

Al confine di ciò che è noto

Francesco Merenda Scuola superiore ISUFI, Unisalento.

Una fertile area di studio dell'epistemologia moderna riguarda l'indagine sullo sviluppo e sul progresso della conoscenza: come avviene questo processo? Ci sono tappe fisse comuni che permettano di schematizzarlo? Questa è una delle idee cardine di "The dynamics of correlated novelties" [1], articolo pubblicato su Nature nel 2014, che apre alla discussione sull'espansione dell'adiacente possibile, felice espressione che ben inquadra lo sviluppo e la macchina del conoscere e del come conoscere.

Introduzione

I quattro autori dell'articolo tentano un'ambiziosa liaison tra i concetti di **innovazione** e **novità**, dove l'innovazione indica qualcosa di creato per la prima volta, qualcosa di nuovo per il mondo e per l'umanità, mentre la novità è qualcosa di nuovo per chi la esperisce, per il singolo. Le innovazioni sono novità per tutti. Esempio di novità per il singolo è l'ascolto di una nuova canzone o la lettura di un sito inedito, stimolati magari dall'esplorazione di musica e ipertesti che già si conoscono. Ecco, questa esplorazione di cui neppure si parla, tanto è banale e comune questo meccanismo, è della stessa sostanza dello studio del mondo e delle sue regole, dell'invenzione e dell'allargarsi della frontiera del noto? Esattamente come una molecola è ad un passo, una

reazione, di distanza da altre molecole ad essa simili, esattamente come un sito web è ad un click, un link, di distanza da altri che non conosciamo, anche l'innovazione scientifica deve funzionare allo stesso modo: ogni qual volta si esplora un effetto fisico, una reazione chimica inedita, o una semplice canzone sconosciuta, tale oggetto emerge e si palesa a noi con una nuvola di possibilità che lo circondano, altre idee in potenza che possono scaturirne in pochi passi logici.

Stuart Kauffman, biologo teorico, è stato il primo a ragionare sul concetto di **adiacente possibile** [2]. Esso è l'insieme di tutti quegli elementi che sono ad un passo di scarto da ciò che esiste, è ciò che si può raggiungere ricombinando ciò che già si conosce. Kauffman formulò quattro leggi generali che potessero agevolare lo studio sistematico delle biosfere; l'ultima di queste concerneva proprio l'idea di adiacente possibile. Ogni biosfera tende a espandere nel suo adiacente possibile, incrementando la sua diversità e quella del suo futuro. Questa esplorazione, limitata dal controllo della sua organizzazione interna, impiegherebbe secoli. Steven < Johnson, divulgatore scientifico e teorico dei media, pone al primo posto del suo "Where good ideas come from" l'adiacente possibile, reame ove l'evoluzione e l'innovazione hanno più frequentemente luogo [3]. Ogni cosa ha il suo tempo: ogni passo verso l'evoluzione successiva apre possibilità a combinazioni ulteriori, nuvole di potenziale. Come Amazon non poteva nascere prima del-

l'invenzione dei computer, e come l'uranio non poteva esistere prima delle supernove, è l'adiacente possibile a decretare cosa possa nascere quando. I grandi salti evolutivi, oltre lo sconosciuto più prossimo, sono rari e di vita breve: molte grandi menti nate in secoli che non potevano accogliere il loro genio, sono state ostacolate dall'impreparazione dell'ambiente. O con un altro esempio, se YouTube fosse stato pensato e creato negli anni Novanta, non avrebbe avuto alcun successo, poiché nessuno aveva una connessione sufficientemente rapida o un computer abbastanza potente. In altre parole, le idee innovative evolvono generalmente a ritmo lento e passo dopo passo, erodendo il confine dell'ignoto, e rare sono le improvvise rivoluzioni, per quanto affascinanti.

Vittorio Loreto, tra gli autori dell'articolo sulla dinamica delle novità correlate, tende ad umanizzare il genio che permise queste improvvise rivoluzioni [4]. Si consideri ad esempio la teoria della gravitazione universale: spesso si guarda a Newton come alieno dall'intelligenza superiore, capace di un'impresa a noi inconcepibile. Ma deve esserci stato un percorso, lungo o breve, fatto di gradini e mattoni uno sull'altro, che ha reso concepibile ciò che non lo era. La storia della mela di Newton è probabilmente fantasia, ma metaforicamente deve esserci stata una mela, un concetto a portata di mano che ha facilitato questo *breakthrough*. Qualcosa deve aver reso concepibile ad Einstein i primi concetti della sua teoria della relatività generale, qualcosa deve aver condotto a portata di logica ciò che prima era ignoto e lontano dalla frontiera dell'adiacente possibile. Ma è molto difficile immaginare lo spazio dell'adiacente possibile: esso è uno spazio non predefinito, che non possiamo prevedere, ma che invece si plasma e si modifica continuamente, in conseguenza delle nostre scelte e delle nostre azioni.

