

Una sintesi di saperi per prevedere il tempo

- 1) **Breve storia della meteorologia moderna**
- 2) Sistemi osservativi anche in remote sensing
- 3) Supercomputer e modelli
- 4) L'atmosfera come sistema caotico e i modelli d'ensemble

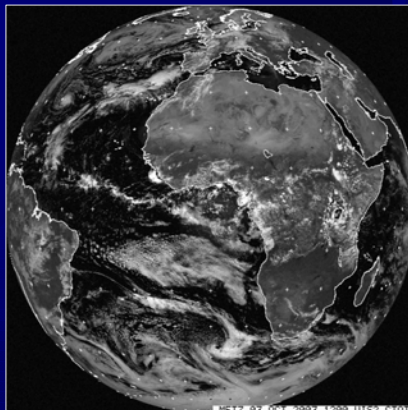


Vicenza, 20 ottobre 2005

Parte 1

Breve storia della meteorologia moderna

- Progressi della teoria di base
- Progressi nella comprensione teorica per approssimazioni
- Reti di osservazioni e scambio globale delle informazioni



Progressi della teoria di base

da Newton.....



a Bernoulli.....



a Joule.....



□ Le equazioni fondamentali comprendono:

- meccanica classica dei fluidi
- termodinamica classica

Non sono quindi soggette a sostanziali progressi

→ È sostanzialmente così da prima dei tempi di Richardson!!

Un sistema di equazioni differenziali con vari campi ed equazioni, la cui formulazione è variabile a seconda delle approssimazioni

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} = -f\hat{k} \times \mathbf{V} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \text{Fr}$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \text{Fr}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0$$

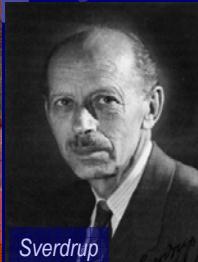
$$\frac{p}{\rho} = RT$$

$$C_p \frac{dT}{dt} - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} = Q$$

□ Le **forzanti esterne** al sistema atmosfera (idrosfera, sole, chimica, etc.) devono essere trattate a parte, secondo una loro dinamica e una modalità di interazione con l'atmosfera

che vanno comprese sempre meglio

→ Qui entrano in gioco direttamente i progressi di altre discipline.....



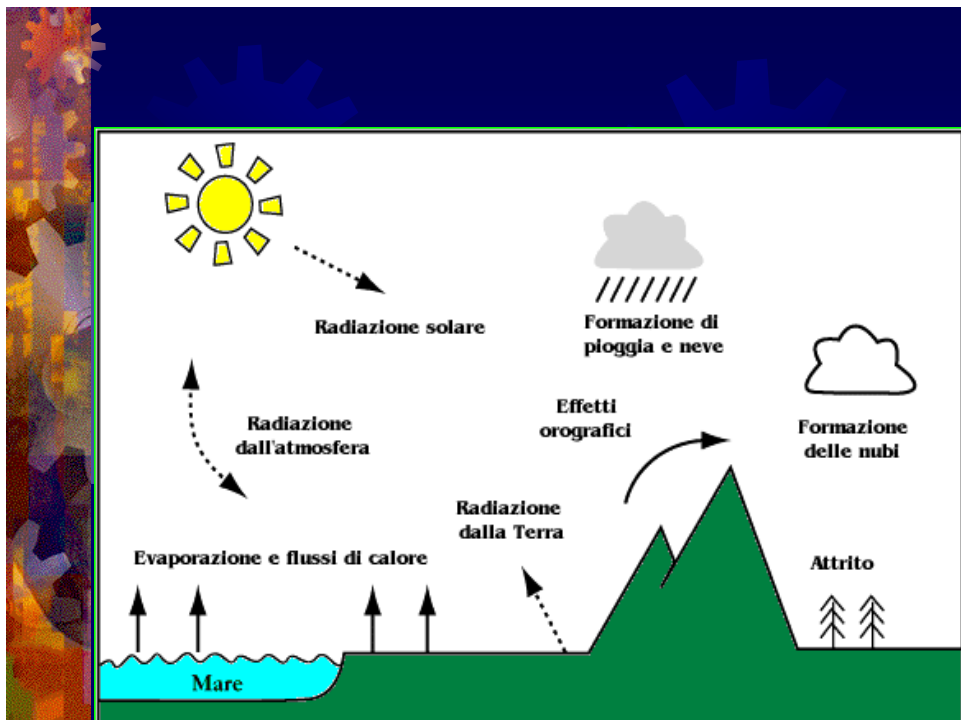
Interazione
atmosfera/
mare



Mutamenti
nella chimica
atmosferaica



Arrhenius



Progressi nella comprensione teorica per approssimazioni

- Il sistema differenziale delle equazioni fondamentali non si può risolvere esplicitamente, a meno che non si usino opportune approssimazioni:

la "meteorologia dinamica" considera le più istruttive e le più aderenti alla realtà osservata, a seconda del particolare fenomeno che si intende descrivere

