Numero speciale
in memoria del prof. Daniel J. Amit

Novembre 2011

accastampato

www.accatagliato.org

Daniel Amit

Dalle particelle ai neuroni

Daniel Amit: una vita tra l'eccellenza scientifica e la passione politica

Indagare il cervello

L'eredità scientifica di Daniel Amit

Scienza e guerra

Dipartimento di Fisica
Sapienza
Università di Roma

Accastampato non è un periodico, pertanto non è registrato e non ha un direttore responsabile. È un esperimento di comunicazione realizzato dall'associazione Accatagliato degli studenti di fisica dell'Università Sapienza di Roma con il duplice obiettivo di mostrare al pubblico non specialistico e agli studenti delle scuole superiori le ricerche portate avanti nell'area romana e di fornire l'occasione agli studenti universitari e ai giovani ricercatori di raccontare il proprio lavoro quotidiano e di confrontarsi con la comunicazione scientifica non specialistica.

Impaginazione ed editing: Alessio Cimarelli
Grafica: Silvia Mariani
In copertina: "The Neural Network2" (`rajasegar.deviantart.com`)

Gli articoli contenuti in questo numero sono protetti con marca digitale grazie a `patamu.com`

La rivista è disponibile on-line all'indirizzo `http://www.accastampato.it`, navigabile sia da computer che da cellulare e scaricabile nei formati PDF ed ePUB.

Quest'opera è rilasciata sotto la licenza Creative Commons Attribuzione-Non commerciale-Condividi allo stesso modo *3.0 Unported. Se non specificato altrimenti, tutti gli articoli in essa contenuti sono rilasciati dai rispettivi autori sotto la medesima licenza. Per leggere una copia della licenza visita il sito web* `http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/` *o spedisci una lettera a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.*

accastampato

Indice

num. 7, Novembre 2011

EDITORIALE

Una vita contro l'indifferenza 4

"Se avessi anch'io fatto il mio dovere di uomo, se avessi cercato di far valere la mia voce, il mio parere, la mia volontà, sarebbe successo? E perciò è necessario che spariscano gli indifferenti, gli scettici, quelli che usufruiscono del poco bene che l'attività di pochi procura, e non vogliono prendersi la responsabilità del molto male che la loro assenza dalla lotta lascia preparare e succedere" (Antonio Gramsci)

LE SPALLE DEI GIGANTI

Dalle particelle ai neuroni 5

di *G. Parisi, P. Del Giudice*

È raro trovare qualcuno tanto appassionato del senso della giustizia, con tanta costanza nel lottare pagando in prima persona, senza rassegnarsi allo scetticismo e all'indifferenza, ma sempre con un velo di autoironia...

IL RICERCATORE ROMANO

Indagare il cervello 7

di *A. Bernacchia, A. Barra*

Daniel fu uno dei primi ad avviare delle collaborazioni scientifiche tra fisici e neurobiologi per testare l'idea che le reti di neuroni e le connessioni tra di essi si organizzano in modo da formare degli stati stabili

ONDA LUNGA

Scienza e guerra 10

di *N. Loret*

"[...] eserciterò tale minuscolo atto di disobbedienza per potere guardare dritto negli occhi dei miei nipoti e dei miei allievi e poter affermare che sapevo" (Daniel Amit)

accastampato
Rivista degli Studenti di Fisica
dell'Università Sapienza di Roma
www.accatagliato.org

Una vita per la scienza e contro l'indifferenza

Se avessi anch'io fatto il mio dovere di uomo,
se avessi cercato di far valere la mia voce, il mio parere, la mia volontà,
sarebbe successo?
E perciò è necessario che spariscano gli indifferenti, gli scettici,
quelli che usufruiscono del poco bene che l'attività di pochi procura,
e non vogliono prendersi la responsabilità del molto male che la loro assenza dalla lotta
lascia preparare e succedere.

Con questa citazione di un celebre scritto di Antonio Gramsci, si apriva uno dei molti articoli di Daniel Amit sulla questione palestinese, "Testimonianze contro il male". Queste righe esprimono in modo limpido l'urgenza e la passione per l'impegno civile del professor Amit, una testimonianza contro il male, dimostrata dalla profonda dedizione di uomo e di scienziato per la soluzione pacifica del conflitto israelo-palestinese. La stessa passione e impegno con cui ha affrontato in modo pionieristico lo studio del cervello e delle reti neurali, diventando un riferimento internazionale in questo ambito di studi.

In occasione dell'anniversario della sua scomparsa, avvenuta il 4 Novembre del 2007 a Gerusalemme, abbiamo scelto di ricordare il contributo scientifico e civile di Daniel Amit, un'eredità importante e stimolante per i giovani studenti e ricercatori. Come leggerete, in questo numero si racconteranno due aspetti di indiscutibile valore dell'attività del professor Amit. Da una parte il suo contributo nello studio delle reti neurali, che ci immerge in una branca affascinante e attuale della fisica, dedita alla comprensione dei meccanismi di funzionamento del cervello. Dall'altra la riflessione sulla responsabilità del lavoro dello scienziato in relazione all'utilizzo dei propri studi per fini economici e militari.

Il primo contributo costituisce un formidabile punto di partenza per i giovani ricercatori e un riferimento per chi si avvicina con sguardo curioso al mondo della scienza. Infatti i lavori di Daniel Amit sono stati pionieristici in una branca in pieno sviluppo che tenta di rispondere a domande di indiscutibile importanza: ad esempio, come fa un insieme di neuroni a imparare e ricordare eventi, immagini oppure odori? Il secondo contributo costituisce un insegnamento di grande valore per ogni aspirante scienziato, riflettendo esso sul ruolo e la responsabilità civile di questa figura e criticando la visione ingenua dello studioso neutrale che lavora per il solo progresso della conoscenza.