"The dynamics of correlated novelties" vuole dunque tracciare una somiglianza tra innovazione e novità, il che illumina un contatto tra il rigoroso progresso biologico, tecnologico e sociologico e la realtà banale di tutti i giorni. Per la prima volta si è riusciti a dare una sostanza scientifica all'intuizione di questo ponte logico, potendo formulare previsioni sul mondo in cui si esperisce e si scopre. Nasce un modello ma-

tematico, che fornisce indizi su come investigare lo spazio delle possibilità: questo ha enormi potenzialità, nell'educazione, nella ricerca, nel mondo del business, nell'intelligenza artificiale, nell'epistemologia, insomma in ogni campo dove una novità ne cova un'altra. Per la prima volta si può dare una forma scientifica al concetto di creatività.

Tria, Loreto, Servedio e Strogatz, i quattro autori, lavorarono su due set di dati riguardanti innovazioni, e due set di dati riguardanti novità, riscontrando lo stesso andamento statistico. Tra i set sulle innovazioni, si considerava la creazione di nuove pagine di Wikipedia e l'introduzione di *tag* su del.icio.us (un servizio di social bookmarking, ove trovare elenchi di segnalibri creati dagli utenti, che associano tag, o parole chiave, a risorse sul web, a mo' di filtro e di facilitazione della ricerca); tra i set sulle *novelties*, o novità individuali, si considerava la prima apparizione di ciascuna parola in un testo o la prima volta che un certo utente ascoltava un determinato brano musicale. La filigrana statistica osservata era la stessa: davvero allora si poteva immaginare che i due concetti chiave fossero, sullo stesso piano, manifestazioni di correlazioni passo dopo passo, generate dal progressivo allargarsi dell'adiacente possibile.

Un modello quantitativo

Il tasso di comparsa di novità può essere quantificato dall'aumentare del numero $D(N)$ di elementi distinti in una sequenza ordinata di dati lunga N . Tale numero cresce con una legge di potenza sublineare (con esponente $\beta < 1$), seguendo la cosiddetta legge di Heaps, nata proprio per descrivere fenomeni socio-linguistici di questo tipo, vedi la Fig. 1. Il tasso di comparsa di novità diminuisce cioè nel tempo come $t^{\beta-1}$. Si osserva anche la frequenza di determinati elementi in ogni stringa di dati, studiando la distribuzione frequenza-rango. Com'è noto, la coda di ogni set di questo tipo segue una legge di Zipf, il cui esponente α è compatibile con quello di Heaps mediante $\alpha = 1/\beta$, Fig. 1. Un modello matematico semplice come quello proposto nell'articolo in esame non può descrivere anche le caratteristiche specifiche a basso rango, ma inquadra bene soltanto la coda di alto rango dei diversi insiemi.

