



**Resoconto sulla “CISM Summer School: The Fluid  
Dynamic of Climate”  
Udine 26–30 agosto 2013**

**Agostino Manzato**

ARPA – Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente del FVG,  
S.O.C. OSMER – Osservatorio Meteorologico Regionale, Visco (UD), Italy

---

## **1 Introduzione**

Vista la vicinanza geografica e grazie anche alla quota d’iscrizione ridotta, ho potuto partecipare al corso organizzato dal prof. Antonello Provenzale (ISAC–CNR Torino) e dal prof. Klaus Fraedrich (Max Planck Institute e Univ. Hamburg) sulla dinamica del clima, che si è svolto al CISM (Centre International des Sciences Mécaniques) di Udine. Il sito di riferimento della scuola è:

<http://www.cism.it/courses/C1309/>

dove è possibile vedere il programma dettagliato.

I partecipanti sono stati 31 (più sei docenti), con una folta partecipazione di Italiani, Ungheresi, Francesi e Olandesi, seguiti da altri Europei, anche se non mancavano studenti venuti da Egitto, Israele e Messico.

L'argomento di questa scuola non mi era molto familiare e per questo ho fatto difficoltà a seguire tutto il corso, ma mi pare che il livello delle lezioni a volte fosse così alto che erano in pochi a poter capire sempre tutto. Il focus principale era lo studio della dinamica applicata ai fluidi, atmosfera e oceani in primis, ma anche la descrizione dei principali fenomeni climatologici (ENSO, NAO, AMO,...) visti come "attrattori" delle orbite del sistema dinamico atmosfera-oceano.

Riporto di seguito solo alcune idee che mi hanno più colpito.

## 2 Michael Ghil

ghil@lmd.ens.fr,

Ecole Normale Supérieure, Parigi e Univ. California UCLA, USA

<http://www.atmos.ucla.edu/tcd/GHIL/>

A causa dell'assenza di Kerry Emanuel (MIT, USA), che non ha potuto venire per gravi motivi familiari, Ghil è stata la star indiscussa del corso, anche perché ha al suo attivo più di 300 articoli scientifici (incluso su Science e Nature) e scritto sei libri.

Ha parlato di diversi argomenti, ma mi pare che il messaggio più ricorrente sia stato quello di pensare il clima come un sistema dinamico descritto da equazioni differenziali, delle quali molto spesso è meglio cercare di risolvere matematicamente versioni molto semplificate piuttosto che affidarsi esclusivamente nell'interpretazione di modelli climatologici molto complessi e fortemente dipendenti dalle parametrizzazioni (dice che i modelli climatologici hanno un centinaio di parametri di tuning, di cui circa una trentina molto influenti sui risultati finali). Facendo esempi di equazioni differenziali tipiche dei sistemi climatici ha introdotto i concetti di biforcazione nello spazio delle fasi, di equilibri multipli, di stabilità non-lineare, di bi-stabilità (isteresi nello spazio delle fasi) e altri concetti matematici che spiegano sia la periodicità dei fenomeni climatici, sia la variazione di tale periodicità (internal variability del sistema dinamico). In quest'ottica "dinamica" i diversi regimi climatici non sono altro che le soluzioni delle equazioni (attrattori nello spazio delle fasi).

Dal punto di vista pratico ha invitato tutti a usare la Singular Spectral Analysis invece che lo studio dei trend di una serie climatica e in particolare ha pubblicizzato il software gratuito SSA-MTM Toolkit, disponibile presso:

<http://www.atmos.ucla.edu/tcd/ssa/>

e mantenuto da Dmitri Kondrashov. Questo software è molto adatto allo studio di serie temporali con dati rumorosi e dovrebbe permettere anche di ricostruire dati mancanti partendo dallo spettro di potenza della serie. Lo studio dello spettro è

molto più consigliato di quello dei trend della media mobile della serie e se proprio uno vuol guardare i momenti, bisogna che non si limiti ai primi (media e deviazione standard), ma che almeno studi anche skewness e kurtosis.

