La Risonanza Stocastica

La Risonanza Stocastica[2] è un fenomeno che si verifica in un sistema dinamico bistabile, cioè caratterizzato da due stati stabili nel tempo. Immaginiamo un'altalena che può essere inclinata a sinistra o a destra (figura 1 in alto) e passare da una condizione all'altra. Questo sistema può essere descritto da una energia potenziale con due punti di minimo (figura 1 in basso), con la posizione della pallina che rappresenta lo stato dell'altalena: pallina a sinistra, altalena inclinata a sinistra e pallina a destra, altalena inclinata a destra. Se si applica una debole forza periodica, questa produrrà piccole oscillazioni della pallina vicino al fondo di una buca ma, data la piccolezza della forza, sarà incapace di farle superare la barriera e raggiungere l'altra buca. Supponiamo adesso di aggiungere un po' di rumore, ovvero una forza disordinata. Se questa è molto piccola la pallina effettuerà solo pochi, rari salti (Figura 2 in basso). D'altro canto, se il rumore è molto grande, allora la pallina passerà di continuo da una buca all'altra, in modo completamente casuale (Figura 2 in alto). Se invece scegliamo un rumore di ampiezza intermedia, ci accorgeremo che la pallina comincerà a saltare da una parte all'altra in modo piuttosto regolare (Figura 2 in mezzo), seguendo la piccola forza periodica. Quando si ha la massima periodicità dei salti diciamo che siamo in condizioni di *Risonanza Stocastica*.

Questo incremento di ordine è dovuto al rumore e l'aspetto contro intuitivo della Risonanza Stocastica sta proprio in questo: aggiungendo rumore (fino ad una certa quantità) si ottiene un incremento dell'ordine, anziché del disordine.

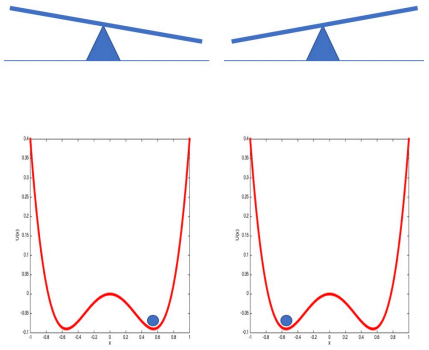

Figura 1

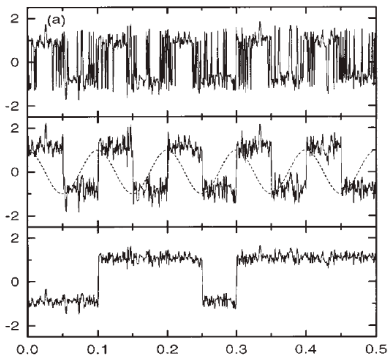

Figura 2

[2] Per sapere di più sulla Risonanza Stocastica si può consultare l'articolo di rassegna: Stochastic Resonance, L. Gammaitoni, P. Hanggi, P. Jung, F. Marchesoni, Rev. Mod. Phys. 70, 225 (1998).

A cura di NiPS Laboratory, Dip. Fisica e Geologia, Università degli Studi di Perugia. ww.nipslab.org

SR40 YEARS

Perugia, 13 - 15 September 2021

Incontro con la Risonanza Stocastica a 40 anni dalla sua nascita

Il 2021 segna il quarantesimo anniversario della pubblicazione del primo articolo sulla Risonanza Stocastica[1]. Da allora la risonanza stocastica è diventata un segno distintivo di una nuova percezione nella comunità scientifica del ruolo del rumore nei sistemi dinamici. Il rumore non è più solo un fastidio che oscura la percezione di un segnale significativo ma, oltre ad essere una caratteristica inevitabile dei sistemi fisici a temperatura finita, può anche svolgere un ruolo positivo nella dinamica dei sistemi non lineari. La storia dietro questa scoperta è stata raramente raccontata.