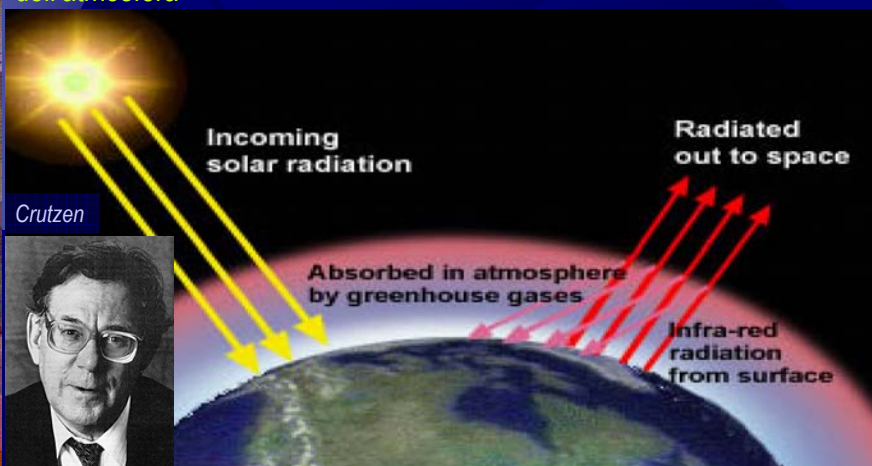
- In questo campo i progressi avvengono, più che per errori/aggiustamenti, per approssimazioni successive, che possono portare anche a nuove definizioni di parametri derivati



- La spiegazione delle forzanti esterne avanza

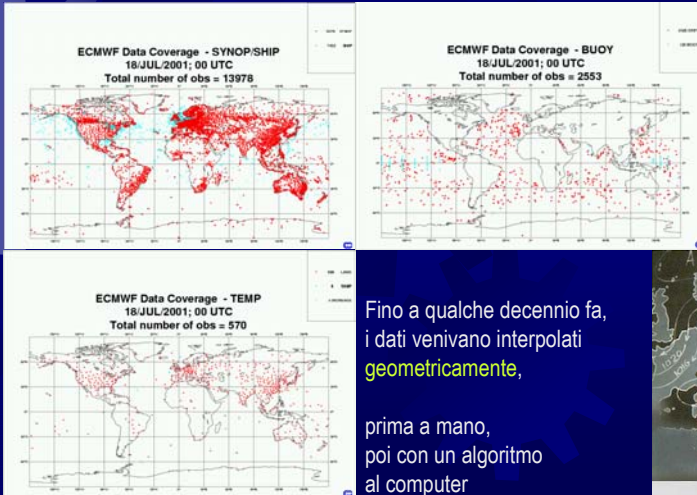
a mano a mano che si rilassano le approssimazioni necessarie

- progressi in fisica, chimica, etc.: esempio, bilancio radiativo dell'atmosfera

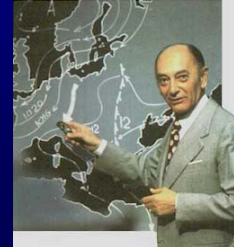


Reti di osservazioni e scambio globale delle informazioni

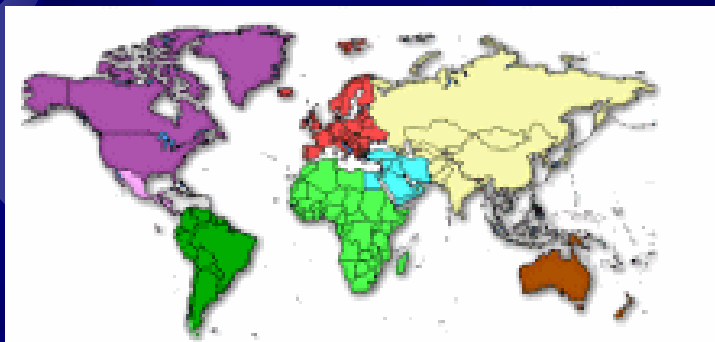
- Osservazioni contemporanee su diverse località:
trasmissione dei dati in **tempo utile** ai centri di elaborazione



Fino a qualche decennio fa,
i dati venivano interpolati
geometricamente,
prima a mano,
poi con un algoritmo
al computer



