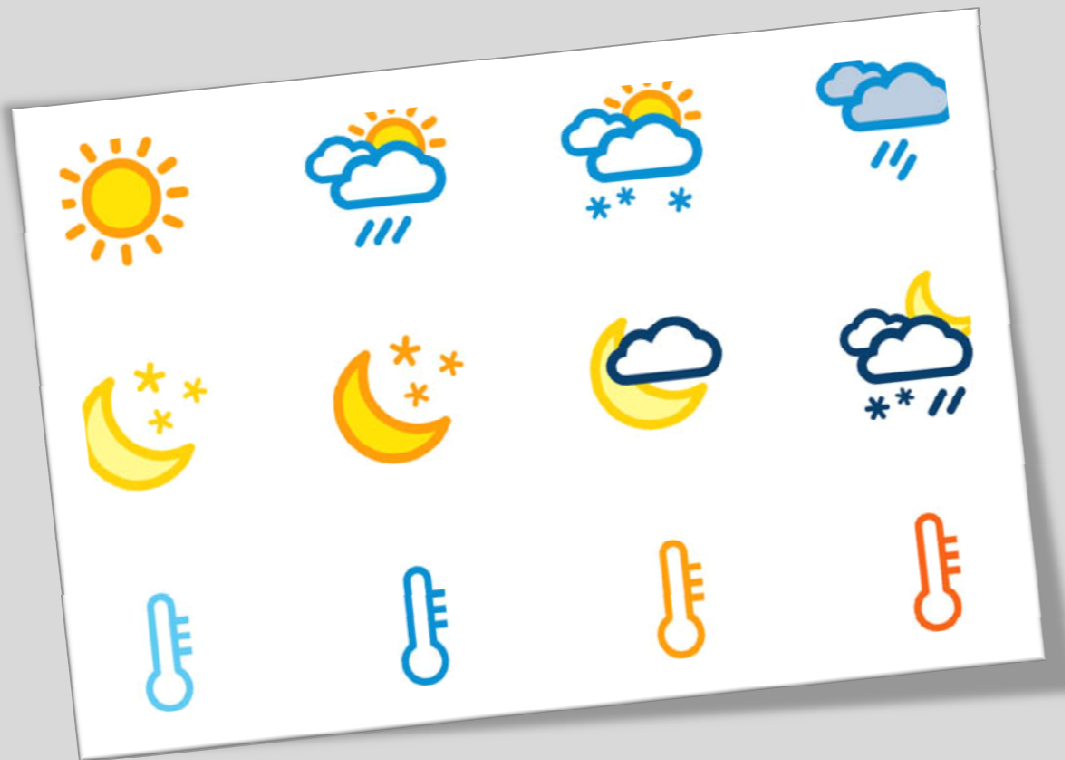


versione	del
01	16/08/2014

Previsioni del tempo



prof.ssa C. Agizza
agizzaca@gmail.com

Per eventuali suggerimenti o correzioni rivolgersi all'autore

Meteorologia

informazioni
climatologiche

informazioni
correnti
(osservazioni)

previsioni

visibilità

nebbia

nubi

precipitazioni

foschie dense

AERONAUTICA



MILITARE

Servizio Meteorologico



Tempo-In-Atto



Previsioni



Avvisi



Clima



Aeronautica



Mare

**informazioni
climatologiche**

Cosa sono ?

Risultati **statistici** delle
osservazioni meteorologiche
effettuate durante un **lungo**
periodo di tempo

A cosa servono ?

Regolarità attese per l'**agibilità** in
decollo e atterraggio su una pista

Determinazione dei **venti**
predominanti per stabilire
l'**orientamento** appropriato delle
piste di atterraggio.

Frequenza della **nebbia**, dei
ceilings bassi e delle **cattive**
visibilità in aeroporto

**informazioni
correnti
(osservazioni)**

Cosa sono ?

insieme delle **osservazioni** e delle **misure** eseguite dai **servizi meteorologici**

Si dividono in

A cosa servono ?

a **conoscere** com'è il tempo in una determinata località o sul percorso da seguire



OSSERVAZIONI E MISURE IN SUPERFICIE

- effettuate da un osservatore terrestre
- **osservazione a vista** di nubi, stimandone tipologia, quantità e altezza
- **misure strumentali** per la pressione dell'aria, la temperatura, l'umidità, la direzione e l'intensità del vento, la quantità delle precipitazioni e la visibilità.



