rischio è una preconditione per poter mettere in campo una strategia di comunicazione efficace che consenta ai progressi ottenuti dalla meteorologia di ottenere piena realizzazione

## Il questionario: genesi e sintesi dei temi esplorati

È a partire da queste premesse che abbiamo realizzato un'indagine per conoscere quanto i cittadini sono informati sul rischio alluvione e qual è la loro percezione del rischio.

L'idea è nata contestualmente al progetto didattico "Firenze, l'alluvione del 1966 e le altre alluvioni", rivolto alle scuole fiorentine e promosso dall'Associazione Nazionale Insegnanti di Scienze Naturali, Water Right Foundation e Firenze 2016. Dato l'interesse della tematica, si è poi deciso di estendere l'indagine a tutti i cittadini: tra aprile e maggio 2016 abbiamo infatti pubblicato il questionario sul sito web del Consorzio LaMMA,

raccogliendo complessivamente **704 risposte**.

Attraverso il questionario si sono indagati alcuni temi legati al rischio alluvione, di seguito schematizzati, per un totale di 44 domande.

Dati socio demografici	età, sesso, livello istruzione, residenza
Dati sull'abitazione	piano, proprietà, tipologia, vicinanza fiume
Esperienza pregressa	quando, dove, danni, paura
Alluvione 1966	esperienza diretta; giudizio su eccezionalità/ripetibilità
Esposizione ai rischi e percezione rischio abitazione	rischio oggettivo (da mappa) e rischio percepito
Percezione rischio futuro	probabilità alluvione; possibili danni; incolumità
Conoscenza e preparazione	cause, fattori di pericolosità, livello di preparazione, conoscenza piani Protezione civile
Fonti di informazione	canali e fonti
Fiducia e responsabilità	fiducia nella capacità di previsione/gestione; responsabilità preparazione cittadinanza
Comunicazione	uso/preferenza canali di comunicazione; fiducia nelle fonti
Allerta meteo	conoscenza; informazione

*Tabella 1. Principali variabili indagate nell'indagine*

Al momento l'analisi dei risultati è ancora in corso e si propone di contribuire al quadro conoscitivo.

Nonostante i tanti studi volti a individuare i fattori che influenzano la percezione del rischio (anche in ottica predittiva), non ci sono risultati "universali": è la natura stessa della percezione del rischio ad essere complessa e frammentata, legata a fattori contestuali (cognitivi, sociali, culturali), che cambiano nel tempo e anche nello spazio e che sono difficilmente generalizzabili (Botzen et al., 2009). Più specificatamente, nel caso del rischio alluvione molti studi mostrano che ci sono differenze profonde nella percezione nei diversi paesi (Kellens et al., 2013) e che il quadro politico-sociale influenza il modo in cui le persone percepiscono il rischio (Raska, 2015). In quest'ottica acquista un senso provare ad analizzare e approfondire tale percezione anche in relazione a una comunità limitata, e contesti socio-culturali nazionali o regionali, che permettano di individuare le strategie migliori nella progettazione delle azioni di mitigazione riduzione del rischio.

In questa sede presentiamo, in sintesi, solo i risultati più direttamente collegati all'Alluvione del 1966, cornice del workshop, e alla meteorologia, traslasciando le questioni legate alla tematica, complessa e multifattoriale, della percezione del rischio.

## La memoria storica: l'alluvione del '66

Una sezione dell'indagine ha riguardato la memoria degli intervistati sull'alluvione del 1966. Abbiamo posto alcune domande dirette ad indagare quanti conoscessero l'evento, dove ne avessero sentito parlare, e a valutare la loro percezione sui progressi che sono stati fatti in questi ultimi anni per la previsione e la gestione di simili eventi.

