

LINGUISTICA *IN SILICO*

1. INTRODUZIONE

Con il termine Dinamica del Linguaggio si indica un settore emergente che si occupa di tutti i processi legati alla nascita, all'evoluzione e all'estinzione di una lingua, o di un sistema di comunicazione condiviso, in una popolazione di individui, siano essi esseri umani, animali o macchine. Si tratta di un settore altamente interdisciplinare che sfrutta l'interazione tra discipline diverse che vanno dalla linguistica, la psicologia e le scienze cognitive alla genetica, la fisica, la matematica e l'informatica. Una recente linea di ricerca ha sottolineato l'importanza di considerare le lingue come il prodotto delle interazioni sociali, nonché dei processi evolutivi biologici, in contrapposizione al paradigma tradizionale che si concentra principalmente sugli aspetti della psicologia individuale.

Un genetista (Dobzhansky 1973) una volta affermò che nulla in biologia ha senso se non alla luce dell'evoluzione. Questa affermazione potrebbe essere parafrasata per sistemi di comunicazione e per il linguaggio, con la differenza fondamentale che l'evoluzione biologica qui lavora fianco a fianco con l'evoluzione culturale (Wittgenstein 1953; Richerson Boyd 2006). Da un punto di vista evolutivo, ci si può disinteressare della funzione del linguaggio come strumento di comunicazione e considerarlo alla stregua di una sorta di codice genetico, trasmesso per via culturale da generazione in generazione. Guardando quindi alla realizzazione dei diversi linguaggi umani nel corso della storia, si può ad esempio ricostruire un albero filogenetico delle lingue, cioè si può cercare di inferire, attraverso lo studio delle parole (fonemi) o delle strutture sintattiche e grammaticali, la relazione di discendenza di una lingua da un'altra.

Recuperando la natura propria del linguaggio come frutto di una tensione verso la comunicazione di un gruppo di individui, questo può essere d'altra parte considerato come una realizzazione di un sistema complesso. Malgrado la complessità dei processi cognitivi e sociali e l'eterogeneità dei comportamenti degli individui, il linguaggio umano, ma più in generale i sistemi di comunicazione, presentano straordinarie regolarità a livello globale, a volte identificate come universali (Comrie

1981). La spiegazione di tali fenomeni macroscopici richiede un approccio statistico al comportamento sociale, cioè il tentativo di capire le regolarità su larga scala come effetto collettivo delle interazioni tra gli individui, intesi come entità relativamente semplici (Buchanan 2007). Lo studio dell'autoorganizzazione ed evoluzione del linguaggio e del significato ha recentemente portato all'idea che una comunità di individui che usa il linguaggio possa essere vista come un sistema dinamico complesso che risolve collettivamente il problema di sviluppare un sistema di comunicazione condiviso (Steels 2000). Inoltre la sempre maggiore disponibilità di dati sulla nascita e l'evoluzione di sistemi di comunicazione ottenuti grazie alle moderne tecnologie dell'informazione, si pensi ad esempio ai messaggi di testo dei protocolli per l'utilizzo con telefoni cellulari o ai fenomeni di annotazione sociale (*tagging*) di risorse (Cattuto Loreto e Pietronero 2007; Cattuto *et al.* 2009), fa sorgere dubbi sul fatto che il linguaggio umano possa essere compreso all'interno un quadro statico, cioè come un sistema congelato in un particolare punto nel tempo con la sua struttura, il vocabolario e la grammatica. Il punto di vista alternativo e più allettante è quello di considerare le lingue in fase di lento ma costante cambiamento dinamico, in cui i parlanti utilizzano tutte le risorse disponibili in modo creativo per raggiungere i propri obiettivi comunicativi, che si tratti di nominare uno specifico oggetto, categorizzare un insieme finito o infinito di oggetti, o comporre frasi di senso compiuto utilizzando in un ordine ben definito diverse parole per esprimere un concetto o per distinguere oggetti diversi e così via.

In questo breve articolo riassumeremo gli approcci teorici che sono stato sviluppati negli ultimi anni per affrontare tali problematiche e metteremo in evidenza come le moderne tecnologie dell'informazione, ed il Web in particolare, stiano delineando la possibilità di una transizione della linguistica in una disciplina sperimentale che permetta di seguire diversi cammini evolutivi, studiare le diverse scale temporali nonché la dipendenza dalle condizioni iniziali. Tutto ciò grazie alla possibilità di monitorare le interazioni, siano esse simboliche e/o cosiddette *embodied* di milioni di utenti e di realizzare esperimenti mirati grazie alle potenzialità del cosiddetto *crowdsourcing*, ossia l'affidamento della risoluzione di problemi complessi ad un insieme distribuito di persone non necessariamente organizzate in una comunità virtuale.