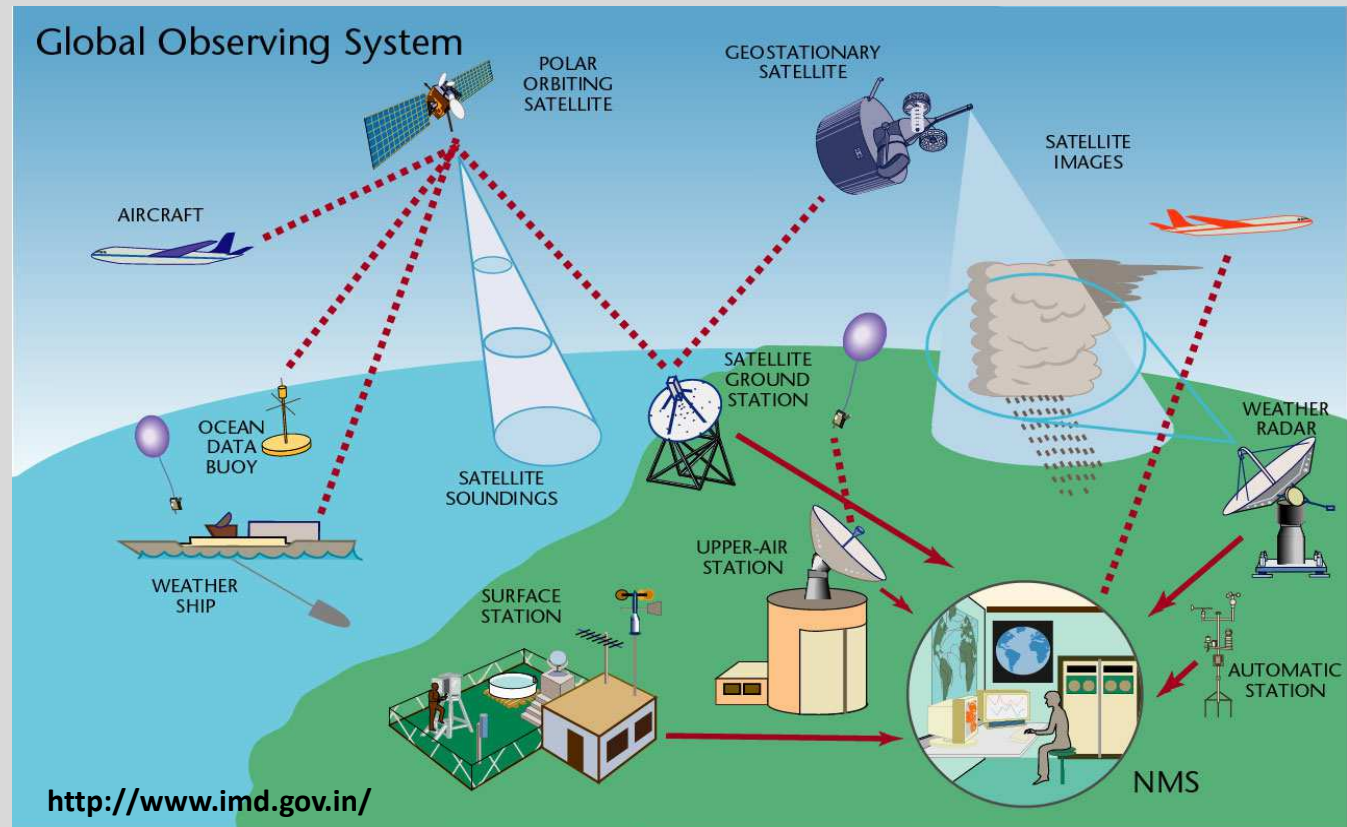
OSSERVAZIONI E MISURE IN QUOTA

- Effettuate con **radiosondaggi**
- lancio di **palloni** sonda con strumenti meteorologici "usa e getta"
- **osservazioni da aeromobili**



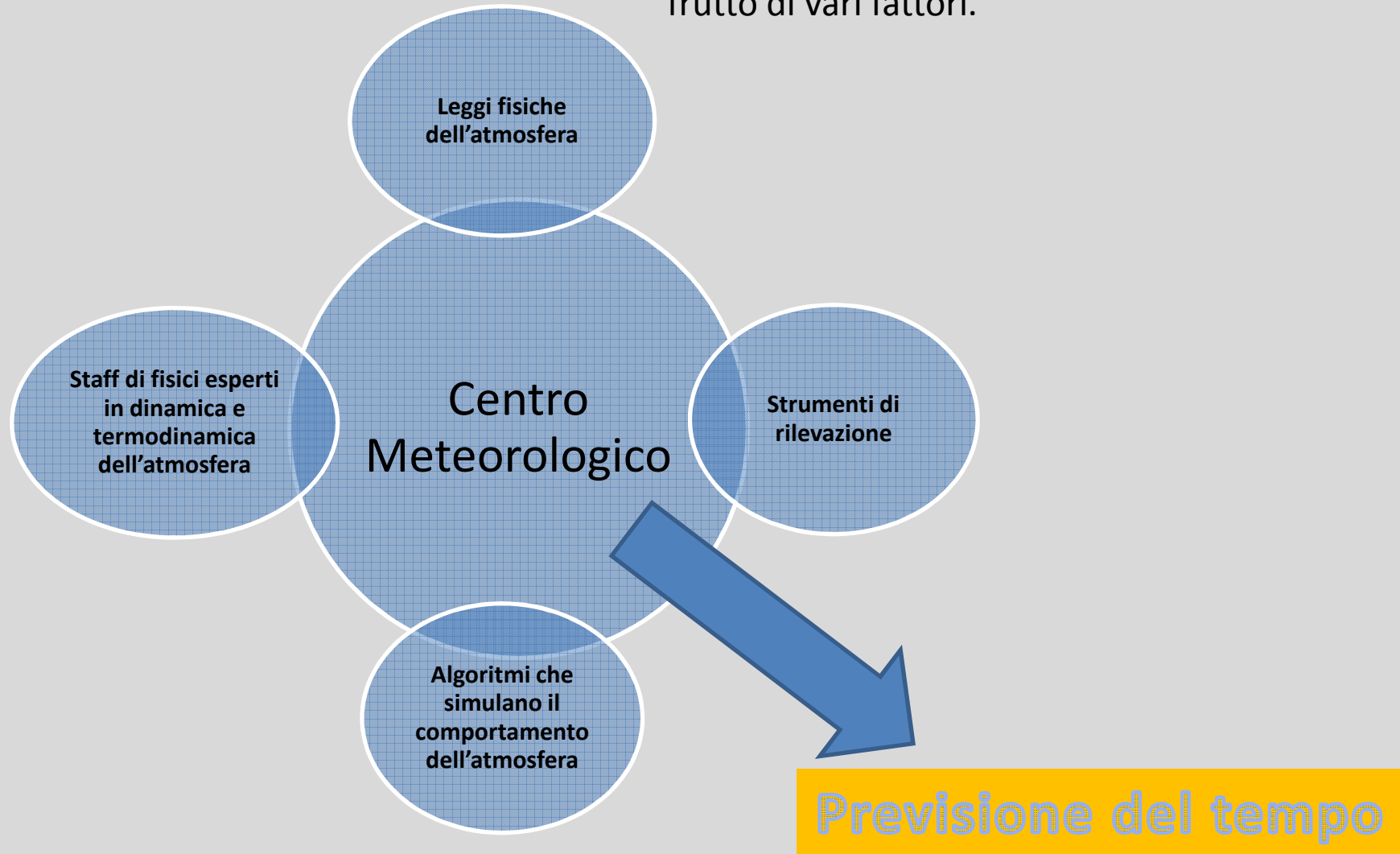
Tutte le informazioni vengono **codificate** per realizzare **carte e bollettini meteorologici**