Per queste ragioni, abbiamo creduto importante raccogliere l'eredità intellettuale del lavoro di Daniel Amit e riproporre con questo numero speciale alcuni aspetti della sua attività. Giorgio Parisi e Paolo Del Giudice ci racconteranno del percorso scientifico e umano di Daniel Amit e dei suoi principali contributi in meccanica statistica e nello studio delle reti neurali. L'eredità dei suoi lavori in quest'ultimo campo, settore delle neuroscienze, sarà discusso poi da Alberto Bernacchia e Adriano Barra. Niccolò Loret ci parlerà infine delle riflessioni di Daniel Amit sul rapporto tra scienza e guerra e della sua rinuncia a collaborare con una delle più prestigiose riviste dell'American Physical Society. Dei 98 articoli pubblicati da Daniel Amit (fonte: ISI Web of Knowledge, rielaborazione di Alessio Cimarelli), alcune immagini delle prossime pagine ne riassumono il contenuto e l'impatto scientifico. A pagina 9 è visibile una mappa delle collaborazioni internazionali dello scienziato, mentre a pagina 11 due *word cloud* evidenziano le principali aree scientifiche coperte (*topics*) e le riviste *peer-reviewed* che hanno pubblicato gli articoli più importanti (*journals*, pesate con il loro *impact factor*).

Buona lettura!

REDAZIONE
redazione@accatagliato.org

Alessio Cimarelli
jenkin@accatagliato.org
Carlo Mancini
carlo@accatagliato.org
Silvia Mariani
shyka@accatagliato.org
Leonardo Barcaroli
leov@accatagliato.org
Erica Chiaverini
erica@accatagliato.org
Roberto Garra
roberto@accatagliato.org
Niccolò Loret
niccolo@accatagliato.org
Isabella Malacari
isabella@accatagliato.org
Massimo Margotti
massimo@accatagliato.org
Angela Mecca
lela@accatagliato.org
Kristian A. Gervasi Vidal
krisgerv@accatagliato.org

COMMISSIONE SCIENTIFICA
Giorgio Parisi
giorgio.parisi@roma1.infn.it
Giovanni Battimelli
giovanni.battimelli@uniroma1.it
Fabio Bellini
fabio.bellini@roma1.infn.it
Lara Benfatto
lara.benfatto@roma1.infn.it
Riccardo Faccini
riccardo.faccini@roma1.infn.it
Francesco Piacentini
francesco.piacentini@roma1.infn.it
Antonio Polimeni
antonio.polimeni@roma1.infn.it
Antonello Polosa
antonio.polosa@roma1.infn.it

HANNO CONTRIBUITO
A. Bernacchia, A. Barra, A. Cimarelli, G. Parisi, P. Del Giudice, N. Loret.

SI RINGRAZIANO ANCHE
Donald E. Knuth, Leslie Lamport, il TEX Users Group (www.tug.org) e Gianluca Pignalberi

Con il patrocinio del

DIPARTIMENTO DI FISICA
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dalle particelle ai neuroni

Daniel Amit: una vita tra l'eccellenza scientifica e la passione politica

Giorgio Parisi, Paolo Del Giudice
(Dipartimento di Fisica dell'Università Sapienza di Roma)

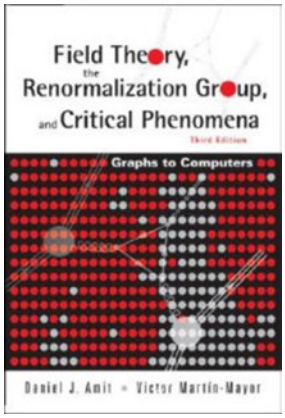
Daniel Amit era nato in Polonia nel 1930, immigrato in Palestina nel 1940, professore di Fisica prima a Gerusalemme e poi a Roma dal 1991, cittadino italiano dal 1999, è morto a Gerusalemme nel 2007. Daniel intrecciava il lavoro scientifico con le attività politiche: in particolare si è sempre impegnato per una giusta soluzione del conflitto israeliano-palestinese. Sul suo sito internet campeggia ancora la scritta "Gerusalemme, capitale di due stati".

È raro trovare qualcuno tanto appassionato del senso della giustizia, con tanta costanza nel lottare pagando in prima persona, senza rassegnarsi allo scetticismo e all'indifferenza, ma sempre con un velo di autoironia. Era instancabile nel promuovere iniziative di pace, solidarietà e rispetto dei diritti umani, come il sostegno ai soldati israeliani che si sono rifiutati di combattere nell'esercito. La fisica, per la quale aveva una fortissima passione e un grande talento, si accompagnava a tanti altri interessi culturali, che andavano dalle icone russe ai romanzi di Saramago.

Entrambi lo conoscevamo bene. Uno di noi due (Giorgio Parisi) fin dal 1973. L'occasione fu la scuola di fisica di Cargese (in Corsica), convegno che rimase nella memoria di molti sia per la fisica (fu la prima scuola dedicata all'utilizzo del gruppo di rinormalizzazione nelle transizione di fase del secondo ordine), sia per le discussioni politiche catalizzate da un tentativo infruttuoso di boicottare le lezioni di un fisico americano che collaborava con i militari come consulente per la guerra nel Vietnam. Paolo del Giudice lo conobbe verso la fine degli anni '80, dopo aver molto studiato il suo libro cui si accenna oltre. Una frequentazione che dopo pochi anni si evolse in una collaborazione scientifica, seguendo una strada per molti versi imprevista (la progettazione di chip ispirati al funzionamento del sistema nervoso).