- Standardizzazione internazionale
dei metodi di misura ed elaborazione



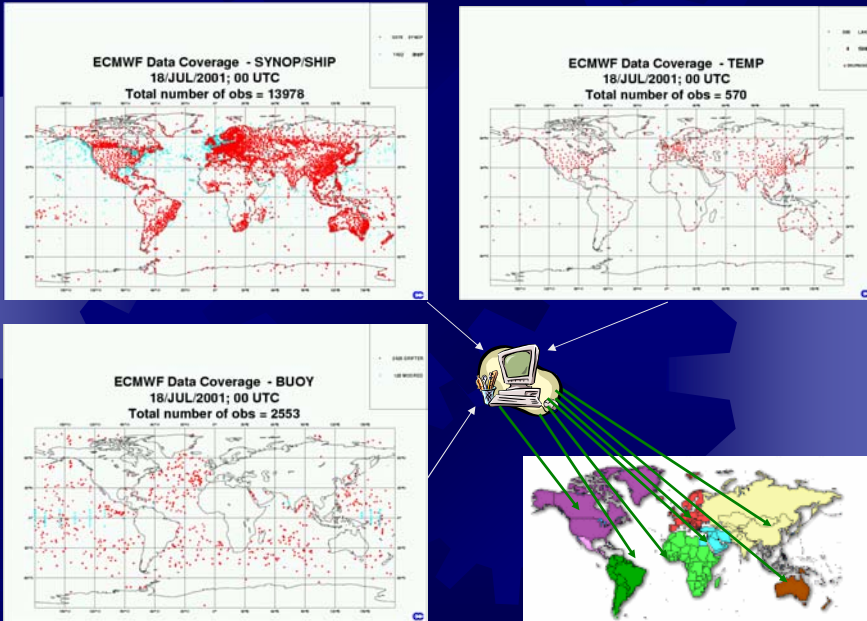
Parigi,
1873



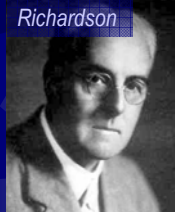
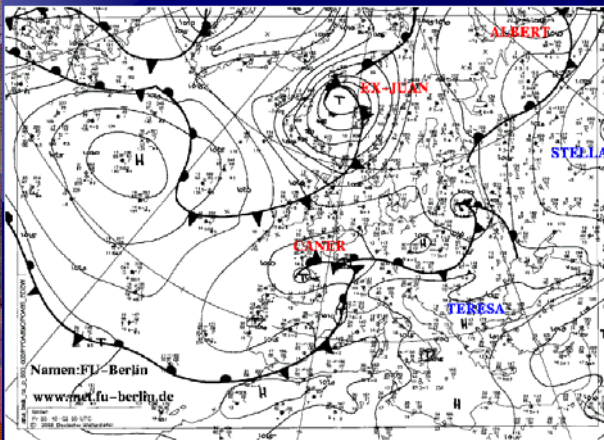
WMO



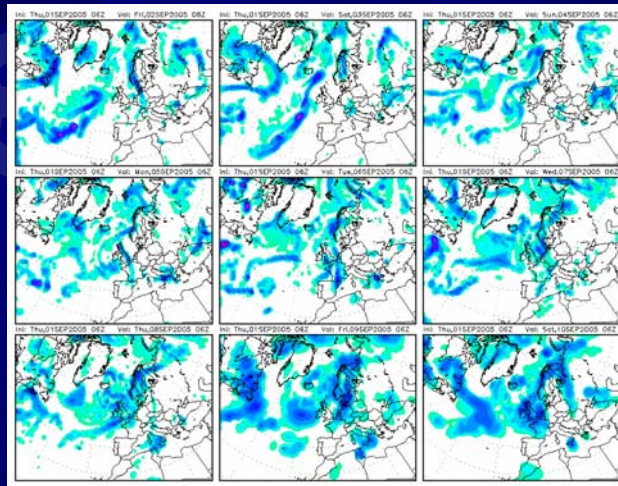
☐ Monitoraggio e comunicazione in tempo utile degli eventi atmosferici



☐ Interpolazione "fisica" (analisi) attraverso *modelli* che usano abbastanza dati in input e funzionano su sistemi abbastanza capaci di calcolo automatico



- Supporti internazionalmente riconosciuti alle previsioni, come **output nel futuro degli stessi modelli**



- Sviluppo continuo dell'attendibilità per le previsioni, come viatico per passare **dalla ricerca scientifica al servizio per le popolazioni**