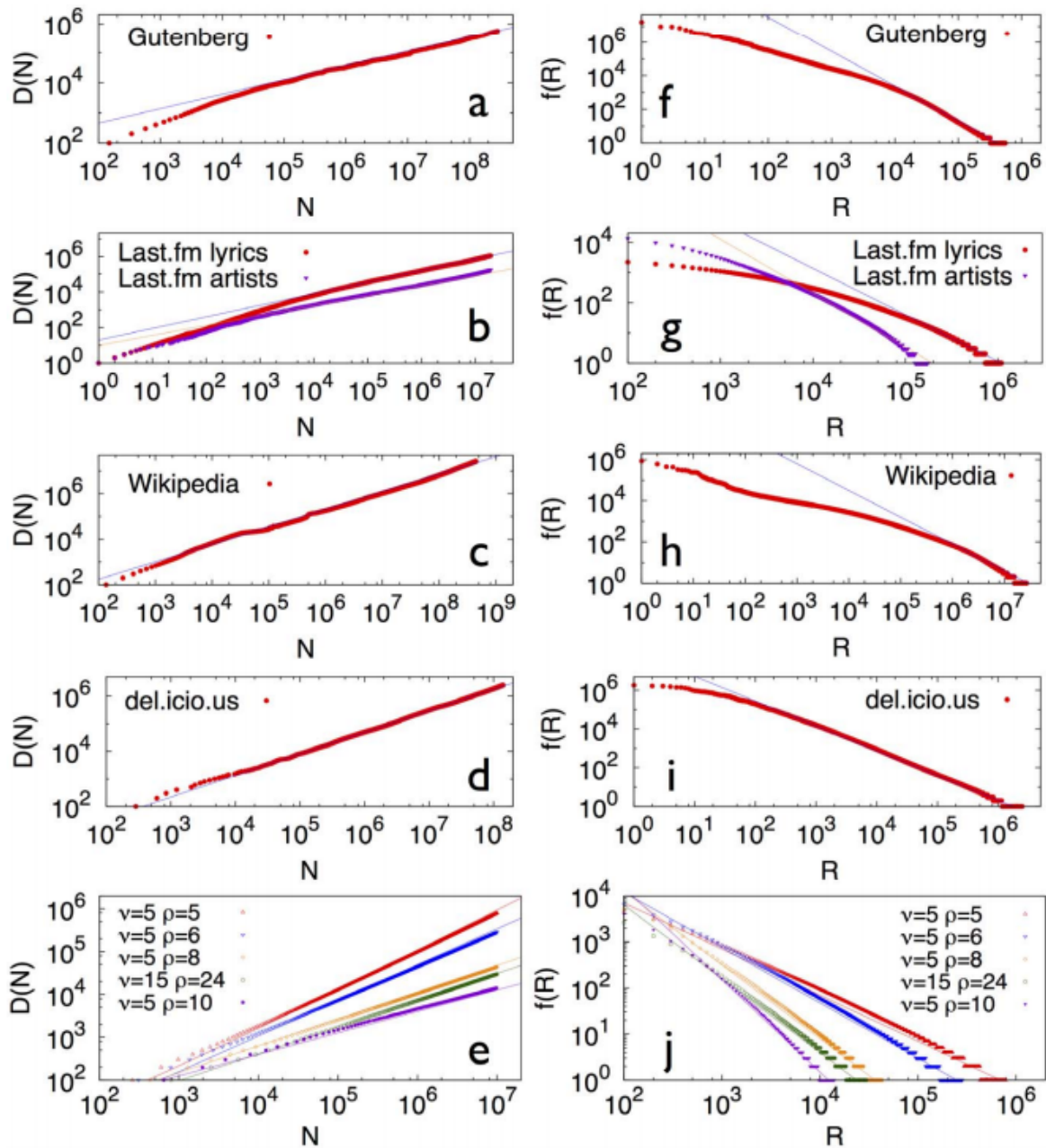


Figura 1: Legge di Heaps (a-e) e legge di Zipf (f-j) in set reali (a-d,f-i) e nel modello dell'urna con triggering (e,j). Le linee rette dei grafici di Heaps indicano funzioni $f(x) = ax^\beta$. Le linee rette dei grafici di Zipf indicano funzioni $f(x) = ax^{-\alpha}$. La corrispondenza tra gli esponenti è valida solo asintoticamente.

Come ulteriore struttura, nelle analisi di testi e corpora di testi, vengono introdotte l'entropia degli eventi associati ad un certo gruppo semantico e la distribuzione $f(l)$ degli intervalli di tempo tra due apparizioni successive di eventi dello stesso gruppo semantico; le due grandezze misurano l'importanza degli effetti di *clustering* tra gli eventi di un gruppo, che fanno riferimento al tasso di correlazione e di *triggering* (come la persistenza o la ripetizione di un argomento in un paragrafo). Un altro accorgimento preso è

il *reshuffle*, cioè il rimescolamento di ogni set di dati, per mettere da parte gli effetti casuali di correlazione temporale, Fig. 2: casi di correlazione semantica sono facilmente individuati da un brusco crollo dell'entropia tra i campioni di base e quelli rimescolati. Le distribuzioni $f(l)$ invece mostrano picchi più alti per distacchi temporali minori nel caso iniziale rispetto a quello rimescolato, indicando che eventi dello stesso gruppo semantico appaiono spesso in cluster Fig. 3. In altre parole, valori più bassi dell'entropia