Nell'agosto 2008 abbiamo tenuto una conferenza internazionale sulla risonanza stocastica a Perugia. Durante questo convegno, in occasione della cena di gala e come introduzione ad un balletto intitolato "L'arte del rumore", chiesi a Giorgio Parisi che è stato il principale ispiratore dell'articolo, di raccontare questa storia. Quella che segue è la trascrizione, rivista dall'autore, di quel discorso.

Luca Gammaitoni

1 Stochastic resonance in climatic change
R Benzi, G Parisi, A Sutera, A Vulpiani – Tellus, 34, 10-16, 1982 (Received 1981).

La Risonanza Stocastica ab initio

Intorno al 1980 nel mio gruppo di ricerca presso l'Università di Roma, La Sapienza, stavamo affrontando, tra le altre cose, il problema di fornire una spiegazione ragionevole della ricorrenza periodica osservata sperimentalmente nel susseguirsi delle ere glaciali. A quel tempo esistevano numerosi modelli matematici proposti dai climatologi che miravano ad attribuire la periodicità osservata a qualche combinazione di fenomeni astronomici. Purtroppo non è stato facile individuare la giusta causa perché tutti i fenomeni rilevanti che mostravano una periodicità prossima a quella osservata, cioè circa 100.000 anni, avevano una "intensità" troppo piccola per produrre il cambiamento altamente significativo del clima terrestre medio. Inoltre, le serie temporali di temperatura calcolate dall'analisi statistica delle variazioni di volume del ghiaccio continentale negli ultimi 600.000 anni mostravano un notevole carattere casuale, insieme a passaggi piuttosto improvvisi da una condizione di alta temperatura a una di bassa temperatura, che sembrava accadere quasi regolarmente ogni 100.000 anni. Ricordo che un giorno passeggiavo nel campus La Sapienza con Roberto Benzi, un mio collaboratore profondamente interessato a questo problema. Ho accennato alla possibilità di cercare una condizione in cui una piccola forzatura periodica e una causa casuale molto più grande potessero cooperare per far oscillare la temperatura tra due stati stabili.

photo by Paolo Tosti

Giorgio Parisi

Il giorno dopo abbiamo organizzato una riunione nel mio ufficio e abbiamo discusso di questa idea, che inizialmente appariva piuttosto ingenua, con altri due collaboratori: Angelo Vulpiani e Alfonso Sutera. Dopo ulteriori discussioni e alcuni test numerici eseguiti simulando la dinamica della temperatura della terra al computer, ci siamo resi conto che in effetti l'effetto del piccolo segnale periodico potrebbe essere amplificato dalla presenza di una forza casuale tramite un'interazione non lineare tra i due. Nel nostro modello ultra-semplificato, il clima globale era rappresentato da un potenziale a doppia buca, dove un minimo rappresentava la condizione di bassa temperatura corrispondente a una terra in gran parte ricoperta di ghiaccio.

L'altro minimo la temperatura attuale (stato caldo). La piccola modulazione dell'eccentricità orbitale terrestre era rappresentata da una debole forzatura periodica. La presenza di ampie fluttuazioni nelle serie storiche è stata attribuita a variazioni climatiche di breve periodo, come le fluttuazioni annuali nella radiazione solare e sono stati modellati con rumore gaussiano bianco. All'interno di questo modello, se l'ampiezza del rumore è adeguata all'altezza della barriera che separa i due stati, il salto sincronizzato tra gli stati freddo e caldo potrebbe migliorare significativamente la risposta del clima terrestre alle deboli perturbazioni causate dall'eccentricità dell'orbita terrestre. Dopo la pubblicazione del primo articolo abbiamo deciso di optare per un modello più raffinato e ci siamo ulteriormente focalizzati sulla cooperazione costruttiva tra forze deterministiche (cioè modulazione periodica) e forze stocastiche (cioè rumore). Era nata l'idea della Risonanza Stocastica. Ad oggi devo dire che nel 1981 non ci aspettavamo che questo concetto diventasse così popolare come è diventato negli anni successivi.

Giorgio Parisi

Luca Gammaitoni, Giorgio Parisi
Foto scattata da Paolo Tosti alla conferenza di Perugia nell'Agosto 2008