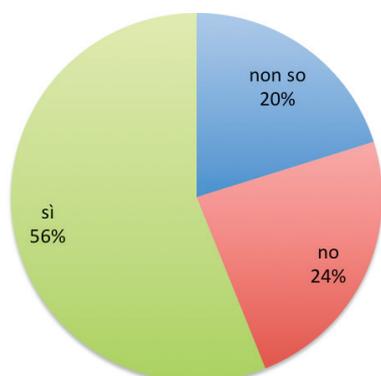
La quasi totalità degli intervistati (97%) afferma di conoscere l'alluvione del 1966 e sono molti quelli che la conoscono per esperienza diretta: il 16% afferma di essere stato presente all'evento, il resto ne ha sentito parlare da parenti, amici o dai media (60%) mentre un parte ne ha sentito parlare a scuola.

**Ritieni che l'alluvione del 1966 sia stata:**

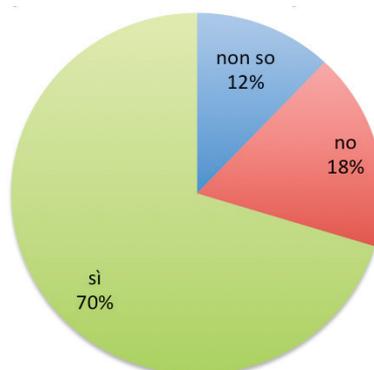


Quella del 1966 rappresenta per i fiorentini l'“Alluvione” per antonomasia, un evento eccezionale che ha segnato la memoria collettiva non solo degli abitanti della città ma degli italiani in genere, come testimoniano le immagini degli Angeli del Fango sopraggiunti a Firenze da tutto il mondo per salvare i tesori artistici del Rinascimento. Un evento di piena come quello accaduto nel 1966 si stima che abbia tempi di ritorno ben oltre il secolo, ovvero statisticamente il successivo evento simile è stimabile dopo circa 150/200 anni.

**Credi che oggi saremmo in grado di prevedere in anticipo un evento come quello del 1966?**



**Rispetto al 1966, pensi che oggi il sistema di gestione di questo tipo di rischi sia migliore?**



Considerato ciò, abbiamo cercato di capire quale fosse la percezione degli intervistati sull'eccezionalità di quell'evento. Alla domanda “Credi che l'alluvione di Firenze sia stata...” solo il 5% risponde che si è trattato di un evento eccezionale e irripetibile, il 10% lo ritiene un

evento che potrebbe ripetersi ma non prima di 100 anni, mentre la stragrande maggioranza, l'84%, risponde che si tratta di un evento che potrebbe accadere nuovamente anche a breve, nell'arco dei prossimi 15/30 anni. **C'è quindi la percezione che eventi come quello dell'alluvione del 1966 potrebbero verificarsi nuovamente anche in un prossimo futuro.**

C'è però in molti (56%) la consapevolezza che, grazie ai progressi che la meteorologia ha fatto negli ultimi sessanta anni, oggi saremmo in grado di prevedere un simile evento con un certo anticipo. E se un 20% resta dubbioso, un 24% pensa invece che oggi non saremmo in grado di prevedere meglio un evento simile. Questi "pessimisti" sono soprattutto maschi (74%) e nella fascia di età compresa tra 30 e 60 anni.

C'è anche molta fiducia sul fatto che oggi il sistema di gestione di questo tipo di rischi sia migliore rispetto al 1966 (lo afferma il 70% degli intervistati), seppur una modesta percentuale di persone, il 18%, ritiene che non lo sia.

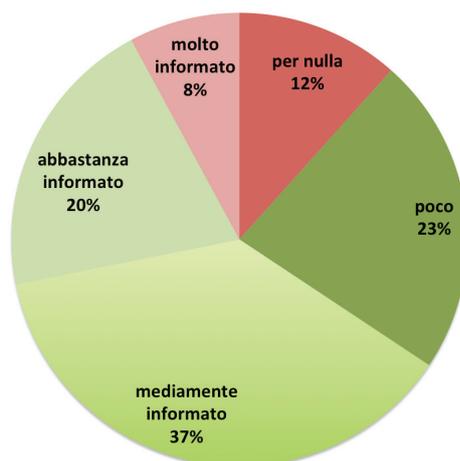
Va detto che nell'elenco dei grandi rischi di calamità naturali, redatto dalla Protezione Civile Nazionale, l'eventualità di una nuova alluvione dell'Arno è considerata al secondo posto, fra gli eventi più catastrofici, dopo l'eventualità di un'eruzione del Vesuvio.