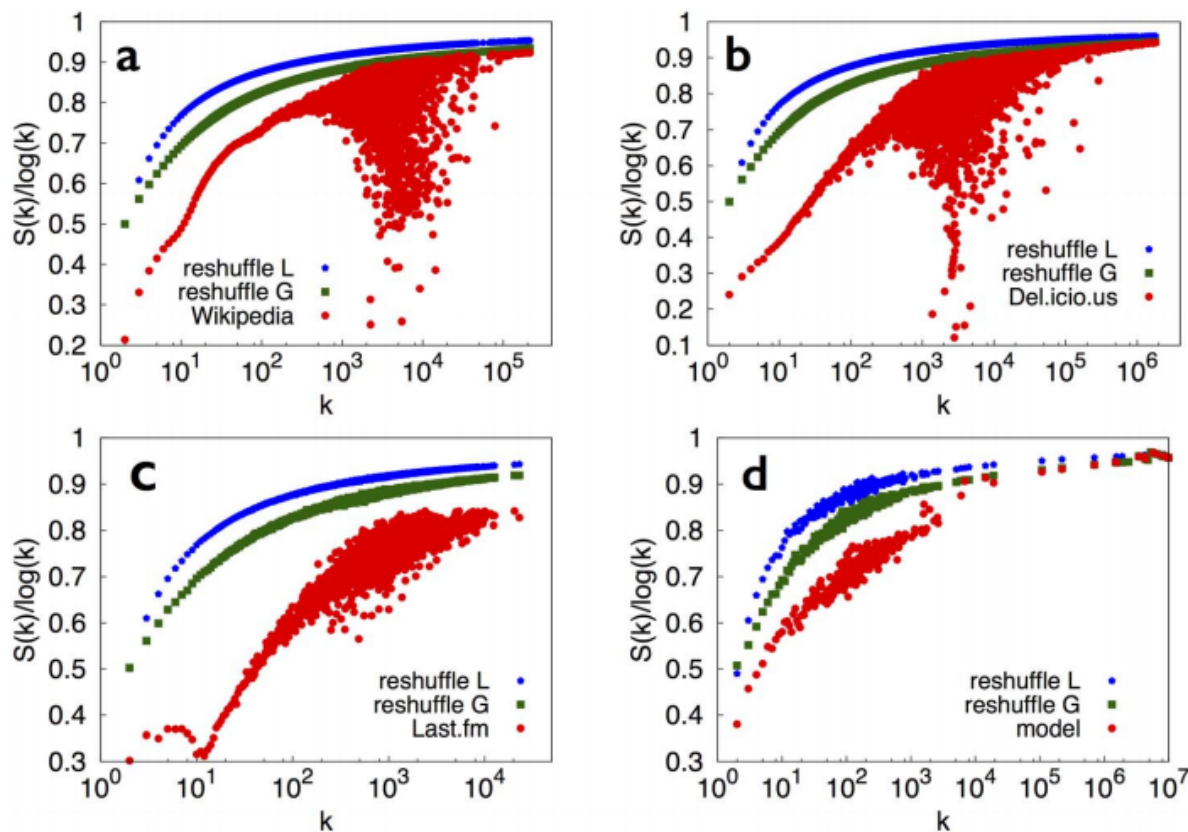


Figura 2: Entropia normalizzata per dati reali (a-c) e nel modello con urna e triggering semantico (d). Entropia per una sequenza associata ad una determinata etichetta A in funzione del numero di eventi k con tale etichetta. L'entropia è mediata, per ogni k , sulle etichette con lo stesso numero di apparizioni.

corrispondono a strutture molto clusterizzate, raggruppate di apparizioni della stessa area semantica. Questo succede non solo considerando insiemi molto vasti di dati, ma anche concentrandosi solo su testi specifici e individuali (sono stati usati come esempio l'Iliade, David Copperfield, Moby Dick e altri).