2. ANALISI FILOGENETICA

Iniziamo occupandoci del problema della ricostruzione del percorso evolutivo delle lingue. La filogenetica studia il processo di evoluzione che ha portato alla nascita di un dato insieme di organismi. In particolare ci si pone il problema di individuare relazioni di discendenza, rappresentate tramite un albero filo-genetico (Felsenstein 2004). Più in generale, ci si

può svincolare dall'idea di considerare organismi viventi. Ad esempio, possiamo considerare l'albero delle lingue (Gray e Atkinson, 2003; Tria *et al.* 2010), cioè le relazioni di discendenza di una lingua da un'altra, e in generale di tutte le lingue da una genitrice comune. Se siamo capaci di rappresentare un linguaggio in modo opportuno, possiamo avvalerci di tutti i metodi e gli strumenti che sono stati sviluppati in discipline, quali ad esempio la biologia, che storicamente hanno prestato maggiore attenzione ad un'analisi filogenetica di tipo sistematico, utilizzando cioè dati su larga scala e metodi computazionali relativamente sofisticati (Gascuel 2005). In più, guardando al problema specifico della filogenesi delle lingue, emergono nuovi spunti di ricerca, ad esempio legati alla capacità di trattare opportunamente lingue morte e in particolare quelle che si sono poi evolute in differenti linguaggi. Questo si traduce in un problema matematico: come utilizzare l'informazione che su un albero filogenetico alcuni *taxa* rappresentano nodi interni? Tornando al problema della rappresentazione di un linguaggio ai fini di un'analisi filogenetica, la soluzione più semplice, i cui risultati sono però già sufficientemente accurati, è l'identificazione di una lingua con una lista opportuna di parole (Swadesh 1952; 1955). Un'attenzione particolare è stata rivolta alla compilazione di queste liste nelle diverse lingue (Brown *et al.* 2008): per essere rappresentativa di una lingua una parola deve essere abbastanza stabile da riflettere vicinanza o lontananza tra due lingue, escludendo opportunamente tutte quelle parole che derivano da prestiti di lingue diverse e via dicendo. La rappresentazione di un linguaggio tramite la sua struttura grammaticale o sintattica è molto probabilmente più robusta e accurata (Dunn *et al.* 2005), ma ancora di difficile utilizzo in studi su larga scala.

3. GIOCHI LINGUISTICI

L'inferenza filogenetica ha come punto di partenza la realizzazione dei diversi linguaggi e si preoccupa di trovare delle relazioni di discendenza tra questi. Vogliamo ora domandarci quali sono i meccanismi per cui un linguaggio può emergere, fissarsi in una popolazione in modo da assicurare una possibilità di comunicazione attraverso di esso, e in maniera incessante anche se impercettibile evolvere fino a differenziarsi in maniera evidente da quello di partenza.

Ci concentriamo quindi sul carattere sociale del linguaggio, come realizzazione dell'interazione di un gran numero di individui il cui scopo è la comunicazione. L'interazione può ovviamente avvenire in vari modi: una singola persona può rivolgersi ad una folla o, viceversa, una folla può indirizzare il suo sforzo di comunicazione verso una persona; oppure, più alla pari, un gruppo di persone può voler comunicare prendendo rispettivamente la parola. Lo schema di interazione che viene adottato

in tutti i modelli che verranno considerati è uno schema di interazione a coppia, in cui le coppie vengono continuamente rimescolate. Si considera dunque una popolazione di N individui (agenti) e ciascun atto comunicativo vede impegnati due individui scelti a caso. Questi interagiscono tramite regole ben determinate (per questo possiamo parlare di gioco) e la loro interazione produrrà, a volte, un certo risultato. Terminato un gioco, la coppia si separa e un'altra viene selezionata. Vedremo ora su esempi concreti quali risultati collettivi possono emergere da tali tipi di cosiddetti giochi linguistici (Wittgenstein 1953).