### 3 Henk A. Dijkstra

h.a.dijkstra@uu.nl,

University of Utrecht, Olanda

<http://www.staff.science.uu.nl/~dijks101/>

Pur sembrando giovane, ha al suo attivo circa 180 articoli scientifici, scritti in meno di 20 anni. Ha appena pubblicato il libro “Nonlinear Climate Dynamics” (2013, Cambridge University Press), che forse varrebbe la pena prendere per la nostra biblioteca.

Come Ghil, anche Dijkstra è un matematico prestatato alle “scienze della terra” e ci tiene ancor di più a far risolvere agli studenti le equazioni differenziali che rappresentano le soluzioni dei sistemi climatici “semplificati”. Uno di questi sistemi rappresentava l’ENSO (periodicità tra Niño e Niña), che si può semplificare in questo modo: un’anomalia calda dell’oceano crea una bassa pressione nei bassi strati dell’atmosfera che richiama convergenza dei venti. Questa convergenza si somma sul lato ovest col vento sinottico che soffia da est. Il vento rafforzato a ovest genera una spinta dell’oceano che produce una variazione (inclinazione con la longitudine) del termocline, che si abbassa a ovest e si innalza a est, creando un upwelling (acqua fredda che dalle profondità sale su) sotto la zona dell’anomalia iniziale, che così viene lentamente rimossa. Quindi il Niño è la risposta dell’oceano, con una corrente calda da ovest verso est, ad uno stimolo dei venti atmosferici rafforzati da un’anomalia calda iniziale. Scrivendo le equazioni di questo sistema dinamico idealizzato si trova come soluzione un’onda di Kelvin che si propaga nell’oceano Pacifico da ovest verso est, accompagnata da delle onde di Rossby che ritornano in direzione opposta più a sud e a nord. Per approfondimenti vedi Dijkstra 2006: *The ENSO phenomenon: theory and mechanisms*, Adv. Geosciences **6**, 3–15.

Mostrando anche altri problemi “climatologici” ha approfondito lo studio delle equazioni differenziali e in particolare delle biforcazioni nello spazio delle fasi (salto di regime climatico) che possono essere di diverso tipo: transcriticali, pitch-fork, Hopf e Saddle-node e come questi salti di regime possano essere indotti dalla “risonanza stocastica”.

### 4 Antonello Provenzale

a.provenzale@isac.cnr.it

ISAC–CNR Torino

<http://www.to.isac.cnr.it/ap>

La cosa che più mi ha colpito delle sue lezioni è l’evidenza empirica che dopo un

fenomeno atmosferico come il passaggio di un temporale l'umidità relativa dell'atmosfera tende a conservarsi su grande scala, ovvero ad un calo del mixing ratio corrisponde un calo di temperatura per conservare il valore di umidità relativa. In qualche modo questo potrebbe influire anche nel riscaldamento globale (con un aumento del mixing ratio totale per conservare RH). Di primo acchito il riscaldamento globale farebbe supporre una maggior evaporazione e quindi un aumento netto anche delle precipitazioni, ma in generale questo non viene osservato nelle analisi accurate delle serie storiche di pioggia.

Ha parlato dell'importanza dell'evaporazione del terreno (i primi 10 cm) e della traspirazione delle piante, nonché dell'aerosol (presente anche nell'Himalaya) e dell'albedo (sia delle nubi che dei terreni) come elementi importanti ma non ben descritti nei modelli climatologici, che potrebbero spiegare perché non si osserva quell'aumento di precipitazione previsto dai modelli climatologici in questi anni recenti. Un paradosso che mi ha colpito è il caso in cui se c'è siccità si bagnano tanto le colture che continuano a essere vigorose mantenendo un albedo basso (non come nelle regioni aride) e questo favorisce la ritenuta di umidità nel terreno e il prolungarsi del periodo di siccità, rispetto al caso in cui le colture si sarebbero seccate facendo evaporare tutta l'acqua del terreno e alzando l'albedo (cose che dovrebbero favorire la convezione e quindi la formazione di pioggia). Questo sarebbe un esempio di come l'uomo possa modificare il clima a scala locale. Infine ha mostrato modelli matematici semplificati per descrivere albedo, evapotraspirazione e fluidodinamica applicati allo studio dell'atmosfera di altri pianeti, in modo da poterne caratterizzare i diversi regimi climatici.