METEO VENETO

Emesso dal Centro Meteorologico di Teso
Giovedì 01 settembre 2005 alle ore 13.00

VALICATA	METEO (P) IN ORE	SOLO (P) IN ORE	SOLO (T) IN ORE
BELLUNO (Carnario)	10 20 10 10	10 10	10 10
TREVISO (Lugana)	10 20 10 10	10 10	10 10
ROVERETO (Carnario)	10 20 10 10	10 10	10 10
VERONA (Seno di Polesina)	10 20 10 10	10 10	10 10
VIENNA (Mare)	10 20 10 10	10 10	10 10
VERONA (Cittadella)	10 20 10 10	10 10	10 10
VIENNA (Corno Viadrino)	10 20 10 10	10 10	10 10
VALICATA SOLO SOLO (S. GIUSEPPE) (S. GIUSEPPE) (S. GIUSEPPE)	10 20 10 10	10 10	10 10

CONCLUSIONE GENERALE: Fino alla prima parte di venerdì condizioni di tempo stabile, associate ad un frontone anticiclonico esteso sull'Europa dell'Africa nord-occidentale, in seguito sul lavoro affluente sovrano del bacino prealpino dai quadranti settentrionali, le quali salite apporrebbero una fase di instabilità.

TEMPO PREVISTO: FINO ALLE 24 ORE: cielo sereno o poco nuvoloso in pianura e parzialmente nuvoloso in montagna, con fine di fatto pomeriggi le serate possibili locali pioggerie a brevi rovesci.

VENERDÌ: al mattino ovunque cielo sereno o poco nuvoloso. Dalle ore centrali la zona settentrionale e postmeridionale nuvolosità cumulativa in generale sviluppo specie tra il tardo pomeriggio e la prima parte della sera, quando saranno più probabili breviscure sparse a brevi temporali, alcune volte in prevalenza poco rovescio. Probabilità di precipitazione: senza (00%) in montagna; maggior gradatamente fino a medio-alta (50-70%) in montagna, media (40-50%) sulle zone padovane e a fine medio-bassa (20-30%) sulle zone venete.

Temperature: massima in fase aumento in pianura ed in fase calo in montagna, minima senza variazioni di rilievo.

Venti: in montagna (sopra i 1000 m): deboli nord-occidentali. Altrve: deboli variabili. Stato del mare: calmo o poco mosso.

Elementi particolari: temperature superiori alla norma.

SAVEDRA: nuvolosità irregolare alternata a zone di sereno, specie in pianura. Probabilità, in particolare durante le ore centrali ed in montagna, di precipitazioni sparse a zone debite carattere di rovescio o temporale. Temperature: massimo in pianura, più marcata in montagna, minime in fase calo e raggiunte in serata.

DOBERDO: tempo non rovescio a pioggia di intensità annuvolata ed occasionali breviscure in montagna, con episodi di fiore qualche rovescio o rovescio. Temperature: maxime in fase aumento, minime in ulteriore leggero calo.

ArpaV - Servizio Meteorologico Regionale Veneto - Via S. Maria della Salute, 10 - 31044 Montebelluna (TV) - Tel. 0422/450001 - Fax 0422/450002
 Servizio Meteorologico Regionale Veneto - Via S. Maria della Salute, 10 - 31044 Montebelluna (TV) - Tel. 0422/450001 - Fax 0422/450002
 Servizio Meteorologico Regionale Veneto - Via S. Maria della Salute, 10 - 31044 Montebelluna (TV) - Tel. 0422/450001 - Fax 0422/450002

TIROS 1, 1958-1960



Meteosat 1, 1972-1977



□ Sviluppo di costosi e complessi sistemi osservativi



□ La storia delle scienze dell'atmosfera nel '900 è pesantemente condizionata da decisioni politiche

- per molti anni le risorse e lo sviluppo, a partire da quello dell'informatica, sono stati appannaggio del mondo militare

Inizio della "guerra fredda"

- in alcuni Paesi (tra cui l'Italia) tutto ciò è stato più marcato anche per salvaguardare le prerogative di alcuni enti pubblici