Nel *Naming Game* (Steels 1995; Baronchelli, Loreto e Steels 2008) una popolazione di N ha come scopo quello di dare nomi propri ad oggetti. Sotto quali condizioni il nome trovato è unico e condiviso da tutta la popolazione? Questa domanda viene affrontata simulando un gioco in cui ad ogni istante due individui si incontrano e uno di questi propone un nome per l'oggetto in questione. Il nome proposto viene scelto a caso da una lista che ogni giocatore si è costruita nel corso del gioco. Se la lista è vuota (può accadere solo la prima volta che il giocatore prende parte al gioco) il giocatore inventa un nome. Se chi ascolta ha già quel nome nella propria lista di possibili nomi da associare all'oggetto, il gioco è un successo ed entrambi i giocatori svuotano le rispettive liste conservando solo il nome con cui hanno vinto in quel momento. Altrimenti l'incontro è stato un insuccesso e chi ha ascoltato aggiunge il nome proposto alla sua lista. Con queste semplici regole, dopo un periodo transitorio in cui ognuno nominerà l'oggetto con parole diverse e il successo comunicativo sarà molto basso, si dimostra che tutta la popolazione condividerà lo stesso nome e la comunicazione sarà sempre un successo (Baronchelli *et al.* 2008). Il raggiungimento del consenso non è sempre garantito. È stato mostrata (Baronchelli *et al.* 2008) l'esistenza di una transizione di fase tra uno stato di consenso e uno stato in cui prevale la frammentazione in termini di un parametro che descrive la propensione alla fiducia degli individui. Già da questo semplice esempio si desumono alcune caratteristiche interessanti che comuni anche a giochi linguistici di maggiore complessità: da interazioni di coppia emergono comportamenti collettivi interessanti; un linguaggio comune emerge da queste interazioni o è ostacolato dalle stesse, che sono causa di continue oscillazioni nelle scelte del singolo individuo. La stabilità e l'evoluzione di un linguaggio possono essere visti come il risultato di un equilibrio tra diverse tensioni. Tramite simulazioni di questi giochi si può testare la robustezza di questi equilibri, variando i diversi parametri del modello, sia relativi alle particolari regole proposte, sia relativi alla taglia (numero di agenti) e alla struttura (tipo di connettività sociale) della popolazione presa in esame.

Consideriamo ora un esempio leggermente più complicato. Il *Category Game* (Puglisi, Baronchelli e Loreto 2008) (CG) affronta, con uno schema molto analogo a quello del *Naming Game*, il problema dell'origine

di categorizzazione condivisa di un canale percettivo continuo (si pensi ad esempio al problema dell'origine dei nomi per i colori). Di nuovo, lo scopo viene raggiunto tramite giochi di coppia, in cui le regole sono molto semplici e nessuna si riferisce allo stato collettivo della popolazione. I risultati di questo modello sono stati confrontati con risultati sperimentali riguardanti la categorizzazione che popolazioni diverse hanno dato allo spazio colori. I risultati di ricerche sul campo, raccolti nel *World Color Survey* (WCS) (Cook, Kay e Regier 2005), hanno mostrato che esiste una sorta di universalità nel modo in cui popolazioni diverse suddividono lo spazio dei colori (Kay e Regier 2003). Un colore può essere descritto da un punto in uno spazio tridimensionale: una possibile rappresentazione fa uso delle coordinate luminosità, saturazione e tonalità (legata alla lunghezza d'onda). Il modello del CG considera uno spazio unidimensionale parametrizzato dalla lunghezza d'onda. Una caratteristica della visione umana è la capacità di distinguere due colori solo se differiscono in lunghezza d'onda di una soglia minima e il valore di soglia dipende dalla lunghezza d'onda stessa (Long, Yang e Purves 2006). Se questa funzione, chiamata *Just Noticeable Difference* (JND), viene introdotta come parametro nel CG, il modello, già capace di spiegare una categorizzazione condivisa all'interno di un'unica popolazione, permette di spiegare anche quantitativamente (Baronchelli *et al.* 2010), lo stesso tipo di universalità riscontrato nei dati sperimentali disponibili.