Il modello matematico usato parte dall'urna di Polya, che contiene biglie di diversi colori, Fig. 4. Una biglia viene estratta in maniera casuale e rimessa nell'urna insieme ad un certo numero di biglie dello stesso colore, incrementando la probabilità (o meglio la verosimiglianza o *likelihood* che lo stesso colore venga nuovamente estratto, plasmando una dinamica *rich-get-richer* che è strettamente in contatto con una legge di potenza. L'urna è lo spazio delle possibilità, la stringa di dati che racconta la storia delle estrazioni passate è ciò che si è realizzato in una certa disciplina. Il passo successivo è stimolare novità inedite e imprevedibili in maniera cooperativa. L'urna contiene ancora N_0 biglie di diversi colori: le parole di un dialogo, le canzoni ascoltate,

i siti visitati, qualsiasi prodotto della creatività umana o esperienza del singolo. Il dialogo, la cronologia, il testo costituiscono una stringa S di elementi generati con estrazioni successive. Selezionata al tempo t una biglia s_t dall'urna, e avendola catalogata in sequenza, la rimettiamo nell'urna con ρ copie dello stesso colore, a rappresentare il rinforzo, il riapparire della stessa parola in un testo dopo la sua prima citazione. Stavolta però, se la biglia scelta non era mai stata estratta prima, cioè se per la prima volta la inseriamo nella stringa descrittiva delle estrazioni, metteremo $\nu + 1$ nuove biglie, di colori nuovi e prima assenti nell'urna: sono le nuove possibilità che la novità s_t ha sbloccato. Il numero $\nu + 1$ la dimensione dell'adiacente possibile cui abbiamo, mentre l'urna va riempiendosi sempre più di biglie, sempre più di conoscenza che rielaboreremo per grattare la superficie di ciò che non sappiamo.

La chiave di questo ragionamento è il progressivo bilanciamento tra biglie già note, parole già scritte, e biglie di colori mai visti, cioè il *triggering*

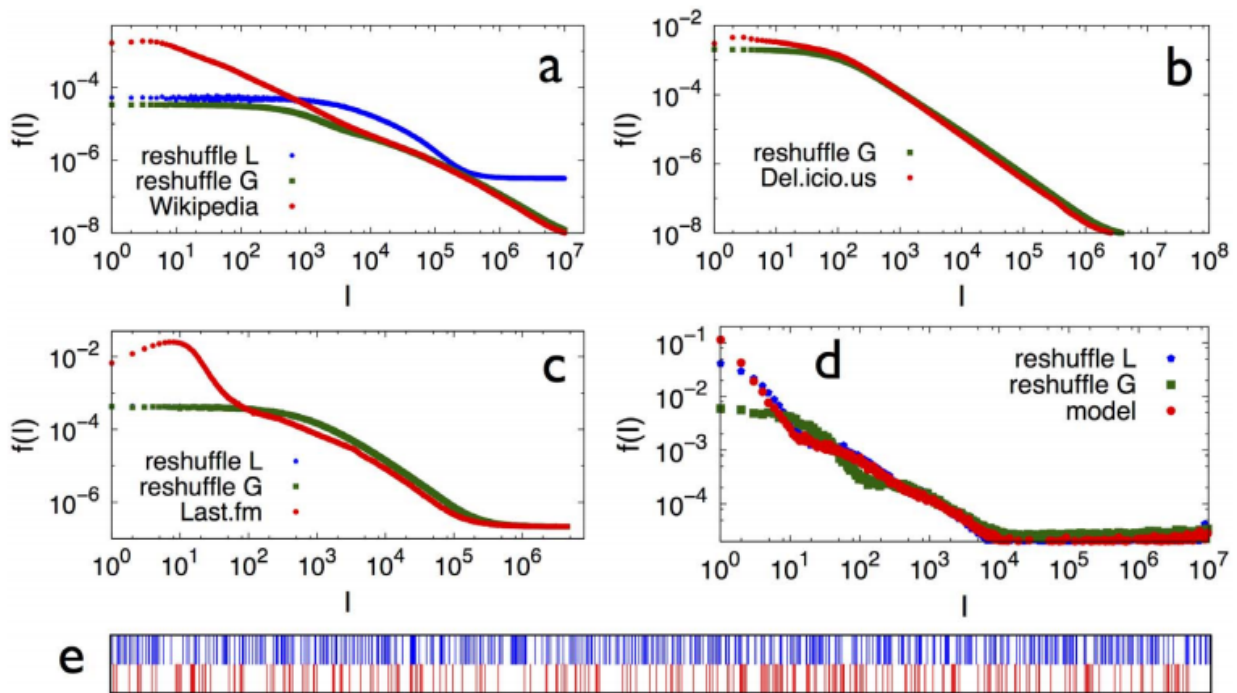


Figura 3: Distribuzione degli intervalli di triggering in dati reali (a-c) e nel modello semantico (d).