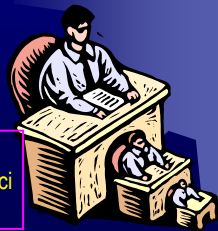


Università ed enti di ricerca

Servizi Meteorologici Regionali



1992 e leggi successive



“Ingegneria” del tempo

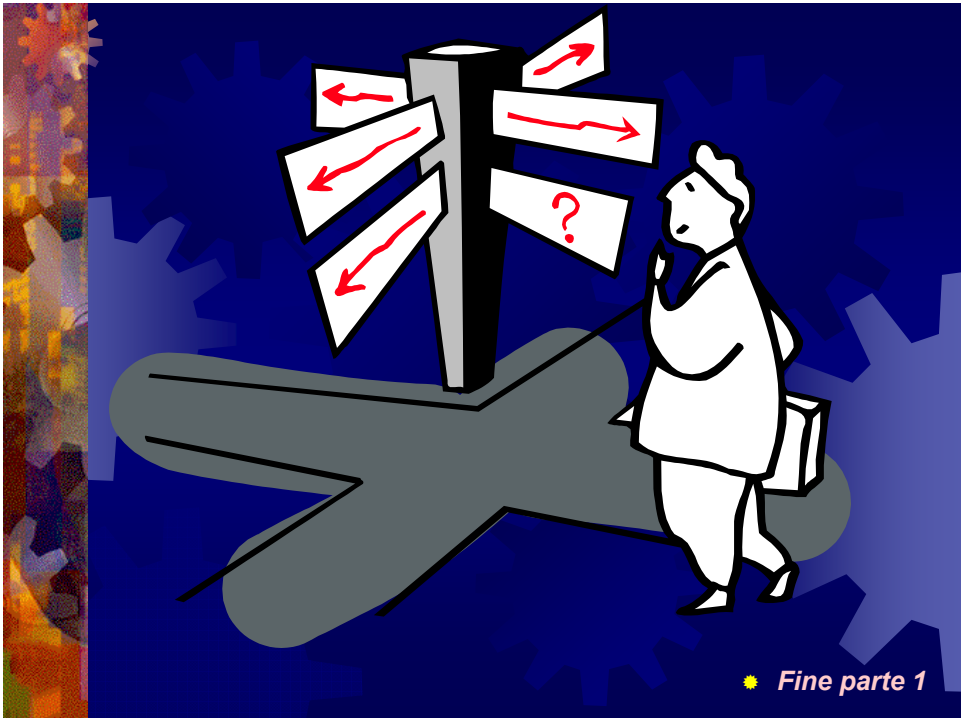


Si riescono a generare localmente singoli fenomeni.....



Fino ad una certa scala.....

Ma non ancora fenomeni più complessi o più grandi, come i temporali.....



Una sintesi di saperi per prevedere il tempo

- 1) Breve storia della meteorologia moderna
- 2) Sistemi osservativi anche in remote sensing
- 3) Supercomputer e modelli
- 4) L'atmosfera come sistema caotico e i modelli d'ensemble



Vicenza, 20 ottobre 2005

Parte 2

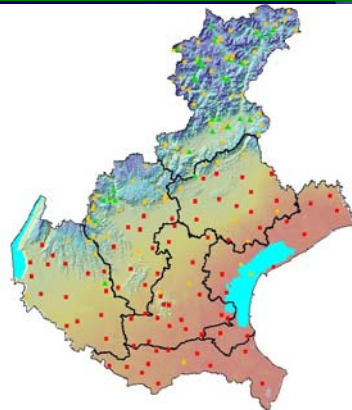
Sistemi osservativi anche in remote sensing



"in situ"
sono le **misure** rispetto ai **sensori**,
"remote"
sono la **misure** rispetto ai **centri di elaborazione**

Rete di telemisura
tra stazioni tradizionali:

sensori in situ
per misure in loco;
dati elaborati
soprattutto in remoto



Esempi di altri strumenti, in dotazione ai centri meteo locali:

sensori *in situ*

ma per misure anche lontano dal luogo d'installazione;
dati elaborati in remoto e in locale

"in situ"

è al più una delle misure rispetto ai sensori,
"remote"
sono tutte le altre



Per altri strumenti sono necessari sforzi maggiori, per cui se ne occupano grandi Centri e progetti internazionali:

sensori che agiscono anche *in remoto*,
che trasmettono le misure effettuate;
dati elaborati soprattutto in remoto

"in situ"

è una prima elaborazione dei dati rispetto ai sensori,
"remote"

è tutto il resto almeno rispetto ai centri di
elaborazione



Propriamente, "remote sensing" dovrebbe indicare in generale la distanza tra sensore e luogo cui si riferisce la misura, non tra sensore e centro di elaborazione.

In questo modo, una rete di telemisura di stazioni tradizionali, pur elaborando in remoto i dati, non sarebbe un sistema osservativo in remote sensing

In un modo o nell'altro, lo sarebbero invece gli altri sistemi osservativi di cui sopra

In altre scienze della Terra e/o in senso più stretto, "remote sensing" è quello effettuato da più lontano, ovvero i rilevamenti da satellite

Come funziona.....