## Quanto e come si informano?

Una delle componenti importanti nella formazione della percezione del rischio è quella dell'informazione, a cui abbiamo dedicato diverse domande.

Una buona percentuale degli utenti si ritiene poco (23%) o per nulla (12%) informato sul rischio alluvione relativo al proprio territorio, una buona percentuale (37%) si considera mediamente (37%) o abbastanza (20%) informato. Solo l'8% si reputa davvero ben informato sul rischio alluvionale del territorio in cui vive.

Quanto ti senti informato su rischio alluvione sul tuo territorio ?



Sappiamo bene che il fatto di sentirsi informati non necessariamente si traduce nella capacità di adottare comportamenti corretti durante l'emergenza ma è certamente un dato importante che **il 35% di questo campione toscano affermi di avere poca o nessuna**

## **conoscenza delle vulnerabilità e dei rischi che sono presenti nel luogo dove abita.**

Riguardo alle fonti, abbiamo chiesto di indicare una o più fonti privilegiate di accesso all'informazione sul rischio alluvione. Internet è scelto dal 70%, seguito dalla televisione (40%) e dalla stampa (28%); un 20% circa cita il Comune come sorgente di informazione e il 38% la Protezione civile, seguiti da Regione (13%) ed enti di ricerca (11%).

Sempre relativamente alle modalità di informazione, abbiamo chiesto agli intervistati di immaginare come, a loro avviso, verrebbero a conoscenza di un'eventuale situazione di pericolo <sup>1</sup>. Il panorama delle risposte è interessante: sebbene la tv faccia da padrona, il 59% pensa infatti che lo apprenderebbe dal piccolo schermo, è subito seguita dai social media (54%). Arrivano poi il sito web della Protezione Civile, scelto dal 45% degli utenti, e gli SMS (32%). Da notare come **social media e tv siano messi quasi sullo stesso piano in quanto fonti primarie di accesso all'informazione**. Questo trova conferma in alcuni studi recenti; ad esempio un'indagine del *Reuters Institute for the study of journalism*, condotta su 50 mila persone provenienti da 26 Paesi, riporta come in alcuni paesi i social media abbiano spodestato la Tv come principale fonte di informazione, almeno tra le fasce più giovani della popolazione ("Digital News Report 2016" accessibile su: <https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/sites/default/files/Digital-News-Report-2016.pdf>).

Quando si chiede agli utenti come vorrebbero essere informati, emerge invece come prima scelta la ricezione di SMS (64%), sistema già adottato da molte amministrazioni comunali, compresa Firenze, seguito dal poco tecnologico, ma sempre efficace, ricorso alle "sirene", considerate evidentemente uno strumento a forte impatto, capace di arrivare a tutti. Tv, social media e sito web della Protezione Civile raccolgono consensi simili (attorno al 35%). Ultima scelta la carta stampata che, per la sua natura statica, poco si presta a veicolare informazioni che devono essere quanto più aggiornate e "fresche" possibile.