La capacità di trovare analogie tra il linguaggio e sistemi maggiormente studiati (Mézard, Parisi e Virasoro 1987) in discipline storicamente considerate scientifiche si è spinta oltre la constatazione che il linguaggio può essere visto come il risultato di un'interazione tra un gran numero di agenti, e quindi in sostanza come uno stato di un sistema complesso. È stato messo in evidenza come il modello del CG rappresenti il linguaggio non come uno stato d'equilibrio, ma come una configurazione metastabile. Una configurazione, cioè, che può essere considerata stabile su scale di tempo sufficientemente brevi, ma in evoluzione quando si guardano scale di tempo più lunghe. Inoltre, si è mostrato che il sistema presenta caratteristiche tipiche di sistemi che «invecchiano» (Vincent *et al.* 1997; Leuzzi e Nieuwenhuizen 2007): linguaggi appena formati hanno risposte diverse a perturbazioni rispetto a linguaggi più antichi e in generale è più facile modificare un linguaggio recente rispetto ad uno in uno stadio evolutivo più avanzato. Queste proprietà, facilmente attribuibili al linguaggio umano, vengono ritrovate in un contesto unitario, in cui il carattere evolutivo e quello di robustezza vengono spiegati all'interno di uno stesso schema teorico (Mukherjee *et al.* 2011).

L'insieme dei risultati esposti è estremamente promettente perché mostra come modelli semplici, basati su interazioni elementari, permettano di catturare aspetti essenziali di un sistema complesso come il linguaggio. Inoltre tali approcci permettono di rendere conto di aspetti

apparentemente contraddittori del linguaggio: da un lato la sua flessibilità ed adattabilità nel tempo, dall'altro la robustezza, che assicura, almeno nella maggior parte dei casi, un successo comunicativo.

4. VERSO UN APPROCCIO SPERIMENTALE

A Vienna, nel 1770, il nobile ungherese Wolfgang von Kempelen presenta alla corte dell'imperatrice Maria Teresa un automa meccanico, ribattezzato «il Turco», capace di giocare a scacchi ad altissimo livello contro un antagonista umano e di risolvere il problema del «Giro del Cavallo», che consiste nel muovere un cavallo su una scacchiera (a partire da un quadrato qualsiasi e rispettando le regole previste dagli scacchi per questo pezzo) in modo da «saltare» su tutti i quadrati della scacchiera, ma una volta sola per ciascun quadrato. L'automa, andato distrutto nel 1854 a causa di un incendio, si rivelò essere una meravigliosa illusione. Esso nascondeva al suo interno un maestro di scacchi la cui carriera come «automa» terminò solo nel 1820, non prima di avere battuto per più di ottanta anni molti sfidanti tra i quali Napoleone Bonaparte e Benjamin Franklin.

A partire dal secondo dopoguerra, l'avvento dei moderni calcolatori elettronici oscura parzialmente il contributo umano alla soluzione di problemi computazionali, relegandolo, di fatto, in un ruolo di formalizzazione di specifici problemi in termini di opportuni algoritmi. Questa transizione marca in qualche modo l'inizio dell'era della cosiddetta Intelligenza Artificiale, locuzione con cui in genere si indica l'abilità di un computer (inteso ora in senso di macchina elettronica) di svolgere funzioni e ragionamenti tipici della mente umana.

Oggi, la diffusione capillare dell'accesso ad Internet sta rendendo possibili nuove modalità di interazione fra gli utenti del Web e l'informazione disponibile online. Con l'aumentare del numero degli agenti umani che interagiscono con i sistemi tecnologici accessibili sul Web, è emerso un nuovo paradigma, il cosiddetto «Web 2.0», che enfatizza il ruolo delle capacità cognitive dei computer umani per tutti i compiti di correlazione e contestualizzazione che nessun agente automatico, anche dopo cinquant'anni di Intelligenza Artificiale, è in grado di fornire. La comprensione delle reti di informazione mediate dall'attività degli utenti rappresenta una sfida formidabile perché tali reti mescolano in una maniera non predicibile aspetti cognitivi e sociali, propri degli utenti, con la soggiacente struttura tecnologica.

Nella nuova visione del Web dunque gli utenti rivestono un ruolo decisamente nuovo, non più semplici consumatori o produttori d'informazione, ma architetti essi stessi dell'informazione, strutturata secondo criteri semantici, ossia legati al significato. In questo senso il Web, accompagnato dalle nuove tecnologie di comunicazione ed interazione,

sta diventando un'infrastruttura per una «computazione sociale», poiché esso consente di coordinare le capacità cognitive di computer umani, indirizzandone l'azione verso obiettivi prestabiliti ed integrando le loro soluzioni. Un ritorno al futuro foriero di opportunità per la computazione e la sperimentazione in ambiti, come quello delle scienze sociali e cognitive, in cui il contributo prettamente «umano» è cruciale.