.....un radar meteorologico:

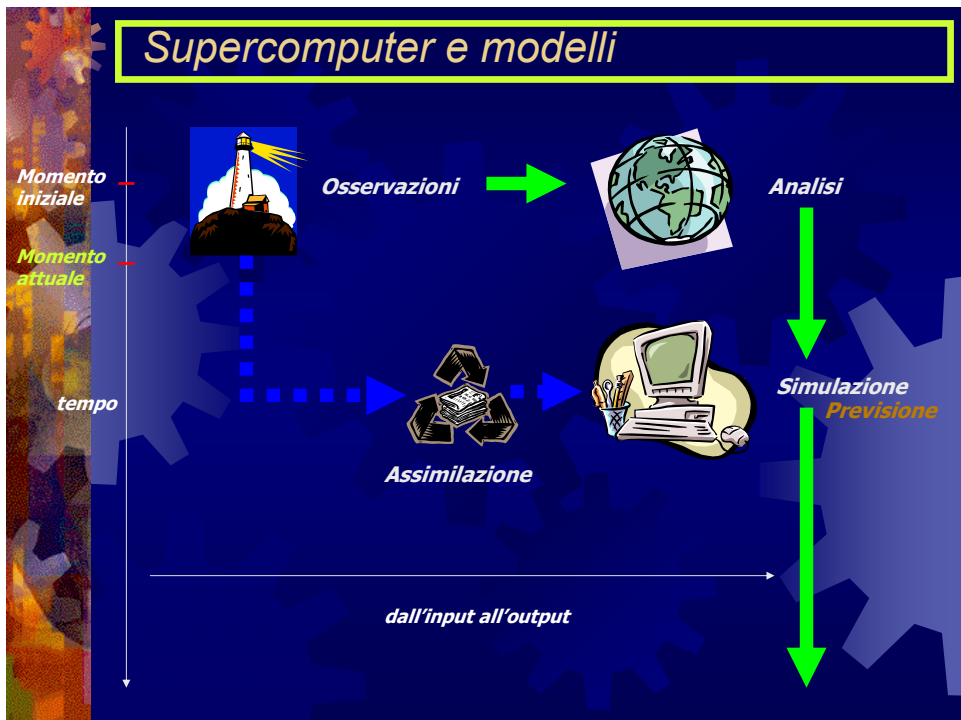
- Emette onde e.m, che vengono riflesse dalle idrometeore (più o meno, a seconda delle dimensioni dell'aggregato o dell'eventuale presenza di ghiaccio)
→si vede dove piove, nevicata, grandinata o ci sono "grosse" particelle d'acqua liquida o solida in sospensione
- Se è un radar Doppler, permette di stimare la distribuzione delle velocità con cui si muovono le idrometeore rispetto all'antenna
→si vede una delle due componenti del vento, purchè ci siano idrometeore riflettenti: quella radiale

Come funziona.....

.....un satellite meteorologico:

- *Orbita geostazionaria o no*
→ Nel primo caso vede sempre la stessa area
- *Riceve la radiazione emessa dal pianeta e ne trasmette l'informazione a terra (diverse informazioni per diverse frequenze)*
→ ad esempio
 - nel visibile si vedono semplicemente le nubi dall'alto di giorno
 - nell'infrarosso si vede la temperatura al top delle nubi, dunque se ne stima l'altezza
 - nel "vapor d'acqua" si stima il contenuto d'acqua su tutta la colonna d'aria

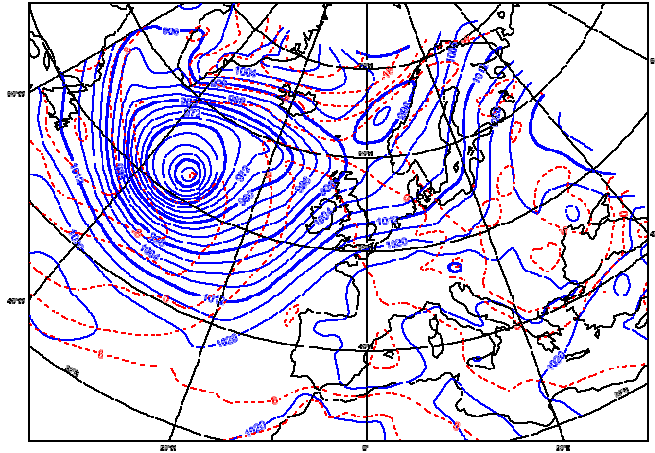
Supercomputer e modelli



Analisi:

Il modello interpola tra osservazioni per stimare i campi meteorologici anche dove non si abbiano osservazioni

ROME Analysis VT:Domenica 9 Marzo 2003 00UTC
Pressione al suolo + Temperatura 850 hPa



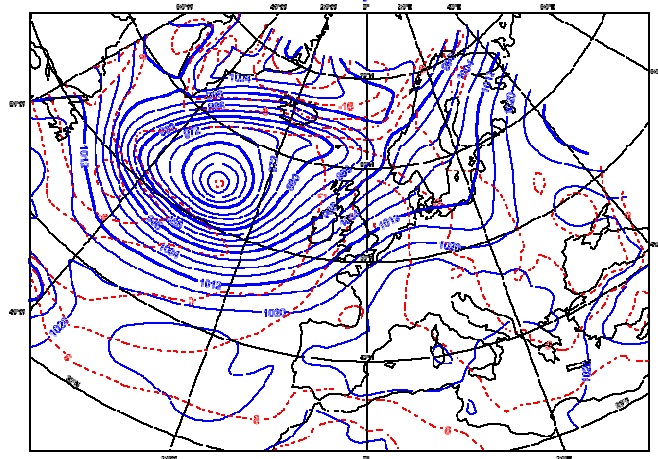
Simulazione:

Il modello estrapola nel tempo anche dopo il momento delle osservazioni

“previsione”

se estrapola nel futuro rispetto ad un momento convenzionalmente detto “attuale”

Domenica 9 Marzo 2003 00UTC ROME Forecast t+12 VT: Domenica 9 Marzo 2003 12UTC
Pressione al suolo + Temperatura 850 hPa



Riduzione al calcolo numerico

Dato di fatto: i calcoli al computer sono fatti in **logica binaria** (acceso/spento)

1) Le variabili indipendenti (le coordinate) invece sono in natura **continue**

Rimedio: **discretizzazione**

2) Le **equazioni differenziali** operano ulteriori passaggi al limite del continuo, anche per le variabili dipendenti

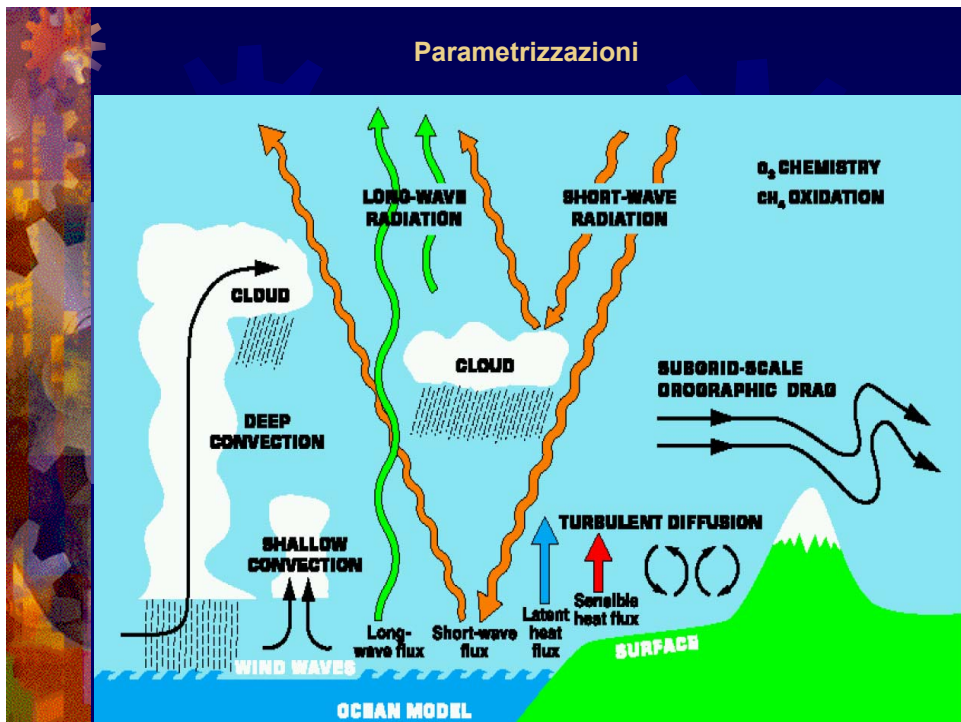
Rimedio: **differenze finite e/o schemi analoghi**

3) I sistemi dinamici in questione quasi mai hanno **soluzione esatta**

Rimedio: **schemi di risoluzione numerica**

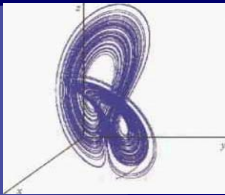
Quasi mai è rilevante l'errore di approssimazione nella rappresentazione dei campi in output a un numero fissato di cifre