previsioni



Sistema di Osservazione Globale (GOS),comprendente la grande varietà dei sistemi, satellitari e non, di telerilevamento atmosferico facenti capo a ciascun **Servizio Meteorologico Nazionale (NMS)**.

Le previsioni elaborate ogni giorno presso i centri meteorologici di tutto il mondo sono il frutto di vari fattori.



Le previsioni del tempo sono tutt'ora ancora imprecise e lo saranno anche in futuro !!!

Per la descrizione di qualsiasi sistema fisico presente in natura è necessario innanzitutto conoscere le **condizioni iniziali**. Ecco il motivo per cui, **per prevedere il “tempo che farà” è indispensabile, innanzitutto conoscere “il tempo che c’è”.**

Il tempo che
c’è

- Sistema mondiale per l’osservazione del tempo coordinato dall’ OMM (www.wmo.int), organismo permanente dell’ONU

Il tempo che
farà

- Previsioni su determinate aree geografiche



L'organizzazione ha base a Ginevra (Svizzera) ed ha i seguenti obiettivi:

- **Facilitare la cooperazione internazionale per stabilire una rete di stazioni**, per effettuare rilevamenti meteorologici, idrogeologici e geofisici, oltre a promuovere l'instaurazione ed il mantenimento dei centri di previsione meteorologica.
- **Promuovere lo scambio d'informazioni meteorologiche** e relative;
- **Promuovere una standardizzazione dei rilevamenti meteorologici**, per rendere uniformi le pubblicazioni statistiche e delle osservazioni;
- **Promuovere la ricerca nel campo meteorologico.**



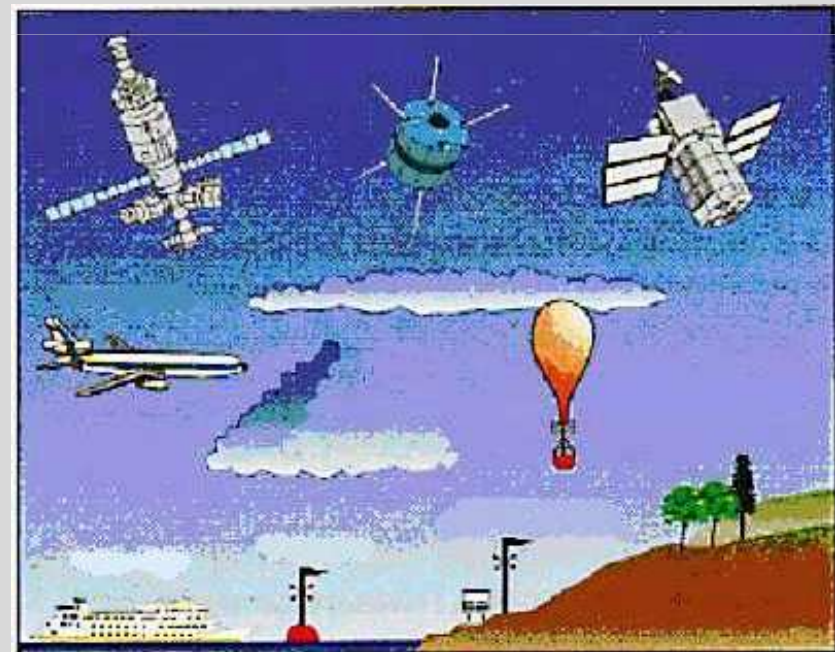
Rete sinottica di stazioni al suolo

Rete sinottica di osservazione a varie quote

**Sistema di rilevazione sinottica
(simultanea) delle condizioni meteo
al suolo e in quota per avere una
visione tridimensionale delle
CONDIZIONI INIZIALI**

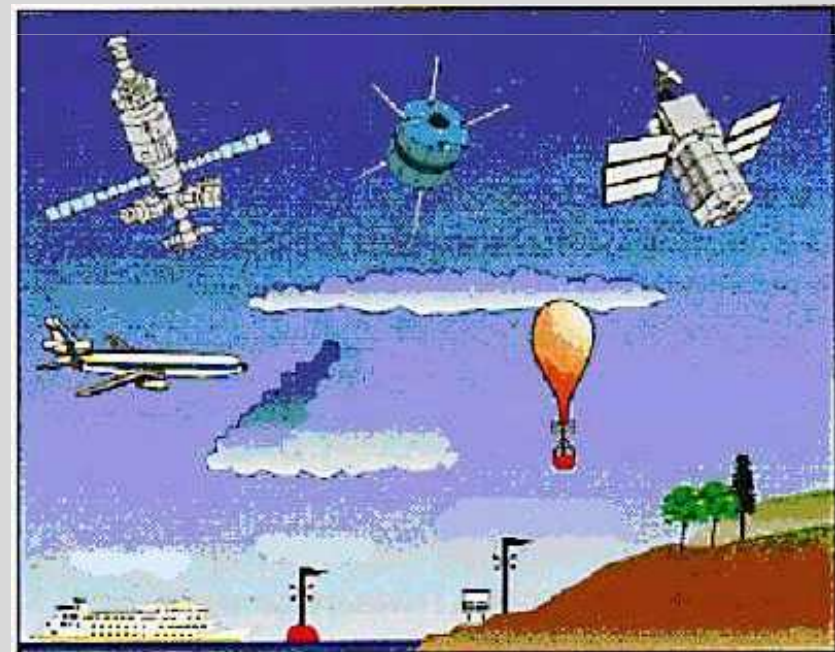
La rete di stazioni sinottiche per le osservazioni a terra è costituita da circa **15000 postazioni dislocate in tutto il mondo ad una distanza di **100-200km** tra loro. Ogni **3 ore** vengono rilevati i parametri meteorologici (**pressione atmosferica, temperatura, umidità, vento nuvolosità, quantità di precipitazioni**) e i fenomeni significativi in atto (**nebbia, pioggia, neve, temporali**).**