Dalle particelle elementari alle reti di neuroni

Come scienziato Daniel Amit ha avuto una carriera simile a molti fisici della sua generazione: ha cominciato studiando le particelle elementari, negli anni '70 è passato alla meccanica statistica utilizzando le tecniche imparate precedentemente e negli anni '80 si è costruito un proprio ambito di ricerca a contatto con altre discipline. Si è laureato al Weizmann Institute in fisica nucleare teorica e ha conseguito il dottorato a Brandais con Eugene Gross nel 1966 con una tesi sui liquidi di Bose. Dopo il dottorato ha incominciato a lavorare sui fenomeni critici (transizioni di fase del secondo ordine) e al principio degli anni '70 fu tra i primi a utilizzare le tecniche sviluppate da Wilson che erano sostanzialmente le stesse della teoria dei campi relativistica. Il suo libro sul gruppo di rinormalizzazione [1], recentemente ristampato con Victor Martin-Mayor come co-autore, è stato il primo dedicato a questa problematica ed è ancora uno dei classici sull'argomento.



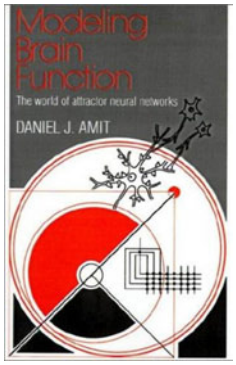
In questo periodo i suoi lavori sono spesso dedicati alla ricerca di nuovi problemi a cui applicare queste tecniche. Daniel è stato il primo ad applicare il gruppo di rinormalizzazione allo studio del modello di Potts, modello che tra le altre cose descrive la transizione di percolazione in un mezzo disordinato al variare della densità delle cavità dove può circolare il fluido. Successivamente Daniel ha posto le fondamenta dell'applicazione del gruppo di rinormalizzazione a tanti problemi differenti: il gas di Coulomb bidimensionale (che descrive il comportamento di sottili film superconduttori o superfludi), modelli di Heisenberg con anisotropia (in cui è presente una transizione di fase del primo ordine, indotta dalle fluttuazioni) e il True Self-avoiding Walk (che differisce dall'usuale Self-avoiding Walk in quanto la condizione di non intersezione è imposta dinamicamente, il camminatore cerca cioè di evitare di ritornare sui propri passi).

Il funzionamento della memoria

Tuttavia il campo in cui Daniel Amit ha ottenuto i risultati più interessanti è stato nello studio del cervello. Daniel è stato tra i pionieri dello studio delle reti neurali ed era uno dei più rispettati esperti del campo. Il problema è capire come tanti neuroni – ognuno dei quali è un oggetto relativamente semplice – possano costituire sistemi con un comportamento complesso come il cervello umano (dieci miliardi di neuroni).

La linea di attacco che aveva scelto era di incominciare ad affrontare forse la meno complessa delle funzioni cerebrali: la memoria, ovvero come sia possibile che un insieme di neuroni possa imparare e ricordare eventi, odori, facce. Negli anni '40 si

era ipotizzato che i neuroni scambiassero tra di loro informazioni sulla loro attività elettrica tramite sinapsi: un neurone del cervello riceve informazioni da circa diecimila neuroni, le elabora in maniera estremamente semplice per decidere il proprio livello di attività e informa altri diecimila neuroni sulle proprie decisioni. Un sistema di questo tipo si può comportare in maniera completamente diversa a seconda dell'efficacia delle sinapsi (metaforicamente, a seconda del volume sonoro che ciascun neurone usa per parlare con i propri vicini). L'apprendimento o la memorizzazione consistono in precise modifiche delle proprietà di alcune delle centomila miliardi di sinapsi del cervello umano.



Questa soluzione apre nuovi interrogativi: come e perché si modificano le sinapsi, quali sinapsi si modificano e come la modifica delle sinapsi influenza i neuroni? Inoltre com'è possibile che lo stesso sistema di neuroni possa, a seconda dei casi, ricordare cose diverse? Negli ultimi 25 anni Daniel ha cercato di rispondere a queste difficili domande, studiando modelli altamente semplificati di neuroni in interazione tramite sinapsi (le reti neurali) e arrivando a una risposta nell'ambito di questo modello semplificato. I risultati sono contenuti in un libro ormai diventato un classico, "Modeling Brain Function" del 1989 [2], tradotto in italiano proprio da uno di noi due e da un ex studente di Daniel. L'idea di attrattore dominava allora la concezione di Daniel riguardo al modo in cui uno stimolo attiva una memoria (ed è rimasta centrale in tutti gli sviluppi successivi): le reti di neuroni collegati da sinapsi sono circuiti con alto feedback, e la loro dinamica, una volta che viene innescata da uno stimolo, evolve spontaneamente verso il minimo più *vicino* (la *memoria* recuperata) tra i molti minimi che sono i fondovalle di un paesaggio di energia complicato, determinato appunto dalle connessioni sinaptiche.

A partire da questi risultati Daniel si è proposto di arrivare a una maggiore comprensione del modello reale, superando le semplificazioni teoriche introdotte in questo lavoro. Da un lato ha modificato e complicato un passo alla volta i modelli in maniera da poterli confrontare con i dati sperimentali veri, ottenuti su scimmie e su uomini. Dall'altro ha incominciato a progettare ed effettuare esperimenti con scimmie per verificare le previsioni dettagliate della sua teoria. In tutti questi anni è stato uno dei principali animatori della ricerca sulle reti neurali.