Anche lui ha sottolineato come le serie temporali vadano studiate in termini di spettro (con pendenze tipiche -3 o -5/3) nel tempo o nella frequenza o nello spazio o infine come coefficienti di autocorrelazione per i diversi time-lag e come da questo studio si possano costruire algoritmi di downscaling statistico del campo di pioggia previsto dai modelli globali a risoluzioni spaziali molto più alte (magari costruendo da un run deterministico del GCM un ensemble statistico a risoluzione maggiore), per trasformare non-linearmente la distribuzione di probabilità delle piogge del modello in una distribuzione più simile a quella storica delle osservazioni. Esempi che andrebbero approfonditi si trovano nei seguenti articoli:

Rebora, Ferraris, von Hardenberg, Provenzale, 2006: *RainFARM: Rainfall Downscaling by a Filtered Autoregressive Model*, J. Hydrometeorol **7**, 724–738.

Metta, von Hardenberg, Ferraris, Rebora, e Provenzale, 2009: *Precipitation Nowcasting by a Spectral-Based Nonlinear Stochastic Model*, Journal of Hydrometeorology **10**, 1285–1297.

Brussolo, von Hardenberg e Rebora, 2009: *Stochastic versus Dynamical Downscaling of Ensemble Precipitation Forecasts*, J. Hydrometeorology **10**, 1051–1061.

Rebora e Silvestro, 2012: *PhaSt: Stochastic Phase-Diffusion Model for Ensemble Rainfall Nowcasting*, IAHS Red Book series, vol. **351**, 305–310.

## 5 Klaus Fraedrich

klaus.fraedrich@zmaw.de

Max Planck Institute e Univ. Hamburg, DE

<http://www.mi.uni-hamburg.de/Prof-Klaus-Fraedrich.266.0.html>

Anche il prof. Fraedrich è un “pezzo da 90”, con all’attivo più di 200 pubblicazioni scientifiche e una decina di libri. Sinceramente, tra tutti i relatori è quello che mi è parso più teorico e spesso non riuscivo a capire di cosa stesse parlando. L’ho sentito nominare che le soluzioni dei sistemi dinamici associate agli esponenti di Lyapunov negativi dovrebbero essere le più predicibili, mentre quelli positivi e alti dovrebbero esser i più caotici.

Le parti che ho capito meglio sono quando ha parlato di un metodo per generare serie sintetiche di dati basato su un bootstrap del metodo dell’analogo e del software gratuito che hanno sviluppato per questo, chiamato STAR e descritto in: Orłowsky, Gerstengarbe, e Werner, 2008: *A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM*, Theor. Appl. Climatol. **92**, 209–223.

Come nota di colore aggiungo che uno dei migliori ricercatori italiani di cui ho mai sentito parlare (Valerio Lucarini) lavora nello stesso gruppo all’università di Hamburg (vedi ad es. il progetto NAMASTE

[http://www.mi.uni-hamburg.de/fileadmin/files/forschung/theomet/docs/pdf\\_2012/2012-NAMASTE\\_flyer.pdf](http://www.mi.uni-hamburg.de/fileadmin/files/forschung/theomet/docs/pdf_2012/2012-NAMASTE_flyer.pdf)).