I dati meteorologici vengono forniti anche da **3300 boe oceaniche** e da **4000 navi**.



La rete di stazioni sinottiche per le osservazioni in quota è costituita da circa **2000** postazioni che, ogni **6/12 ore**, lanciano **palloni** gonfiati con elio, i quali sollevano, fino a **25-30 km di altezza**, una sonda munita di minuscoli sensori di temperatura, umidità e pressione atmosferica e i cui rilevamenti vengono trasmessi via radio alla stazione ricevente a terra.

Fondamentale è anche il contributo dei **9000 aerei** in rotta e dei **satelliti (polari e geostazionari)**.



I dati al suolo e in quota vengono inviati ai **centri di raccolta dati** che li trasmettono, per l'elaborazione delle previsioni del tempo, ai **centri meteorologici** nazionali e mondiali.

Previsioni del tempo e modelli fisico-matematici

Le condizioni dell'atmosfera in un fissato istante e la sua evoluzione negli istanti successivi possono essere note con esattezza qualora siano note, punto per punto, le **6 variabili** che ne definiscono lo **stato iniziale**:

- 1) Componente "u" del vento (asse x verso est)
- 2) Componente "v" del vento (asse y verso nord)
- 3) Componente "w" del vento (asse z verso l'alto)
- 4) Pressione "p"
- 5) Temperatura "T"
- 6) Umidità "q"

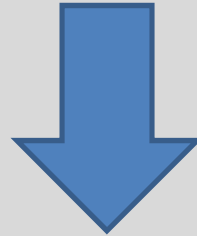
Si deve quindi risolvere un sistema di equazioni che legano tra di loro le 6 variabili:

- Legge del moto per la componente “u” del vento.
- Legge del moto per la componente “v” del vento.
- Legge del moto per la componente “w” del vento.
- Equazione di stato del gas (variazione locale della temperatura nel tempo).
- Legge di conservazione della massa.
- Equazione che descrive la variazione locale, rispetto al tempo, del contenuto di vapore acqueo.

Le **leggi** che descrivono l'evoluzione dell'atmosfera sono quelle **classiche della meccanica e della termodinamica**; ma, a causa della **complessità dei fenomeni atmosferici**, sono **leggi molto complesse**, per la soluzione delle quali si è dovuto attendere, intorno agli anni 70, lo sviluppo dei computer.

MODELLO FISICO-MATEMATICO

(NWP – Numerical Weather Prediction)