La lunga esperienza romana

La presenza di Daniel Amit nel Dipartimento di Fisica della Sapienza è stata importante. Inizialmente, il prestigio scientifico che gli derivava dai lavori in teoria dei campi e in meccanica statistica attiravano verso il suo corso (che fin dall'inizio verteva sui modelli teorici di reti di neuroni) studenti numerosi e motivati, e probabilmente incuriositi dagli (allora inconsueti) sviluppi interdisciplinari così autorevolmente proposti. Molto presto il ruolo di assoluto protagonista assunto sulla scena internazionale da Daniel nello studio teorico del cervello (insieme con la crescita rapida del settore) rese il suo prestigio presso gli studenti indipendente dalla carriera scientifica precedente. E si trattava davvero di una *vita scientifica precedente*. Una delle caratteristiche di Daniel era l'assoluta, ed esclusiva, dedizione intellettuale al problema scientifico che in quel momento lo interessava; nonostante i suoi tanti e importanti contributi scientifici nella prima fase della carriera, ricordati sopra, fin dall'inizio del *periodo romano* era quasi impossibile (questa è l'esperienza di uno di noi) attirare il suo interesse, per esempio, su questioni di teoria di campi o altro che non fosse la comprensione teorica del cervello. Concepì quest'ultima, o almeno così appariva, come un'avventura intellettuale richiedente appunto una concentrazione assoluta ed esclusiva.

Daniel Amit non sembrava esplicitamente motivato alla creazione di una scuola. Però, di fatto, intorno alla sua non comune personalità umana e scientifica si è formata una generazione di fisici, con tratti comuni nell'approccio intellettuale, spesso tutt'ora attivi in quella che ormai viene definita *theoretical neuroscience*, che ha assunto i caratteri autonomi di una disciplina. I rapporti di Daniel con gli studenti e con i giovani collaboratori erano sempre molto intensi e *personali* (non di rado, anche burrascosi): di fatto, molti di loro si sono trovati implicitamente a *formare una scuola* semplicemente per aver assorbito caratteri intellettuali simili dalla stessa sorgente, e questo dà forse una buona misura della forza che Daniel Amit seppe esprimere come sorgente d'idee.

Bibliografia

Pagina web personale: `www.phys.huji.ac.il/~damita/`

[1] Amit D. e Mayor V. *Field theory, the renormalization group, and critical phenomena: graphs to computers*. World Scientific (2005). ISBN 9789812561091

[2] Amit D. *Modeling Brain Function: The World of Attractor Neural Networks*. Cambridge University Press (1992)

Sull'autore

Giorgio Parisi (`giorgio.parisi@roma1.infn.it`) è docente di Meccanica Statistica e Fenomeni Critici presso il Dipartimento di Fisica dell'Università Sapienza di Roma. Paolo Del Giudice () è titolare della cattedra del corso di Reti Neurali che fu di Daniel Amit presso lo stesso Dipartimento.

Indagare il cervello

L'eredità scientifica di Daniel Amit

Alberto Bernacchia, Adriano Barra
(Department of Neurobiology, Yale University – Dipartimento di Fisica, Università Sapienza di Roma)

Chi ha avuto la fortuna di seguire il corso di Reti Neurali tenuto da Daniel Amit ricorderà la prima immagine del suo corso, presentata con le care vecchie trasparenze: una figura composta da macchie bianche e nere che a una prima occhiata appaiono prive di significato (cfr. Figura 1 a sinistra) ma, dopo qualche secondo di osservazione, lasciano percepire l'immagine di un volto, forse un'icona religiosa raffigurante Cristo. Una volta che il volto è riconosciuto come tale, non è più possible fare a meno di percepirlo quando si riguarda la stessa immagine, come se la percezione abbia raggiunto uno stato stabile che non è possibile abbandonare (un *punto fisso*, nel gergo della teoria dei sistemi dinamici). Daniel utilizzava questa immagine proprio per introdurre il concetto di *punto fisso stabile*. Per capirlo è utile immaginare una pallina che viene lasciata cadere in una conca (cfr. Figura 1 a destra): il punto da cui cade la pallina è lo stato percettivo iniziale, mentre il punto in cui si ferma è lo stato percettivo finale. In questa semplice metafora, lo stato percettivo finale è sempre il fondo della conca, indipendentemente dal punto iniziale da cui viene fatta cadere la pallina. Allo stesso modo, la percezione dell'immagine iniziale, qualunque essa sia, viene perduta nel momento in cui si *cade* nella percezione dell'immagine del volto. Nel gergo della meccanica classica, si è raggiunto un punto di minimo del potenziale.

Percezione e stabilità

A volte la percezione non ha un unico stato stabile, come ad esempio nel caso delle immagini bistabili (cfr. Figura 2 a sinistra). In questo caso la percezione si sposta continuamente tra due distinte raffigurazioni, nell'esempio quella del profilo di due volti e quella di un vaso. Nella metafora della pallina, essa si trova in una

Figura 1 – A sinistra, l'immagine che Daniel mostrava ai suoi studenti il primo giorno di lezione del corso di Reti Neurali. A destra, una raffigurazione di uno stato stabile e il suo bacino di attrazione.

conca con un doppio avvallamento (cfr. Figura 2 a destra). Se indisturbata, la pallina rimane ferma nel fondo di uno dei due avvallamenti, a seconda del punto iniziale di lancio. Tuttavia, una piccola perturbazione (una *schicchera*, o un lieve terremoto) è sufficiente a muovere la pallina nel fondo dell'altra valle superando il crinale che separa i due minimi. Se la perturbazione è persistente, la pallina si sposterà in momenti successivi tra il fondo delle due valli: nel gergo della meccanica statistica, lo stato del sistema fluttua tra due minimi dell'energia, e i bacini di attrazione dei due stati stabili sono rappresentati dalle due conche. Questa semplice metafora della pallina che cade in una conca di forma variabile può essere espressa nella forma di un modello matematico, in grado di descrivere la dinamica dello stato del sistema in ogni istante di tempo, o almeno di quantificare la probabilità di osservare diverse traiettorie nei bacini.