## 6 Claudia Pasquero

claudia.pasquero@unimib.it

Università di Milano Bicocca, ex Univ. Irvine, USA

<http://www.ess.uci.edu/~cpasquer/>

Si occupa di interazioni oceano–atmosfera e in particolare di convezione negli oceani. Ha avuto l’ingrato compito di sostituire Kerry Emanuel, nonostante fosse all’ottavo mese di gravidanza. Partendo dalle equazioni del riscaldamento radiativo ha introdotto l’equilibrio convettivo–radiativo, che è “un buon punto di partenza” per studiare l’atmosfera nei tropici (non alle medie latitudini dove domina l’instabilità baroclina). In questo approccio la convezione è la risposta dell’atmosfera alla generazione di instabilità generata dal riscaldamento solare. Ha enfatizzato come i gas (come il vapore) possano risuonare emettendo più energia di quanta ricevono dal sole e quindi riscaldando l’aria circostante. Nell’equilibrio radiativo-convettivo questa energia in più sarebbe bilanciata dal flusso di calore latente e sensibile associato alle nubi convettive, che portano calore dei bassi strati in alto.

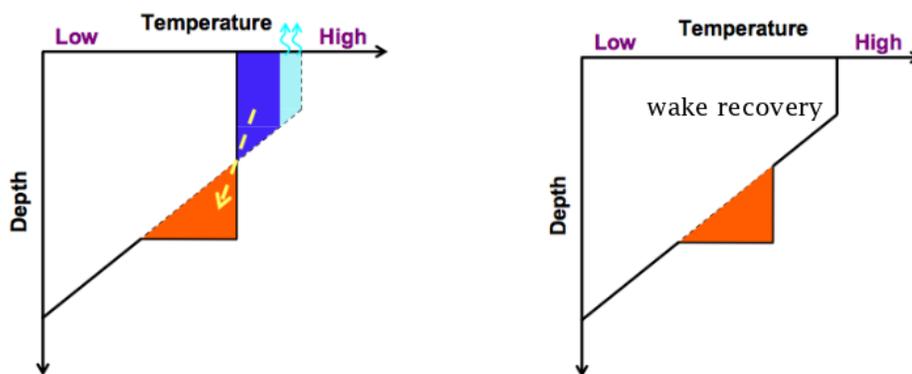
Per lo stesso principio, delle zone caratterizzate da un forte gradiente orizzontale di umidità portano a creare naturalmente anche un gradiente termico: la zona con più vapore si riscalda per irraggiamento e la colonna sotto si riscalda per effetto serra, favorendo i moti verticali e la convergenza al suolo; mentre sotto sotto la

zona secca vengono favoriti i moti discendenti e la diffluenza. In questo modo si forma un “roll”, che potrebbe avere un gioco nel triggering dei temporali anche da noi. Questo fenomeno però si interrompe quando il vapore condensa, perché mentre il vapor acqueo è un gas serra, le goccioline d’acqua (come tutti gli aerosol) tendono ad assorbire il calore e raffreddare l’aria.

Poi ha parlato del clustering dei cumuli in strutture più grandi citando anche gli articoli di Parodi, Emanuel e Provenzale, 2003: *Plume patterns in radiative–convective flows*, *New Journal of Physics* **5**, e di Berlingiero, Emanuel, von Hardenberg, Provenzale e Spiegel, 2012: *Internally cooled convection: A fillip for Philip*, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat.* **17**, 1998–2007.

Infine ha parlato dei cicloni tropicali (e dei loro casi più intensi, che si chiamano uragani, di livello da 1 a 5), che non sembrano aumentare di frequenza negli ultimi anni, come invece viene previsto dai modelli climatologici (in realtà si nota un piccolo aumento di frequenza delle due classi più intense di uragani –4 e 5–, ma il segnale è statisticamente debole per la scarsa popolazione). Una proposta interessante che ha fatto è che il passaggio di un uragano sull’oceano di primo acchito può sembrare un raffreddamento dell’oceano, ma in realtà se andiamo a vedere in profondità il termocline che prima era inclinato (retta tratteggiata nella figura a destra) poi assume una forma a scalino (similmente a quando passa un fronte freddo nel PBL) in cui si può notare che c’è stata una trasmissione di calore nella parte più bassa (es. a 100 m sotto la superficie dell’oceano). Dopo 2–3 mesi (figura a destra) l’anomalia fredda di temperatura nella parte più alta viene dissipata, mentre quella calda in profondità rimane.