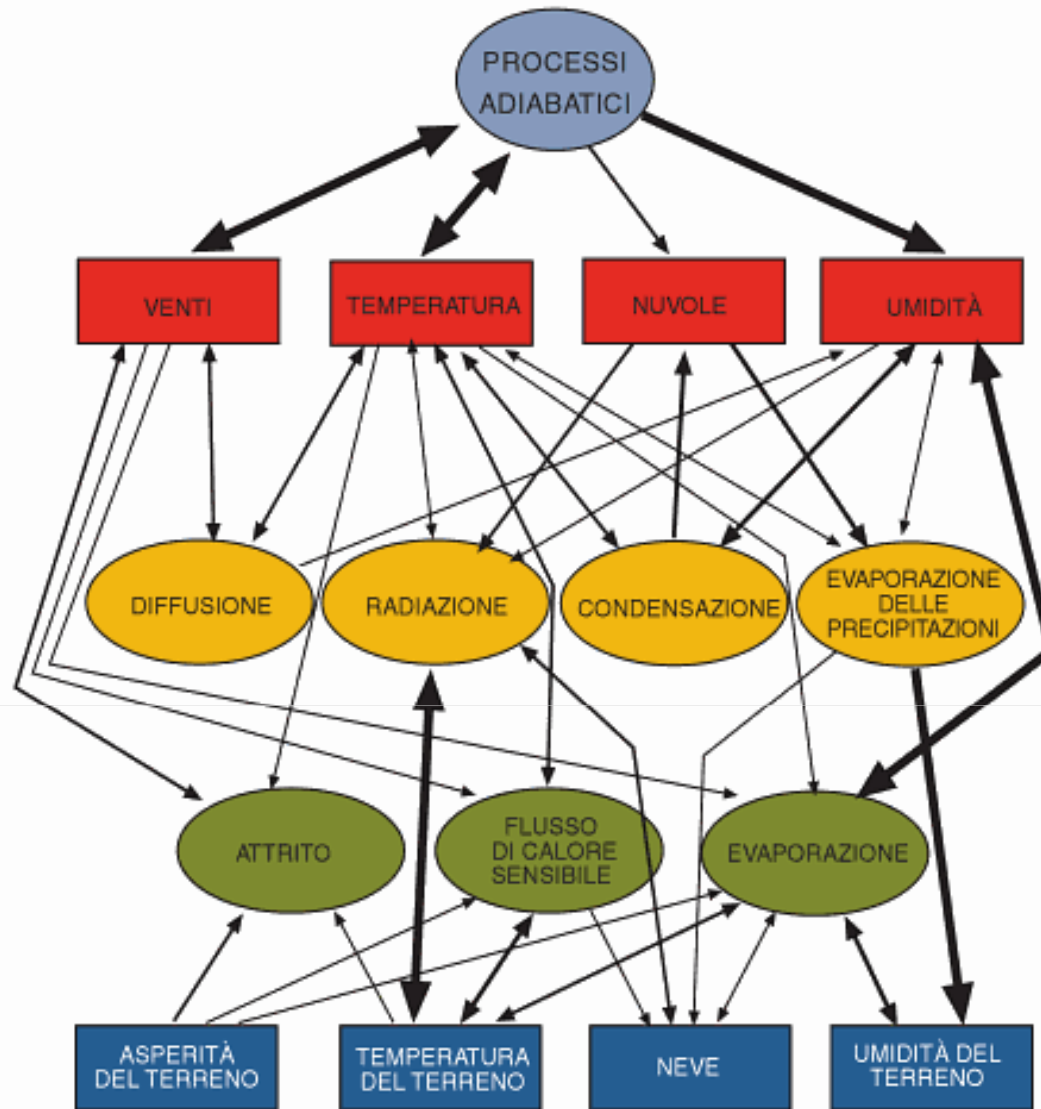


*insieme dei **metodi e delle**
approssimazioni, fisiche e
matematiche, impiegate per
risolvere il sistema di 6 equazioni in
6 incognite*

Le equazioni - interdipendenti tra di loro (una modifica di una si ripercuote a cascata su tutte le altre) - devono tener conto:

- della forza di Coriolis
- della forza di gradiente
- della forza di attrito
- della forza originata dal rimescolamento turbolento tra strati atmosferici contigui nello strato superficiale prossimo al suolo
- delle modifiche termiche apportate dai moti verticali
- delle avvezioni termiche
- dei flussi di calore provenienti dalla radiazione solare
- dell'irraggiamento
- dei moti convettivi
- della condensazione o evaporazione del vapore acqueo
- delle condizioni per le quali il vapore si trasforma in nube e poi, eventualmente, in pioggia

- Questo sistema di equazioni, però, proprio perché legato alla rapidità di variazione nello spazio e nel tempo risulta non lineare ma differenziale (le equazioni contengono le derivate delle singole incognite).
- La rapidità di variazione nel tempo e nello spazio e le interazioni tra l'ambiente circostante e i parametri del tempo richiedono delle elevatissime capacità di calcolo per la risoluzione del “sistema di equazioni”.



*interazione tra i processi fisici nell'atmosfera.

Tratta da: *Prevedere il tempo con internet – Alpha test*

Dal punto di vista matematico l'interdipendenza dei fenomeni fisici fa comparire, nelle equazioni, termini non lineari (ovvero il prodotto tra le variabili)

La non linearità delle equazioni dell'atmosfera costituisce uno dei maggiori ostacoli per la loro soluzione.

- Molti processi fisici sono ancora poco conosciuti e quindi bisogna approssimare le 6 equazioni con relazioni semiempiriche.
- Bisogna eliminare soluzioni non desiderate e influenti sull'evoluzione dell'atmosfera.
- Nelle 6 equazioni deve essere espressa anche l'influenza del tipo di copertura del suolo (terra, distese liquide, prato, bosco, deserto), della topografia del suolo e delle catene montuose (è il problema più serio per le elaborazioni delle previsioni del tempo).

- Le 6 equazioni differenziali racchiudono in sé la descrizione del comportamento futuro dell'atmosfera.
- Molti problemi fisici governati da equazioni differenziali, ammettono una soluzione analitica (il risultato è a priori noto in termini esatti) una volta che siano state assegnate **le condizioni iniziali del sistema.**

QUINDI

- noto lo stato iniziale fornito dalle osservazioni mondiali a scala sinottica,
- nota la situazione al contorno del volume d'aria considerato,

DOVREBBE

- essere possibile determinare il movimento delle masse d'aria e l'evoluzione dei suoi parametri (pressione, temperatura e umidità).