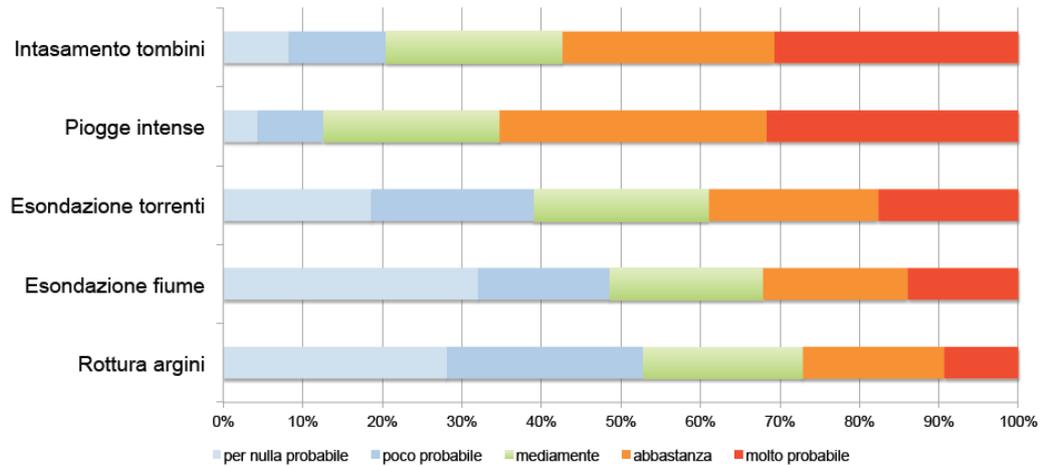
## **Le cause e le responsabilità**

Tra le domande poste nel questionario, una riguardava i fattori che potrebbero causare una eventuale alluvione nel territorio in cui vive l'intervistato. La domanda era formulata nel modo seguente: "Quali sarebbero, secondo te, le cause che potrebbero causare un'alluvione nell'area in cui vivi?". Per ciascuna delle opzioni suggerite, l'intervistato doveva indicare quanto questa opzione fosse ritenuta probabile (su una scala a 5 punti, da "molto poco probabile" a "molto probabile").

Tra le opzioni proposte dalla domanda, le cause che sono state ritenute più probabili come causa di alluvione sono state l'intasamento dei tombini e le piogge intense, seguite dall'esondazione di torrenti o di un fiume (vedi figura successiva).

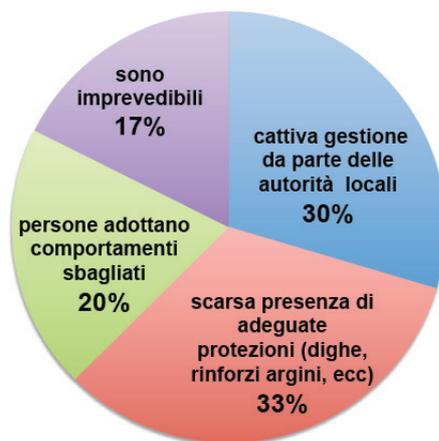
<sup>1</sup>: Queste domande erano strutturate con risposte a scelta multipla, in cui era possibile scegliere più di una opzione; pertanto la somma dei risultati risulta maggiore del 100%.

**Quali sarebbero, secondo te, le cause che potrebbero provocare un'alluvione nell'area in cui vivi?**



Le cause ritenute più probabili sono, in genere, anche parzialmente connesse alla pericolosità percepita dell'evento. Una domanda riguardava effettivamente l'ambito della pericolosità, in particolare veniva chiesto perché le alluvioni sono pericolose per la comunità. Le risposte proposte comprendevano sia caratteristiche del fenomeno, che elementi di tipo comportamentale o legati ad una cattiva gestione da parte dell'amministrazione. Come si vede dalla distribuzione delle risposte, figura successiva, oltre la metà del campione ha optato per risposte che più o meno direttamente rimandano a responsabilità nella gestione pubblica. In particolare, il 30% indica la cattiva gestione dell'autorità locale come cause della pericolosità di questi fenomeni, e un 33% indica la scarsa presenza di difese idrauliche adeguate, anch'esse ascrivibili a una cattiva gestione da parte della pubblica amministrazione. Solo il 20% reputa che siano gli stessi cittadini i primi a mettere in pericolo se stessi con comportamenti non adeguati, se non addirittura rischiosi. Solo un sesto degli intervistati sostiene che il pericolo stia nell'imprevedibilità dell'evento.