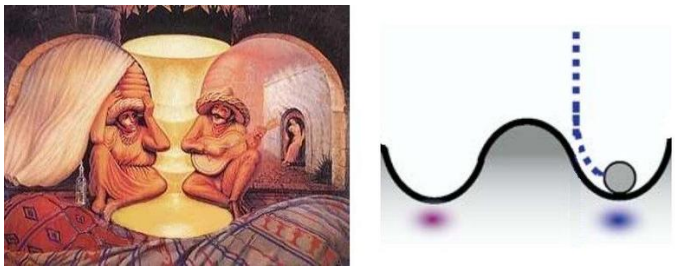


Figura 2 – A sinistra, un'immagine bistabile: la percezione si sposta tra due stati, due volti di profilo e un vaso. A destra, la raffigurazione di due stati stabili e dei rispettivi bacini di attrazione.

Tuttavia, per quanto matematicamente preciso si possa definire il moto di una pallina in una rampa, rimane una descrizione piuttosto riduttiva della percezione sensoriale. Per esempio, quante raffigurazioni diverse siamo in grado di percepire? Il numero è senza dubbio molto grande, certamente maggiore di due. Inoltre, a quali entità fisiche corrispondono le variabili matematiche del modello? Le cellule cerebrali? E in quale parte del cervello ci aspettiamo che questo meccanismo possa descrivere in maniera soddisfacente la realtà biologica, e per quali tipi di cellule? È qui che entra in gioco la ricerca scientifica di Daniel Amit.

Le reti neurali frustrate

Intorno alla fine degli anni '80, Daniel dimostrò che una rete di neuroni interconnessi ammette un numero di stati stabili (avvallamenti, minimi) grande circa come il numero dei neuroni della rete

[2] [3] [4]. Dato che ognuno di noi ha circa 10^{11} (cento miliardi di) neuroni a disposizione, il numero di percezioni possibili in questo modello sembra essere grande a sufficienza da poter rappresentare un prototipo di cervello artificiale. Nel modello, ogni stato percettivo corrisponde a uno specifico *pattern* di attività neurale (un minimo dell'energia), che è stabile grazie alle connessioni tra i neuroni appartenenti a ogni dato *pattern*. Le connessioni tra i neuroni (connessioni sinaptiche) favoriscono la cooperazione di alcuni sottoinsiemi di neuroni, i *pattern* stabili, e inibiscono la simultanea attivazione di altri. La caratterizzazione di un sistema che coinvolgesse non solo un unico stato stabile (e quindi un unico stato percettivo), ma un numero di stati stabili proporzionale al numero di neuroni era tutt'altro che semplice, poiché richiedeva un sistema capace di generare un numero enorme di minimi dell'energia, che avessero ognuno un bacino di attrazione largo abbastanza da permetterne la realizzazione. Nello stesso periodo, la meccanica statistica dei sistemi disordinati aveva raggiunto una comprensione soddisfacente dei *vetri di spin*, modelli matematici originariamente sviluppati per spiegare la fenomenologia dei materiali vetrosi [5]. I vetri di spin sono reti astratte in cui a ogni nodo corrisponde uno spin, ovvero una variabile in grado di assumere due valori, +1 (freccia in alto) o -1 (freccia in basso), e le connessioni tra questi nodi possono assumere valori sia positivi che negativi (cfr. Figura 3 a sinistra). Le frecce collegate da una connessione positiva (bianco in Figura 3) tenderanno a disporsi tra loro parallelamente, mentre quelle collegate da una connessione negativa (rosso in Figura 3), tenderanno a disporsi in maniera opposta. In alcuni casi, un nodo è collegato in maniera positiva con uno spin, e in maniera negativa con un secondo spin (come il nodo in basso a destra in Figura 3), mentre i due spin ad esso collegati hanno una connessione positiva tra loro. Dunque, questi due spin tenderanno a disporsi parallelamente, ma in quale verso si disporrà il terzo? In questo caso si dice che il sistema è *frustrato*, dato che il terzo nodo ha delle connessioni contrastanti con due spin paralleli.

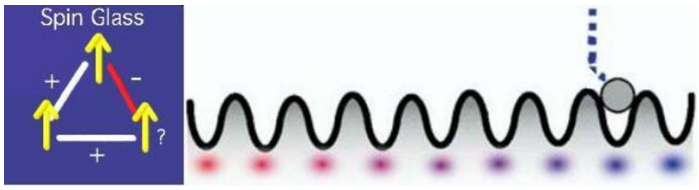


Figura 3 – A sinistra, una rappresentazione schematica di un vetro di spin composto da 3 nodi (frecce) e 3 connessioni. Ogni freccia rappresenta la direzione dello spin nel nodo corrispondente. I segni dei valori delle connessioni sono sia positivi (+) che negativi (-). A destra, una raffigurazione di un grande numero di stati stabili (rappresentati con la stessa *profondità* per semplificare la figura).