PURTROPPO

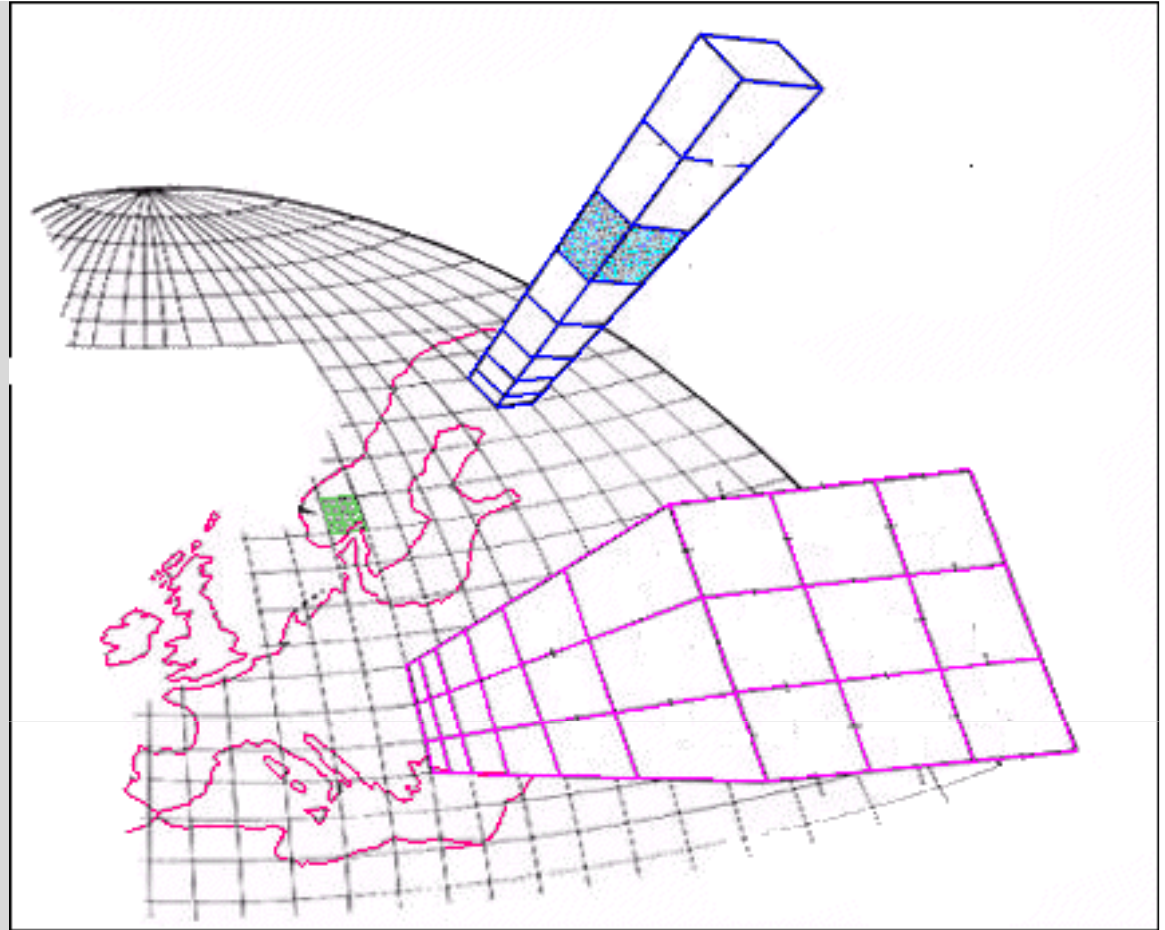
**LE EQUAZIONI DELL'ATMOSFERA NON AMMETTONO
SOLUZIONI ANALITICHE NOTE**

Per risolvere le 6 equazioni bisogna far ricorso ai metodi proposti dall'”**ANALISI NUMERICA**”:

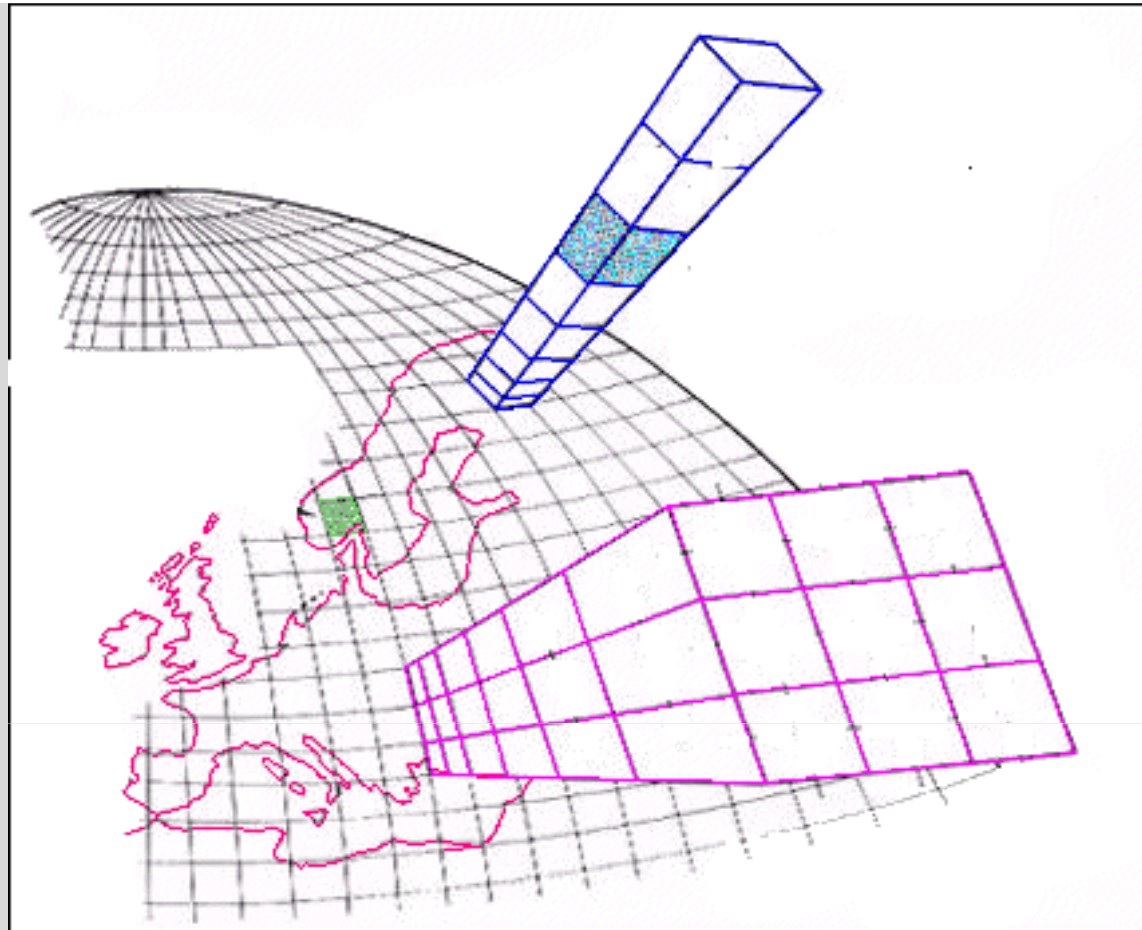
*una branca della matematica che utilizza **metodi particolari** per esprimere le derivate come semplici operazione algebriche tra numeri.*

Tale tecnica richiede una **mole impressionante di operazioni** è pertanto necessario usare **potentissimi elaboratori**.