Parametrizzazioni



L'atmosfera come sistema caotico e i modelli d'ensemble

Dalla dinamica non lineare al caos deterministico



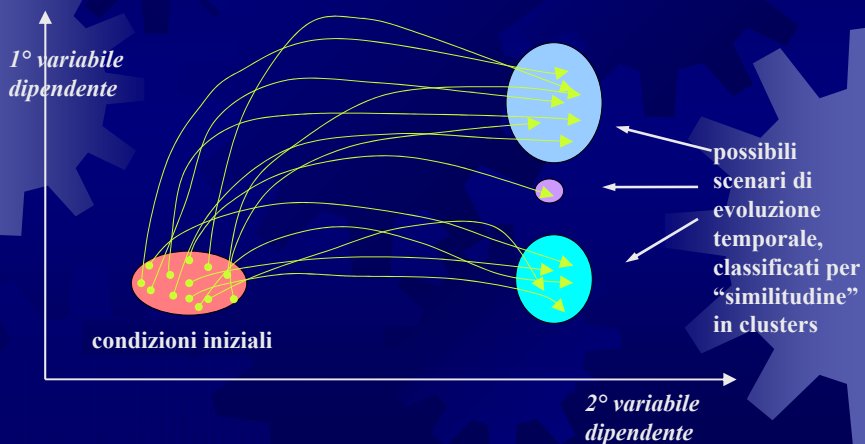
Se la dinamica fosse lineare, le varie componenti del moto sarebbero indipendenti; il sistema differenziale sarebbe risolto esattamente, con una certa combinazione lineare di tali componenti per ogni set di condizioni in input.

Con la non linearità, si pone il problema della *propagazione degli errori in input*.

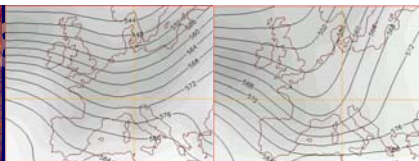
In molti sistemi, detti caotici, l'evoluzione deterministica è prevedibile, seppur non esplicitamente, ma a partire da condizioni simili si ha una distribuzione casuale di scenari.

→ Diventa necessario passare da un approccio deterministico ad uno probabilistico, perché l'atmosfera è un sistema caotico e non si hanno in input condizioni "esatte"

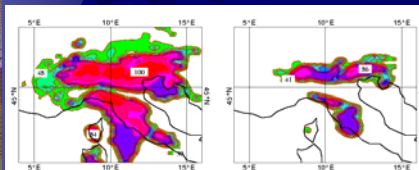
Spazio delle fasi semplificato



1. Le osservazioni sono poche rispetto alla complessità dell'atmosfera, oltre ad essere di per sé soggette ad errori
→ C'è, nella realtà, una data varianza delle condizioni iniziali
2. Si può simulare anche tale varianza iniziale, e vedere come si distribuiscono di conseguenza gli scenari successivi
→ Si genera un "ensemble" di simulazioni, che a sua volta dà informazioni a partire dai suoi parametri statistici
3. Per questioni di risorse di calcolo, ogni simulazione è meno accurata di quella (UNICA) usata operativamente
→ La simulazione "operativa" in genere si distingue da quella "di controllo" (rispetto a cui si variano le condizioni iniziali), oltre che dalle altre simulazioni dell'ensemble e dalle loro media, moda, mediana.....

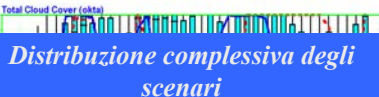


*Confronto tra clusters
(a parità di campo rappresentato)*

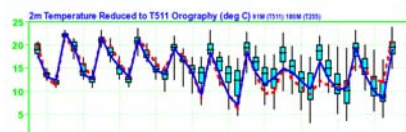
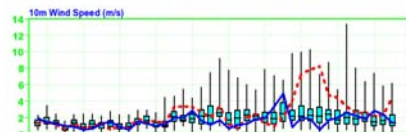
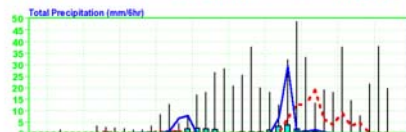


Fissato un campo e una classificazione dei suoi possibili valori, ogni classe ha la sua probabilità, sia nell'intero ensemble che in ciascun cluster:
ad esempio, si stimano su Vicenza
al 90% oltre 10 mm/24h,
al 40% oltre 50 mm/24h

EPS Meteogram
Teolo 45.3° N 11.2° E
Deterministic Forecasts and EPS Distribution 25 September 2005 12 UTC



Distribuzione complessiva degli scenari



MON 26 TUE 27 WED 28 THU 29 FRI 30 SAT 1 SUN 2 MON 3 TUE 4 WED 5
SEPTEMBER 2005 OCTOBER
● 10m Wind Speed ● 2m Temperature

Possibile uso delle previsioni d'ensemble:

si stima una risposta accettabile al *meteorologo* che chiede

- QUANTO ci si può fidare delle previsioni "operative"?
- COME potrebbe verosimilmente cambiare la previsione?

..... e al *climatologo* che chiede

-COSA SUCCEDEREBBE O SAREBBE SUCCESSO con altre condizioni reali dell'atmosfera (non solo propagando una varianza iniziale fittizia agli scenari futuri)?

-Cosa succederà A LUNGA SCADENZA (purchè la previsione sia resa opportunamente vaga secondo dei criteri quantitativi di attendibilità su base statistica)?

→ Insomma, una guida per essere precisi nell'affermare proprio ciò che dovrebbe permetterci di essere attendibili

