

RELAZIONE FINALE

Oggetto: Short-Term Mobility. Progetto "Innovative developments in the theory of animal movement"

Nella prima parte di questa relazione riassumo i risultati ottenuti, in relazione al programma di ricerca che ha motivato la missione in oggetto, mentre la seconda sezione fornisce alcune informazioni necessarie per la comprensione della distinta delle spese.

1. Risultati scientifici.

Vi sono ormai chiare prove che molti organismi hanno modelli di movimento che possono essere descritti come voli di Lévy (LF). Un LF rappresenta un modello di movimento di tipo frattale, quindi privo di una scala specifica e caratterizzato da una lunga coda nella distribuzione della lunghezza degli spostamenti effettuati. Le ricerche sono inquadrare teoricamente dalla "LF foraging hypothesis", in cui si afferma che la selezione naturale dovrebbe portare ad effettuare LF tali che la strategia di ricerca sia ottimale. Tuttavia ci sono prove convincenti che i LF possono anche rappresentare sottoprodotti (proprietà emergenti) di comportamenti altrimenti innocui.

Il lavoro di ricerca si è concentrato sull'analisi dei modelli di movimento di due specie di gasteropodi intertidali, *Patella vulgata* e *P. rustica*. I Weierstrassian Lévy Walks (WLW) rappresentano una forma archetipica di passeggiate aleatorie che non soddisfano il teorema del limite centrale e che sono invece caratterizzati da invarianza di scala (sono cioè frattali). I WLW sono stati inizialmente considerati come astrazioni matematiche, ma studi successivi hanno suggerito che possono sorgere in sistemi caotici. Qui forniamo la prova che WLW e il caos sono pervasivo nelle due specie di patelle intertidali studiate. Abbiamo dimostrato che WLW possono infatti insorgere in sistemi debolmente caotici e abbiamo spiegato in modo facilmente accessibile come questo può accadere. Tali sistemi caotici possono essere regolati per produrre una varietà di WLW, un prerequisito per la "LF foraging hypothesis", che postula che, poiché i LF Lévy possono ottimizzare l'efficienza della ricerca, la selezione naturale avrebbe dovuto portare ad adattamenti per i LW. Il caos neuronale fornisce gli animali con un "orologio frattale", che facilita l'esecuzione di LF. Il nostro lavoro suggerisce che il caos nel generatore neuronale può causare WLW e che il fatto di aver ritrovato WLW in queste specie di gasteropodi fornisce un forte sostegno alla "LF foraging hypothesis". Un manoscritto è stato completato e inviato per la pubblicazione a The American Naturalist, un'altamente rinomata rivista nel campo dell'ecologia teorica.

Andy Reynolds e Stefano Focardi hanno visitato la sede della Company of Biologists (Cambridge, UK) per mettere a fuoco l'organizzazione di un convegno internazionale che si terrà nella prima settimana del settembre 2017, dedicato all'analisi dei movimenti frattali negli animali e nelle piante (di semi, polline). L'incontro sarà completamente finanziato dalla Company of Biologists. Ci aspettiamo che l'incontro vedrà la partecipazione dei migliori studiosi mondiali nel campo delle strategie di movimento e gli Atti del convegno potranno essere pubblicati in una rivista scientifica di primo piano, come il Journal of Experimental Biology.

Abbiamo inoltre analizzato una serie di dati relativi alla dispersione del capriolo (*Capreolus capreolus*) raccolti nel quadro del programma europeo di ricerca cooperativa, EURODEER (<http://www.eurodeer.org/>). In questi animali abbiamo trovato una molteplicità di tattiche di movimento, tra cui passeggiate di Lévy, moto browniano e movimenti in cui gli spostamenti sono distribuiti bi-esponenzialmente. Dal momento che queste differenze non sono facilmente spiegabili da evidenti differenze biologiche come il sesso o l'habitat, stiamo sviluppando un modello originale potenzialmente in grado di spiegare queste variazioni interindividuali. Il modello si basa sull'idea che le traiettorie di dispersione individuale vedano l'alternarsi di diversi modelli di movimento. Questo lavoro è ancora in corso, il compito principale è quindi di adattare i dati empirici al modello e di testarne le previsioni.

Sono state stabilite altre attività di cooperazione con altri colleghi, che possono, nel prossimo futuro fornire ulteriori approfondimenti sul modello di movimento negli animali. In particolare abbiamo ricevuto un database da Mark Hebblewhite (MFCES, Montana, USA) relativo ai lupi e ad altri grandi predatori terrestri e abbiamo discusso con Tim Guilford (Oxford, UK) e Anna Gagliardo (Università di Pisa) sul movimento e la navigazione di piccioni viaggiatori. Anna Gagliardo ha fornito un set di dati completo da analizzare in futuro.

2. Note amministrative.

Stefano Focardi ha alloggiato presso l'hotel Hilton a Milton Keynes-la stessa città dove risiede il dr Reynolds. Così era possibile raggiungere la Rothamsted Research, vicino a Harpenden (44 km) in autovettura senza alcun costo per il CNR.