di elementi nuovi. Quando il rinforzo è più forte della novità, la crescita di $D(N)$ è sublineare; quando la novità e il triggering sono più forti del semplice rinforzo, cioè il parametro ν incide più di ρ sulle leggi di Heaps-Zipf, la crescita di $D(N)$ è lineare. Più precisamente:

$$D(N) \sim N^{\nu/\rho} \text{ if } \nu < \rho$$

$$D(N) \sim N / \log N \text{ if } \nu = \rho$$

$$D(N) \sim N \text{ if } \nu > \rho$$

Non resta che infondere il modello con una nozione di semantica, perché sia dotato di un *bias* che porti quasi consapevolmente verso la realizzazione di nuove possibilità, Fig. 4. Ad ogni elemento saranno associate delle etichette che ne descrivono il gruppo semantico. L'urna sarà divisa in $N_0/(\nu + 1)$ gruppi semantici, dove gli elementi di ogni gruppo hanno la stessa etichetta. A ogni istante di tempo si faciliterà l'estrazione di certe biglie, ovvero si darà un peso pari a 1 a ogni biglia con la stessa etichetta A di quella estratta al passo precedente, s_{t-1} ; si darà un peso pari a 1 anche all'elemento-novità che aveva provocato l'immissione nell'urna degli elementi con la stessa etichetta A , e infine lo stesso peso sarà dato agli elementi che s_{t-1} ha elicitato. **eccitato, selezionato?** A tutte le altre biglie, un peso

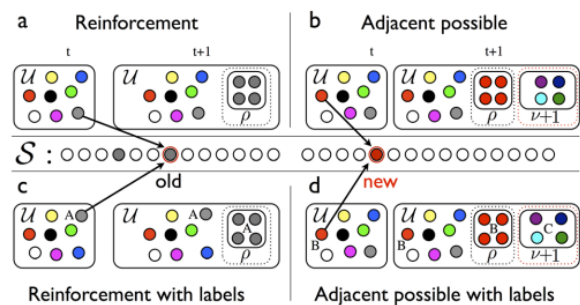


Figura 4: Modello con urna (a), con urna e triggering (b), e corrispondenti estensioni con triggering semantico (c,d). In (a) è riportato un esempio di rinforzo, poiché un elemento già estratto in precedenza viene nuovamente estratto. In (b) è riportato un esempio di evoluzione dell'adiacente possibile. In (c,d) ogni elemento ha un'etichetta di contesto semantico, che si conserva in caso di rinforzo e non in caso di triggering di novità.

minore $\eta \leq 1$; si estrae poi un nuovo elemento s_t per l'istante di tempo corrente, con una probabilità proporzionale al suo peso, e lo si inserisce regolarmente in stringa. La biglia ora estratta si rimette nell'urna con ρ sue copie identiche e, se non era mai stata estratta prima, $\nu + 1$ biglie nuove e distinte, tutte però con una stessa etichetta, cioè si inseriscono $\nu + 1$ nuove parole di uno stesso gruppo semantico. Se poi $\eta = 1$, si torna

al modello precedentemente descritto. Questo modello semantico riproduce bene le leggi di Heaps e Zipf, nonché l'andamento di entropia e distribuzione degli intervalli, corroborando l'intuizione che connette la dinamica delle novità in correlazione con l'idea fortunata di adiacente possibile.



- [1] F. Tria, V. Loreto, V.D.P. Servedio, S.H. Strogatz, *The dynamics of correlated novelties*. Nature Scientific Reports, 2014 - <https://www.nature.com/articles/srep05890>.
- [2] *The adjacent possible – A talk with Stuart A. Kauffman*. Edge, 2003 - https://www.edge.org/conversation/stuart_a_kauffman-the-adjacent-possible.
- [3] *The key lessons from "Where Good Ideas Come From" by Steven Johnson*. Blinkist Magazine, 2013 - <https://medium.com/key-lessons-from-books/the-key-lessons-from-where-good-ideas-come-from-by-steven-johnson-1798e11becdb>.
- [4] V.Loreto, *Need a new idea? Start at the edge of what is known*. TEDtalk, 2017 - https://www.ted.com/talks/vittorio_loreto_need_a_new_idea_start_at_the_edge_of_what_is_known.



Francesco Merenda: studente della laurea magistrale in Fisica, primo anno