Un esempio particolarmente originale è rappresentato da *Mechanical Turk* (MT) (<https://www.mturk.com/mturk/welcome>), una piattaforma web che riproduce un mercato del lavoro virtuale in cui gli utenti svolgono compiti, anche noti come *Human Intelligence Tasks*, proposti da «datori di lavoro» e vengono retribuiti per questo. Le retribuzioni oscillano tra i cinque centesimi di dollaro per i compiti più semplici a poco più di un dollaro per i più complessi. Esempi di compiti vanno dalla categorizzazione di immagini, alla trascrizione di registrazioni audio al test di siti web o giochi. MT è forse uno dei chiari esempi del cosiddetto *crowdsourcing* e migliaia di progetti, ognuno parcellizzato in piccole unità di lavoro, sono svolti ogni giorno da migliaia di utenti.

Proprio grazie alla possibilità di reclutare in tempi brevi migliaia di soggetti, MT rappresenta una risorsa potenzialmente rivoluzionaria per la realizzazione di esperimenti nell'ambito delle scienze sociali (Chilton *et al.* 2009; Paolacci, Chandler e Ipeirotis 2010). Esso potrebbe diventare uno strumento per lo sviluppo rapido di studi pilota per l'applicazione di nuove idee sperimentali. Come punto di partenza verso questa nuova idea di sperimentazione, il blog <http://experimentalturk.wordpress.com/> è stato recentemente attivato e presenta già una rassegna dei risultati di una serie di esperimenti classici di Teoria dei Giochi effettuati su MT (Suri e Watts 2010).

Un'altra interessante direzione è rappresentata dalla possibilità di realizzare piattaforme Web di interazioni tra agenti umani con cui riprodurre le dinamiche dei giochi linguistici. In tal modo è infatti possibile raccogliere dati anche su grandi popolazioni in modo che ogni aspetto della dinamica sia noto ed analizzabile a posteriori ma non prevedibile a priori, essendo il fattore umano essenziale. Un primo passo in questa direzione è rappresentato dal cosiddetto *CodeGambler* (<http://virtualindia.msresearch.in/CodeGambler/>), una piattaforma che permette ad agenti umani di giocare il *Category Game*.

La piattaforma *Copystree* (<http://copystree.tagora.it/>) fornisce un altro esempio in questa direzione, coordinando l'attività di utenti volontari per simulare processi evolutivi e costruire alberi filogenetici artificiali.

5. CONCLUSIONI

In questo articolo abbiamo passato brevemente in rassegna i recenti sviluppi nell'area della dinamica del linguaggio, sia da un punto di vista

teorico sia da un punto di vista sperimentale, con una particolare enfasi per gli esperimenti che permettono di monitorare in modo controllato la semantica emergente in nuovi sistemi di comunicazione. La combinazione di questi due punti di vista sta aprendo prospettive inimmaginabili fino a pochi anni fa per lo studio della nascita e dell'evoluzione del linguaggio. I nuovi strumenti potrebbero infatti giocare un ruolo determinante nell'accompagnare la transizione, già in corso, della linguistica in una disciplina sperimentale in cui più percorsi evolutivi, diverse scale temporali e la dipendenza dalle condizioni iniziali possano essere efficacemente controllate e modellizzate.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Baronchelli A., Loreto V. e Steels L. (2008), *In-depth analysis of the naming game dynamics: The homogeneous mixing case*, in «International Journal of Modern Physics C», 19, 5, pp. 785-812.
- Baronchelli A., Gong T., Puglisi A. e Loreto V. (2010), *Modelling the emergence of universality in color naming patterns*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 107, pp. 2403-2407.
- Brown C.H., Holman E.W., Wichmann S. e Velupillai V. (2008), *Automated classification of the World's languages: A description of the method and preliminary results*, in «STUF – Language Typology and Universals», 61, 4, pp. 285-308.
- Buchanan M. (2007), *The social atom*, New York, Bloomsbury.
- Cattuto C., Loreto V. e Pietronero L. (2007), *Semiotic dynamics and collaborative tagging*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 104, 5, 1461-1464.
- Cattuto C., Barrat A., Baldassarri A., Schehr G. e Loreto V. (2009), *Collective dynamics of social annotation*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 106, 26, pp. 10511-10515.
- Chilton L.B., Sims C.T., Goldman M., Little G. e Miller R.C. (2009), *Seaweed: A web application for designing economic games*, in «Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on Human Computation – HCOMP '09», pp. 34-35.
- Comrie B. (1981), *Language universals and linguistic typology: Syntax and morphology*, Oxford, Blackwell.
- Cook R.S., Kay P. e Regier T. (2005), *The World Color Survey database: History and use. Handbook of categorisation in the cognitive sciences*, Amsterdam and London: Elsevier.
- Dobzhansky T. (1973), *Nothing in biology makes sense except in the light of evolution*, in «American Biology Teacher», 35, pp. 125-129.
- Dunn M., Terrill A., Reesink G., Foley R.A. e Levinson S.C. (2005), *Structural phylogenetics and the reconstruction of ancient language history*, in «Science», 309, pp. 2072-2075.
- Felsenstein J. (2004), *Inferring phylogenies*, Sunderland, MA, Sinauer Associates.
- Gray R.D. e Atkinson Q.D. (2003), *Language-tree divergence times support the Anatolian theory of Indo-European origin*, in «Nature», 426, pp. 435-439.