**Perché alluvioni sono pericolose per la comunità?  
(q26)**



## Tutti conoscono l'allerta meteo!

Come è noto, il sistema che oggi viene utilizzato per informare i cittadini dei rischi connessi ad eventi meteo intensi e al loro impatto al suolo è quello dell'allertamento meteorologico. Il sistema di allertamento in Italia fa capo al Dipartimento Nazionale di Protezione Civile organizzato su base regionale in Centri Funzionali Decentrati (Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 27/02/2004). In Toscana il Centro Funzionale è organizzato in due componenti distinte, il Consorzio LaMMA, responsabile delle attività di previsione, monitoraggio e sorveglianza delle forzanti meteorologiche, e il Servizio idrologico regionale, responsabile della valutazione della pericolosità e dei possibili scenari di criticità idraulica e idrogeologica in base agli effetti delle piogge previste. Sulla base delle valutazioni di criticità emesse, la protezione Civile Regionale adotta l'allerta meteorologica.

Il sistema, nato principalmente per informare i componenti della catena di protezione civile (Comuni, Province Prefetture, Autorità di Bacino, ecc), si è diffuso oggi verso il grande pubblico. Di allerta meteo si parla in tv, sui quotidiani e sui social media.

**L'88% del campione dichiara di sapere che in Toscana esiste un sistema di allerta meteo.** La maggioranza delle persone afferma inoltre di tenersi ben informata sull'emissione delle allerte: il 38% si tiene molto informato e solo un 10% si dichiara poco o per nulla informato. Il canale più utilizzato a questo scopo è Internet (66%), tra i vari siti spicca quello della Protezione Civile, consultato dal 44% degli intervistati, poi Tv e social media, che raccolgono entrambi il 30% delle preferenze; successo più contenuto per stampa e radio (13%).

Tecnici ed esperti sono comunque ritenuti fonti di grande fiducia dagli utenti, segno questo che nella nostra regione la comunicazione dell'allerta si è ben radicata e diffusa.

## Bibliografia essenziale

Botzen, W. J. W., Aerts, J. C. J. H., & Van Den Bergh, J. C. J. M. (2009). Dependence of flood risk perceptions on socioeconomic and objective risk factors. *Water Resources Research*, 45(10), 1–15. <http://doi.org/10.1029/2009WR007743>

Birkholz, S., Muro, M., Jeffrey, P., & Smith, H. M. (2014). Rethinking the relationship between flood risk perception and flood management. *Science of the Total Environment*, 478, 12–20. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.061>

Bradford, R. A., O'Sullivan, J. J., Van Der Craats, I. M., Krywkow, J., Rotko, P., Aaltonen, J., ... Schelfaut, K. (2012). Risk perception - Issues for flood management in Europe. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(7), 2299–2309. <http://doi.org/10.5194/nhess-12-2299-2012>

Bubeck, P., Botzen, W. J. W., & Aerts, J. C. J. H. (2012). A Review of Risk Perceptions and Other Factors that Influence Flood Mitigation Behavior. *Risk Analysis*, 32(9), 1481–1495. <http://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01783.x>

Burns, W. J., & Slovic, P. (2012). Risk Perception and Behaviors: Anticipating and Responding to Crises. *Risk Analysis*, 32(4), 579–582. doi:10.1111/j.1539-6924.2012.01791.x

Kellens, W., Terpstra, T., & De Maeyer, P. (2013). Perception and Communication of Flood Risks: A Systematic Review of Empirical Research. *Risk Analysis*, 33(1), 24–49. doi:10.1111/j.1539-6924.2012.01844.x

Raska, P. (2015). Flood risk perception in Central-Eastern European members states of the EU: a review. *Natural Hazards*, 79(3), 2163–2179. <http://doi.org/10.1007/s11069-015-1929-x>

Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., & Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox-implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Analysis*, 33(6), 1049–1065. <http://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x>



Laboratorio di Monitoraggio e  
Modellistica Ambientale  
per lo sviluppo sostenibile.

LaMMA è un consorzio tra Regione Toscana e  
Consiglio Nazionale delle Ricerche

#### **Area della Ricerca CNR di Firenze**

Via Madonna del Piano n.10  
Edificio D - Piano Primo  
50019 Sesto Fiorentino (FI)  
Italy

Tel. +39 055 44 830.1  
Fax +39 055 44 40 83

[info@lamma.rete.toscana.it](mailto:info@lamma.rete.toscana.it)  
[www.lamma.rete.toscana.it](http://www.lamma.rete.toscana.it)