Per effettuare le previsioni l'atmosfera è divisa in "box" opportunamente spaziate sia nel piano orizzontale che verticale.



L'applicazione del metodo numerico prevede che lo stato e l'evoluzione del tempo possa essere rappresentato mediante i valori assunti, con il passare del tempo, dalle 6 variabili, in un numero finito di box contenuti nella regione oggetto della previsione.



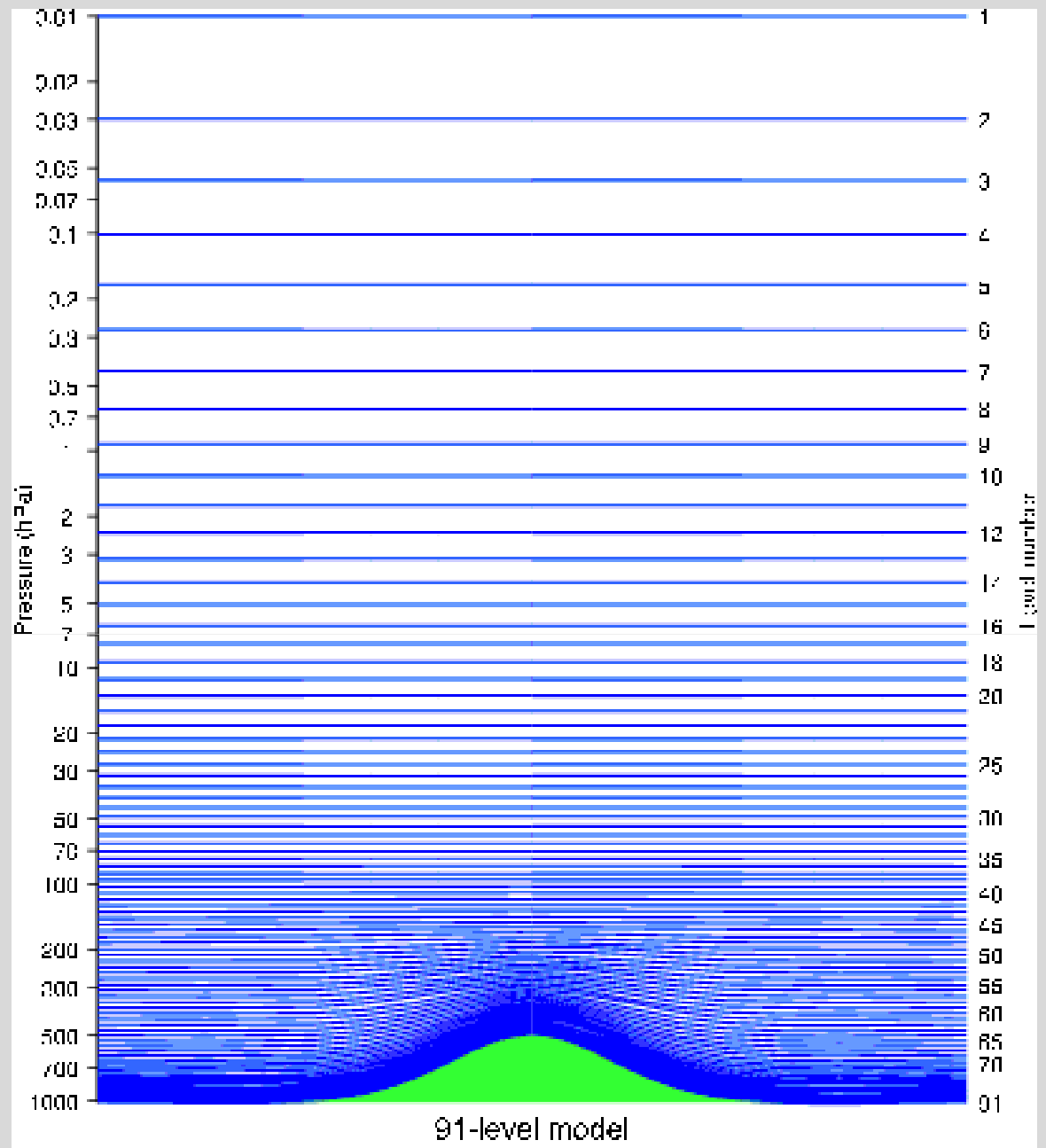
La distanza (**passo**) tra i centri (**nodi**) dei box di questa gigantesca griglia tridimensionale non deve essere né tanto grande da pregiudicare il grado di dettaglio della previsione, né tanto piccola da aumentare enormemente il numero di nodi e quindi il tempo di elaborazione.

Il modello fisico-matematico elaborato dall'**ECMWF** (European Center medium-range weather Forecast) di Reading (Londra) impiega un modello a scala planetaria con passo di griglia di 27 km e 91 livelli verticali tra il suolo e 0,01hPa di quota (80km circa).

Modello ECMWF

suddivide l'atmosfera in 91 livelli, fino a 0,01hPa (80km circa).