Nel caso più semplice in cui le connessioni fossero tutte positive (ovvero la connessione rossa in Figura 3 fosse trasformata in bianca), la rete si disporrebbe con tutti gli spin paralleli, e questo costituirebbe l'unico stato stabile del sistema (stato *ferromagnetico*, in analogia con il modello di Curie-Weiss [5]). Invece, data la differenza di segno tra le connessioni del terzo nodo, lo stato ferromagnetico è destabilizzato e il sistema è caratterizzato da due stati stabili, in cui la freccia *frustrata* non può soddisfare entrambi i suoi legami contemporaneamente. I vetri di spin sono caratterizzati da un gran numero di nodi e un gran numero di connessioni contrastanti, che creano una situazione fortemente frustrata. Di conseguenza, il sistema è composto da un gran numero di stati stabili (minimi dell'energia, cfr. Figura 3 a destra). In [2], [3] e [4] Daniel Amit e colleghi proposero di utilizzare le reti frustrate come modelli di reti neurali, tramite la seguente analogia: i neuroni corrispondono ai nodi della rete, e ammettono due stati, uno stato attivato (freccia in alto) – in cui il neurone emette corrente elettrica – e uno stato quiescente (freccia in basso), e le connessioni tra di essi rappresentano le sinapsi, sia eccitatorie (positive) che inibitorie (negative). Si poterono così utilizzare i metodi matematici e numerici della meccanica statistica per la comprensione delle proprietà delle reti di neuroni interagenti, e usare questi metodi per proporre nuove domande quali *dove risiede la memoria* o *qual è in numero di memorie della rete*.

Esperimenti e interdisciplinarietà

Il merito di Daniel non fu unicamente di studiare i modelli di reti neurali e rivelarne le enormi capacità, ma specialmente di iniziare un progetto di verifica sperimentale di tali modelli: Daniel fu uno dei primi ad avviare delle collaborazioni scientifiche tra fisici e neurobiologi per testare l'idea che le reti di neuroni e le connessioni tra di essi si organizzano in modo da formare degli stati stabili, che corrispondano al riconoscimento di stimoli specifici. Da allora molti scienziati hanno seguito le sue orme e hanno contribuito allo sforzo di trovare un territorio comune tra fisici e biologi che permetta lo sviluppo e la verifica di modelli quantitativi per sistemi biologici. Un esempio dell'eredità di Daniel si può osservare da un esperimento recente, pubblicato sulla rivista scientifica *Nature* il 13 ottobre 2011, condotto da un gruppo di neurobiologi proprio per testare l'idea degli stati stabili nelle reti neurali [6]. Questi scienziati hanno registrato l'attività dei neuroni nell'ippocampo di topi che cercano del cibo in un ambiente caratterizzato da una specifica illuminazione, una combinazione di luci che renda l'ambiente unico. Dopo un certo intervallo di tempo, l'illuminazione cambia drasticamente rilevando al topo un nuovo ambiente. Tramite la registrazione simultanea di alcune decine di neuroni è possibile determinare l'evoluzione temporale (dinamica) dell'attività di un *pattern* di attività neurale, ed è stato osservato che nei due ambienti distinti attraversati dai topi, i neuroni si attivano in due *patterns* diversi e molto specifici. Sono state inoltre osservate delle transizioni discrete tra i due *pattern* (in un ambiente fissato, cfr. Figura 4), come descritto nell'esempio delle immagini bistabili in Figura 2.

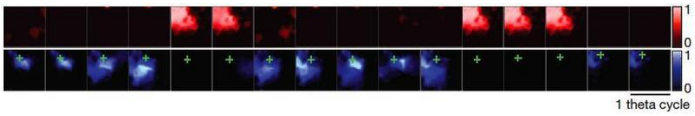


Figura 4 – Sequenza temporale (da sinistra a destra) delle transizioni tra i due stati stabili della rete di neuroni osservati nell'ippocampo di topi. In alto, correlazioni spaziali con il *pattern* n. 1. In basso, correlazioni spaziali con il *pattern* n. 2. In momenti successivi la rappresentazione neurale si sposta discretamente tra i due *patterns*. A ogni punto dell'ambiente (di forma quadrata; croce verde: posizione del topo) è associato un vettore di attività neurale nel *pattern* n. 1 e un vettore per il *pattern* n. 2. In ogni riquadro è presentata la correlazione (gradiente di colore) con il vettore associato alla posizione spaziale nel riquadro.

Questo dimostra come la ricerca avviata da Daniel sia tuttora capace di ispirare la concezione di esperimenti scientifici di successo. A ogni modo, la ricerca nelle Neuroscienze è a oggi ancora aperta e non bisogna pensare che il modello a stati stabili sia solo uno di pochi concorrenti in lizza. In effetti, per altre aree del cervello (come ad esempio la corteccia cerebrale) è stato proposto un numero molto grande di modelli (ognuno per una determinata area o addirittura per un sottoinsieme di protocolli sperimentali). Grazie ai continui progressi nelle tecnologie sperimentali, in un futuro prossimo sarà posibile stabilire quali modelli siano più adatti a spiegare il funzionamento del cervello, e perché.

Bibliografia

[2] Amit D. *Modeling Brain Function: The World of Attractor Neural Networks*. Cambridge University Press (1992)

[3] Hopfield J. *Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*. In *Proceedings of the national academy of sciences*, vol. 79(8):2554 (1982)

[4] Amit D., Gutfreund H. e Sompolinsky H. *Storing infinite numbers of patterns in a spin-glass model of neural networks*. In *Physical Review Letters*, vol. 55(14):1530–1533 (1985)