By assuming that the cold anomaly disappears and the warm anomaly entirely survives, Emanuel (2001) estimated a net global rate of heat input into the ocean due to the tropical cyclones of 1.4 PW.



Tutto ciò porta a un riscaldamento netto dell’oceano, nonostante la SST dopo il passaggio dell’uragano cali molto. Tutto questo accumulo di calore negli oceani a causa degli uragani secondo la Pasquero potrebbe spiegare il trend di riscaldamento medio dell’oceano che si osserva e di cui non si sa spiegare l’origine, ma gli altri non erano molto d’accordo.

A parte questo legame col riscaldamento globale dell’oceano, le ho chiesto se

un effetto simile di accumulo di calore nel mare si potrebbe verificare anche nell'Adriatico a seguito dei forti episodi di bora, che rovesciano il termoclino e spingono calore in profondità e lei mi ha risposto che se l'Adriatico è sufficientemente stratificato (termoclino inclinato) secondo lei sarebbe possibile. In tal caso, si potrebbe cercare un legame tra il numero di episodi forti di bora in inverno e primavera e il numero di temporali forti nell'estate successiva, a causa di un maggior calore accumulato da tutto il mare.

## 7 Annalisa Bracco

annalisa@eas.gatech.edu

Georgia Tech Univ, USA

<http://www.o3d.org/abracco/>

È un'oceanografa, che ha studiato molto i modelli oceanografici e accoppiati trovando dei problemi (come ad esempio una non buona rappresentazione degli eddy che trasportano l'energia dalla superficie in profondità e una forte dipendenza dalle parametrizzazioni). L'evidenza del riscaldamento medio dell'oceano (vedi Balmaseda, Trenberth, Källén, 2013: *Distinctive climate signals in reanalysis of global ocean heat content*, Geophysical Research Letters **40**, 1754–1759, che studia il riscaldamento sotto 700 m negli ultimi 50 anni) non è stata ancora spiegata dai modelli accoppiati attuali.

Poi ha fatto uno studio sulla sensibilità di modelli climatici “semplificati” (tipo Speedy dell'ICTP) ad alcuni parametri (5 parametri variati a coppie) e ha trovato che la variabilità interna dei risultati al variare dei parametri è altissima e questo sembra indicare che i diversi risultati dei modelli sono più l'effetto di un diverso tuning dei molti parametri che non una differenza nella “fisica” dei modelli. Per questo motivo secondo lei non ha nessun senso fare la media degli output di diversi modelli (come si fa con l'ensemble mean di un sistema multi-model), che in realtà sono diversi solo nel tuning dei parametri. Per approfondimenti vedi: Neelin, Bracco, Luo, McWilliams e Meyerson, 2010: *Considerations for parameter optimization and sensitivity in climate models*, Proc. Nat. Acad. Science.

## 8 Conclusioni

Questa scuola per me è stata abbastanza difficile, sia per l'elevato livello di tutti i docenti che per le materie trattate (in particolare la dinamica dei sistemi complessi). Nonostante questo ho potuto cogliere alcuni stimoli che mi piacerebbe poter applicare nel nostro lavoro e in particolare l'uso dell'analisi spettrale delle serie, il downscaling statistico delle piogge previste da GCM, la possibilità i gradienti orizzontali di vapore siano associati al trigger dei temporali (es. di calore) e infine la relazione tra la possibile anomalia calda dell'Adriatico d'estate e gli episodi di bora di qualche mese prima.

A parte questo, ho avuto l'impressione che il mondo della climatologia e i modelli climatologici in particolare non siano poi così affidabili come si creda per descrivere il passato e quindi tanto meno per quello che riguarda i cambiamenti climatici nel futuro. Ho l'impressione che il fatto che le previsioni del tempo (weather) si possano smentire nel giro di pochi giorni (se non poche ore) mentre le previsioni climatologiche verranno eventualmente smentite nel giro di decine di anni ha permesso al mondo del "weather" di fare più progressi e scremature di quello del "climate".

Visco, 16 settembre 2013.