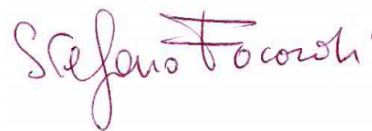
Nella fattura relativa ai pasti fatti presso l'hotel Hilton di Milton-Keynes è riportato un *Dinner two courses* per il 22/10/2015 mentre il pranzo del 25/10 e la cena del 1/11 sono riportati sotto la voce *New Horizon Bar*. Questo, perché il ristorante dell'albergo era aperto solo certi giorni e a certe ore, altrimenti i pasti venivano serviti presso il *New Horizon Bar*. Gli altri pagamenti riportati nella fattura riguardano invece consumazioni presso il Bar dell'albergo delle quali non si richiede rimborso.

Una nota particolare si riferisce alla richiesta di rimborso delle spese del taxi del 8 Novembre. Arrivato ad Heathrow T5 con l'autobus da Milton-Keynes ho raggiunto l'hotel Hilton ma mi sono sbagliato riguardo a quale Hilton andare (ce ne sono quattro) e a quello in cui ero arrivato si sono rifiutati di darmi la camera. Sono stato quindi costretto a spostarmi ad un altro Hilton e ho dovuto prendere il taxi, non essendoci altri mezzi di trasporto.

Firenze 11/11/2015

In fede,

Stefano Focardi



In the first part of this report, I summarize the results obtained, according to the research program that motivated the mission in reference, while the second section will provide necessary information for the understanding of the scheme of refunding.

1. Scientific results.

There is now compelling evidence that many organisms have movement patterns that can be described as Lévy flight (LF). A LF represents a scale free movement pattern with a long-tail of displacements. Researches are shaped by the “LF foraging hypothesis”, which states that natural selection should lead to LF optimal search strategies but there is compelling evidence that LF can also arise as by-products of otherwise innocuous behaviours. The research work has been focused on the analysis of the movement patterns of two species of intertidal snails, *Patella vulgata* and *P. rustica*. Weierstrassian Lévy walks are the archetypical form of random walks which do not satisfy the central limit theorem and are instead characterized by scale-invariance. They were originally regarded as a mathematical abstraction but subsequent studies suggested that they can arise in chaotic systems. Here we provide evidence that Weierstrassian Lévy walks and chaos are pervasive in the two species of intertidal limpets studied. We demonstrated that Weierstrassian Lévy walks can indeed arise in weakly chaotic systems and explain in an easily accessible way how this happens. Such chaotic systems can be tuned to produce a variety of Weierstrassian Lévy walks, a prerequisite for the Lévy flight foraging hypothesis, which posits that because Lévy walks can optimize search efficiencies, natural selection should have led to adaptations for Lévy walks. Neuronal chaos provides animals with a “fractal clock” which facilitates the execution of Lévy walk movement patterns. We suggest that chaos in central pattern generators can result in Weierstrassian Lévy movement patterns and argue that search patterns of snails provides strong in support of the Lévy flight foraging hypothesis. The paper has been completed and submitted for publication to *The American Naturalist*, a highly renowned journal in the field of theoretical ecology.

Andy Reynolds and Stefano Focardi visited the Company of Biologists (Cambridge, UK) to focus the organization of an international meeting to be held on the first week of September 2017 devoted to the analysis of fractal movements in animals and plants (seed, pollen). The meeting will be completely funded by the Company of Biologists. We expect that the meeting will see the participation of the best world scholars in the field of animal search strategies and will results in the publication of proceeding in a first level scientific journal, such as the *Journal of Experimental Biology*.

Further, we investigated a set of data relative to the dispersal of the European roe deer (*Capreolus capreolus*) collected in the framework of the European cooperative program EURODEER (<http://www.eurodeer.org/>). In these animals we found a multiplicity of movement tactics including Lévy walks, Brownian (exponential) movements and bi-exponential displacements. Since these differences are not easily explained by obvious biological differences such as sex or habitat, we are

developing an original model potentially able to explain these differences. The model is based on the idea that animal switch between different modes of movement a commonly observed process as animals encounter different habitats and engage in different activities. This work is obviously in progress, the main task being hence to fit empirical data to the model and test for predictions.

Other preliminary cooperative activities with other colleagues have been established, which can in the next future provide further insights on the movement pattern in animals. More specifically we received a database from Mark Hebblewhite (MFCES, Montana, USA) on wolves and other large terrestrial predators and we discussed with Tim Guilford (Oxford, UK) and Anna Gagliardo (Università di Pisa) on the movement of homing pigeons. Anna Gagliardo provided a full dataset to be analysed in future.

2. Administrative notes.

Stefano Focardi gets an accommodation at the Hilton hotel in Milton-Keynes the same town where Dr Reynolds dwells. Thus it was possible to attain Rothamsted Research, near Harpenden (44 km) by car with no cost for the CNR.