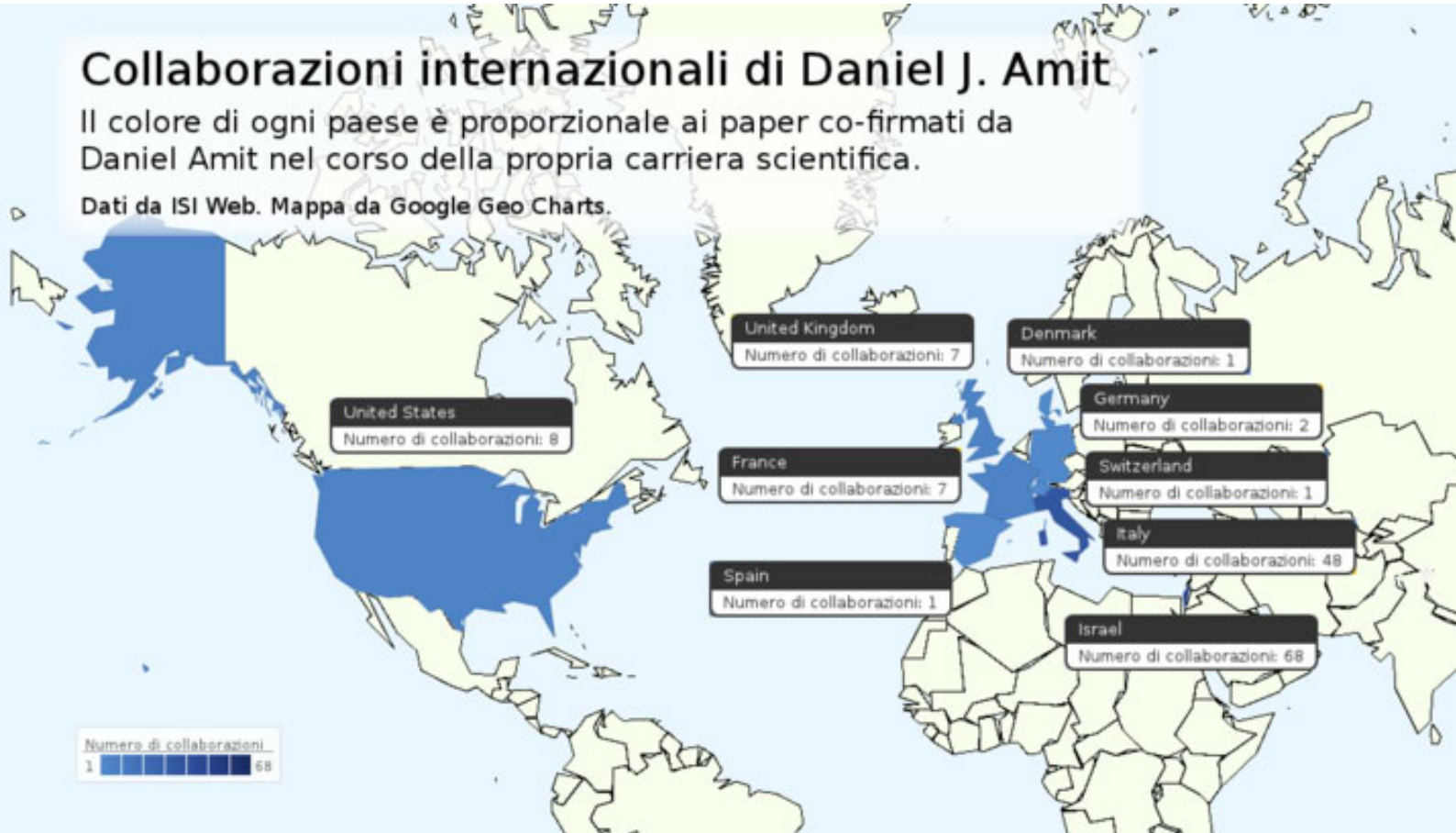
[5] Mézard M., Parisi G. e Virasoro M. *Spin glass theory and beyond*. World Scientific lecture notes in physics. World Scientific (1987)

[7] Ellis R. *Entropy, large deviations, and statistical mechanics*. Classics in mathematics. Springer (2005)

[6] Jezek K., Henriksen E., Treves A., Moser E. e Moser M. *Theta-paced flickering between place-cell maps in the hippocampus*. In *Nature* (2011)

Sull'autore

Alberto Bernacchia (`http://kirikou.med.yale.edu/~alberto/index.html`) si è laureato in Fisica presso l'Università Sapienza di Roma con Daniel Amit nel 2001 e ha conseguito il dottorato in Neuroscienze sempre con Daniel nel 2006. Dal 2008 è a Yale per un assegno di ricerca post-doc in Neuroscienze, in particolare studia i circuiti neurali delle funzioni cognitive. Adriano Barra (`http://remus.roma1.infn.it/`) è ricercatore presso l'Università Sapienza di Roma e si occupa delle applicazioni della meccanica statistica disordinata alle reti immunitarie e a quelle neurali.



Scienza e guerra

Quando la consapevolezza del proprio ruolo sociale è importante quanto l'eccellenza scientifica

Niccolò Loret
(Dipartimento di Fisica dell'Università Sapienza di Roma)

Da questo momento
non collaborerò più
con alcun'istituzione americana.
Alcuni di noi hanno vissuto il 1939.
(Daniel Amit, 21 Marzo 2003)

Con questa secca e-mail del 21 Marzo 2003 (giorno seguente all'inizio dell'invasione statunitense dell'Iraq), il professor Daniel Amit rifiutava di valutare un articolo per la rivista scientifica *Physical Review E*. Questa decisione non conseguiva da una reazione dettata dall'emotività, ma da un ragionamento critico sul ruolo della scienza nei tempi del neo-liberismo che Amit ha elaborato lungo tutta la sua vita. Dal botta e risposta seguito al rifiuto di Amit è nata in tutto il mondo una intensa discussione sul rapporto tra scienza e guerra, scienza e potere, sui legami tra scienza e tecnologia e sulla definizione stessa di attività scientifica. Un'idea di quali siano le diverse posizioni in questa accesa disputa ideologica si può avere passando in rassegna l'intero carteggio tra Daniel Amit e Martin Blume, caporedattore dell'*American Physical Society*. Dalla replica di Blume infatti si legge:

Consideriamo la scienza un'impresa internazionale e facciamo del nostro meglio per mettere da parte i disaccordi politici, nell'interesse della promozione della scienza stessa [...] *Crediamo che sia essenziale che tutte le parti in causa facciano ogni sforzo per separare le differenze sociali e politiche dalla loro partecipazione alla ricerca e alle pubblicazioni scientifiche. Il conseguimento della conoscenza scientifica necessita di trascendere da tali questioni.*

A prima vista una tale risposta sembrerebbe quasi ovvia, Blume considera la scienza come una sorta di bene comune (tanto per utilizzare un termine oggi molto in voga) da difendere a tutti i costi, una sorta di perfetta idea iperuranica quasi astratta dal mondo che l'ha generata. Come se la scienza non fosse parte di un processo storico umano. Come se gli scienziati non fossero parte integrante di un sistema in cui anche le guerre e la centralità dell'apparato militare derivano dal meccanismo economico-sociale che ne è alla base. Di segno opposto la risposta di Amit:

Vorrei poter condividere i nobili sentimenti da Lei espressi, così come il Suo ottimismo nel ruolo futuro della scienza e della comunità scientifica. Francamente, e con molta tristezza e dolore, dopo 40 anni di attività e di collaborazione, trovo pochissimi motivi per tale ottimismo. Quello che stiamo guardando oggi, credo sia il culmine di 10-15 anni di crescente imbarbarimento della cultura americana nei riguardi del mondo, coronato dai successi della scienza e della tecnologia come arma importante di distruzione totale [...] *No, il tipo americano di scienza non ha scampo. Personalmente, non posso continuare a essere parte della stessa comunità a cui appartiene la scienza americana. Purtroppo, appartengo a una cultura di simile deviazione spirituale (Israele) la quale sembra essere ugualmente incorreggibile* [...] *Eserciterò tale minuscolo atto di disobbedienza per poter guardare dritto negli occhi dei miei nipoti e dei miei allievi e poter affermare che sapevo.*

Il rifiuto a collaborare con l'American Society è dunque visto come un atto di coerenza. La coerenza di una persona in cui l'attivista pacifista e lo scienziato non sono due entità scisse tra loro, ma compongono un individuo che, al contrario di molti suoi colleghi scienziati, non si nascondeva dietro la foglia di fico della scienza pura. Daniel Amit al contrario prendeva le proprie decisioni in base a dei valori, una morale e un'etica che non si rassegnava a considerare dei meri lemmi dei sillogismi cartesiani.

Nel suo tentativo di responsabilizzare gli scienziati sul loro ruolo nella società, Daniel Amit aveva anche ipotizzato di poter estendere l'idea del giuramento di Ippocrate alle discipline scientifiche.

Figura 1 – Martin Blume, caporedattore delle riviste di fisica afferenti all'*American Physical Society* all'epoca della lettera di Daniel Amit.

Una proposta che può risultare un po' näive, ma che deve essere presa come uno stimolo alla riflessione sul ruolo che ricercatori e ricercatrici ricoprono nella vita politica.
Quello della responsabilità personale degli scienziati, però, non è il problema centrale, ma solamente un piccolo dettaglio di un'analisi molto più complessa. La pressione dei movimenti degli anni '60 e '70, verso la *rilevanza sociale* della ricerca e contro le torri d'avorio, come tante idee buone è stata cooptata dalle forze egemoni del mercato, imponendo la corsa all'applicazione tecnologica. La maggior parte dei finanziamenti vengono assegnati a progetti che giovano a un'idea sbagliata o discutibile di sviluppo economico, che promuove il virtuale, il superfluo, il militare, a spese del sociale e della conservazione ecologica. Il mondo della ricerca collabora, grosso modo, spinto dalla facilità di ottenere finanziamenti, e dall'esposizione mediatica accoppiata all'odierno processo di produzione e commercializzazione. La tecnologia a questo punto ha sostituito il concetto della *rilevanza sociale* dell'attività scientifica. Negli ultimi decenni l'amalgama scienza-tecnologia significa sempre meno scienza e più tecnologia. Il principale problema odierno, secondo Daniel Amit, quindi, non è la collaborazione della scienza con i militari, da sempre attuata, almeno dai tempi della gloriosa scienza ellenistica. Il problema è piuttosto l'integrazione della scienza con questo sistema, la sua crescente identificazione con esso, così come la sua acquiescenza nell'essere usata come la già citata foglia di fico.
Se il professor Amit non si fosse suicidato quest'articolo l'avrebbe scritto lui. Oggi, invece, ci dobbiamo accontentare del fatto che di lui sia rimasta solamente un'idea. Come le figure di Von Braun, Oppenheimer, Teller e Von Neumann hanno ispirato la figura dello scienziato pazzo tanto in voga in film e fumetti anni '60, l'idea che Daniel Amit lascia dietro di sé incarna perfettamente l'immagine dello scienziato di fine XX secolo. Uno scienziato i cui sforzi di non partecipare al consolidamento di un sistema, in cui la scienza è divenuta un elemento accessorio del vigente modello di sviluppo economico, risuonano con quelli di chi, immerso interamente nel vortice di odio e violenza del conflitto israelo-palestinese, tenti in tutti i modi di restare umano.

Nota dell'autore

L'autore di questo articolo ha liberamente saccheggiato il pamphlet "Scienza & Guerra" del fu collettivo ResistenzaFisica, contenente saggi dello stesso Amit, Baracca, Bernardini e Greco. Un grazie infine a Luce Prignano per i suoi preziosi consigli.

Sull'autore

Niccolò Loret (`niccolo@accatagliato.org`) è dottorando presso il gruppo di fisica teorica del Dipartimento di Fisica dell'Università Sapienza di Roma.