- Kay P. e Regier T. (2003), *Resolving the question of color naming universals*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 100, 15, pp. 9085-9089.
- Leuzzi L. e Nieuwenhuizen T.M. (2007), *Thermodynamics of the glassy state*, London, Taylor and Francis.
- Long F., Yang Z. e Purves D. (2006), *Spectral statistics in natural scenes predict hue, saturation, and brightness*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 103, 15, pp. 6013-6018.
- Mézard M., Parisi G. e Virasoro M.A. (1987), *Spin glass theory and beyond*, Singapore, World Scientific.
- Mukherjee A., Tria F., Baronchelli A., Puglisi A. e Loreto V. (2011), *Aging in language dynamics*, in «PLoS ONE», 6, e16677.
- Gascuel O. (a cura di) (2005), *Mathematics of evolution and phylogeny*, Oxford, Oxford University Press.
- Paolacci G., Chandler J. e Ipeirotis P.G. (2010), *Running experiments on Amazon Mechanical Turk*, in «Judgment and Decision Making», 5, pp. 411-419.
- Puglisi A., Baronchelli A. e Loreto V. (2008), *Cultural route to the emergence of linguistic categories*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 105, 23, pp. 7936-7940.
- Richerson P.J. e Boyd R. (2006), *Not by genes alone: How culture transformed human evolution*, Chicago, IL, University of Chicago Press.
- Suri S. e Watts D.J. (2010), *Cooperation and contagion in web-based, networked public goods experiments*, Computing Research Repository (CORR).
- Steels L. (1995), *A self-organizing spatial vocabulary*, in «Artificial Life», 2, 3, pp. 319-332.
- Steels L. (2000), *Language as a complex adaptive system*, in M. Schoenauer (a cura di), *Proceedings of PPSN VI. Lecture notes in computer science*, Berlin, Springer-Verlag.
- Swadesh M. (1952), *Lexico-statistic dating of prehistoric ethnic contacts*, in «Proceedings of the American Philosophical Society», 96, pp. 452-463.
- Swadesh M. (1955), *Towards greater accuracy in lexicostatistic dating*, in «International Journal of American Linguistics», 21, pp. 121-137.
- Tria F., Caglioti E., Pagnani A. e Loreto V. (2010), *A stochastic local search approach to language trees reconstruction*, in «Diachronica», 27, 2, pp. 341-358.
- Vincent E., Hammann, J., Ocio, M., Bouchaud, J-P. e Cugliandolo L.F. (1997), *Slow dynamics and aging in spin glasses*, in M. Rubí e C. Pérez-Vicente (a cura di), *Complex behaviour of glassy systems. Lecture notes in physics*, vol. 492, Berlin, Springer, pp. 184-219.
- Wittgenstein L. (1953). *Philosophical investigations*, Oxford, Basil Blackwell.

Gli autori ringraziano A. Baronchelli, C. Cattuto, M. Choudhury, A. Mukherjee, G. Paolacci, A. Puglisi, L. Steels e M. Warglien per le interessanti collaborazioni sui temi discussi in questo articolo.

Vittorio Loreto, Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma. E-mail: vittorio.loreto@roma1.infn.it