Nella parte inferiore della troposfera, dove l'orografia della terra ha un certo peso nei processi meteorologici, i livelli seguono la superficie della terra, mentre nella parte superiore della troposfera, stratosfera e mesosfera inferiore, i livelli sono a pressione costante.



struttura verticale (91 livelli) del modello ECMWF

- **La risoluzione delle equazioni ha inizio quando sono noti i valori iniziali delle 6 variabili (osservazioni sinottiche) in tutti i nodi.**
- Preliminarmente è necessario **interpolare i dati di osservazione** nei punti griglia **siccome la posizione delle stazioni sinottiche non coincide con i nodi griglia**: sugli oceani/mari (70% del globo) e sui deserti lo stato iniziale viene costruito indirettamente.
- **L'uso delle osservazioni satellitari permette degli aggiustamenti dello stato iniziale.**
- Tale operazione introduce degli errori nella descrizione dello stato iniziale dell'atmosfera.

- L'elaboratore, completata la definizione dello stato iniziale dell'atmosfera, **inizia la risoluzione numerica del complesso sistema di equazioni** attraverso un processo matematico che utilizza **derivate spaziali, differenze finite, modelli spettrali, analisi di Fourier e somme armoniche.**
- Il modello ECMWF tronca l'analisi di Fourier (una qualunque funzione periodica può essere vista come una somma di infinite "opportune" funzioni sinusoidali) alla 799-esima armonica.
- Il modello americano GFS impiega 190 armoniche.

- **Tale procedimento matematico consente di prevedere quale sarà lo stato in cui verrà a trovarsi l'atmosfera un certo numero di minuti dopo l'istante iniziale.**
- **Il procedimento viene iterato un numero di volte pari a quello necessario per coprire il periodo di validità della previsione.**
- **Nei modelli a grande scala elaborati presso i grandi centri mondiali si impiegano step temporali di circa 20 minuti.**

- Per una previsione di **10 giorni** sull'intero pianeta, con step temporale di **20 minuti**, i **120 milioni** circa di sistemi di equazioni debbono essere risolti **720 volte**.
- Il numero di operazioni richiesto al computer per una previsione di tale tipo è di circa **20000 miliardi di operazioni**.
- Il super computer in azione presso l'ECMWF impiega circa **3 ore**.

- Le previsioni elaborate con i modelli matematici, seppur basati su metodi rigorosamente scientifici, esprimono soltanto la **probabilità** del verificarsi dei fenomeni meteorologici e **non la certezza** che essi si manifestino.

Validità in giorni	Probabilità in %
1	>90
2-3	85-90
4-5	75-85
6-7	65-75
7-10	60-65

- **L'atmosfera è un sistema caotico**, ovvero il passaggio da uno stato all'altro non avviene in maniera continua e lineare, ma per salti bruschi.
- **Il caos** apparente di un sistema composto da un numero elevatissimo di moti sovrapposti, come è appunto l'atmosfera, **obbedisce a precise leggi, quelle del "caos deterministico"**.

Tutti i sistemi deterministici ma caotici, come appunto l'atmosfera, hanno il difetto di essere **molto sensibili alle condizioni iniziali**, una caratteristica nota come

“EFFETTO FARFALLA”

L'effetto farfalla fu scoperto nel 1963 dal fisico Lorentz:

- dopo aver provato un modello previsionale sulla base dei dati iniziali di pressione, vento, temperatura e umidità **decise di ripetere l'esperimento con valori iniziali appena diversi tralasciando i decimali oltre la terza cifra decimale (_effetto farfalla_)**.
- Contrariamente alle attese **le previsioni divergevano al passare del tempo**, fino a perdere ogni somiglianza.

Oggigiorno si ritiene che il limite di prevedibilità deterministico possa essere collocato intorno alle 2-3 settimane.

Il futuro della meteorologia sembra affidato ad altre promettenti tecniche:

PREVISIONI D'ENSEMBLE

Le previsioni di *ENSEMBLE*

consentono di ridurre l'incertezza intrinseca della previsione, dovuta alla sensibilità alle condizioni iniziali del modello, operando **una media degli output del modello stesso a partire da condizioni iniziali diverse** comprese all'interno dei loro limiti di approssimazione e/o troncamento.

In altre parole

- Lo stesso modello fisico-matematico viene fatto “girare” decine e decine di volte a partire, però, da **condizioni iniziali rese deliberatamente appena diverse.**
- Le previsioni così ottenute vengono poi raggruppate, in base al loro **grado di somiglianza**, in possibili scenari evolutivi

Le previsioni meteo si dividono a seconda dell'area geografica e dell'intervallo temporale di analisi.

A seconda della **dimensione dell'area considerata si dividono in ordine crescente in:**

- provinciali
- regionali
- nazionali
- continentali
- globali

A seconda **dell'intervallo temporale di analisi si distinguono previsioni:**

- now-casting (meno di 24 ore)
- a breve termine (24-72 ore)
- a medio termine (meno di una settimana)
- a lungo termine (da una a due settimane)
- stagionali, che si occupano di prevedere l'andamento generale dei fattori climatici piuttosto di fornire informazioni su singoli eventi.

Esiste però un'altra metodologia per generare una previsione di ensemble: **anziché variare (solo) la condizione iniziale, si può variare il modello, ovvero si possono utilizzare differenti modelli (ECMWF, AVN, MRF, NOGAPS, UKMO e JMA).**

In questo modo l'ensemble si basa sul fatto che ogni modello contiene una rappresentazione diversa delle leggi che governano l'atmosfera.

Un'opportuna media pesata dei modelli sembra essere in grado di ottimizzare la combinazione dei modelli e di fornire buoni risultati, poiché **tende ad eliminare errori casuali.**

Bibliografia / Sitografia

- Prevedere il tempo con internet- Giuliacci, Corazzon – Alpha Test
- [www.meteo .it](http://www.meteo.it)
- www.ecmwf.int
- <http://www.firenzemeteo.it/ensemble/ensemble.php>
- <http://www.centrometeoitaliano.it/tecnica-previsioni-ensemble-modelli/>