

VERSO UNA SEMANTICA QUANTISTICA? APPLICAZIONI AL DISCORSO RELIGIOSO⁽¹⁾

FRANCESCO GALOFARO, ZENO TOFFANO*

ENGLISH TITLE: *Toward a Quantum Semantics? Applications to Religious Discourse.*

ABSTRACT: since 2014 the authors have been developing an algorithm which exports to the field of Information Retrieval some concepts and models from quantum theory: entanglement and correlation due to quantum interference. In this article we explore the linguistic and semiotic implications of a quantum-like semantic theory, reconstructing the relationships between our work and a wide field of study borrowing statistical instruments from quantum theory and applying them to humanities and social sciences. Finally, as an example, we will show how our algorithm works on a case study: religious discourse in new media. In particular, the application of quantum instruments is helpful to understand how the quotation of a Twitter message in the reply modifies its original semantic profile.

KEYWORDS: quantum-like, structural semantics, von Neumann information, non-commutativity, non-compositionality

A partire dal 2014 abbiamo proposto e sviluppato un algoritmo che esporta al campo dell'*Information Retrieval* alcuni concetti e modelli provenienti dal mondo dei quanti: in particolare, *entanglement* e correlazione. In questo articolo vorremmo esplorare i fondamenti linguistici e semiotici del nostro lavoro, in relazione a un più ampio ambito di studi che, data la natura statistica della fisica dei quanti, ne prende a prestito alcuni strumenti

(1) Questo progetto ha ricevuto finanziamenti dall'European Research Council (ERC) nell'ambito del programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione europea, in virtù della convenzione di finanziamento n. 757314.

* **Università degli Studi di Torino**; Centrale Supélec.

applicandoli alle scienze umane e sociali. Infine, a titolo di esempio, mostreremo un'applicazione del nostro algoritmo a un caso studio specifico: la circolazione del discorso religioso nei nuovi media. In particolare, l'algoritmo è utile a comprendere come l'atto di citare un messaggio di Twitter in una risposta ne modifichi il profilo semantico originario.

1. *Quantum-like e Quantum Information Retrieval*

L'*Information Retrieval* è stato il primo campo in cui si è delineata la possibilità di impiegare strumenti quantistici per acquisire informazioni sul piano del contenuto della lingua. Il tentativo si inserisce in un più ampio filone di ricerca sorto negli ultimi venti anni e noto come *quantum-like*:

Gli anni recenti sono caratterizzati da una vera esplosione dell'interesse alle applicazioni della teoria della misurazione quantistica e altre parti del formalismo quantistico al di fuori della fisica, in particolare in psicologia, decision making, economia, finanza e scienze sociali (Khrennikov 2020).

Come si vede dall'elenco, sono soprattutto le scienze sociali ad essere interessate dai modelli quantistici. In questo ambito, Zeno Toffano ha proposto diversi contributi proponendo una logica basata sugli operatori (Toffano e Dubois 2020) e una sua applicazione ai robot di Braitenberg (Toffano e Dubois 2019) che presenta un interesse semiotico specie per quanto riguarda la formalizzazione delle passioni.

In via generale, l'*Information Retrieval* si dedica a estrarre informazione dai documenti. In questo ambito, quello di Keith van Rijsbergen (2004) è il volume pionieristico che ha aperto alle applicazioni della matematica dei quanti. Lo scopo per cui, in origine, Van Rijsbergen ha proposto l'adozione del formalismo dei quanti è molto pratico: unificare i tre approcci tradizionali, paralleli e non sempre comunicanti, al problema dell'*Information Retrieval*: logico, geometrico e probabilistico.

Questi tre e probabilmente anche altri possono essere descritti nello spazio di Hilbert. Il ragionamento che si trova in ciascuno di questi modelli

è formulato algebricamente e si può mostrare come esso dipenda essenzialmente dalla geometria dello spazio dell'informazione. La geometria può essere vista come un linguaggio per esprimere i differenti modelli di Information Retrieval (Rijsbergen 2004, p. ix, traduzione nostra).

Nella proposta di van Rijsbergen, ogni documento è rappresentato come in fig. 1: un *vettore unitario* nello spazio dell'informazione generato da una base (X, X_{\perp}) che rappresenta la presenza/assenza di una certa proprietà, ad esempio la pertinenza (*relevance*) a una domanda di ricerca (*query*). Le proiezioni del vettore-documento sugli assi rappresentano le *ampiezze di probabilità* che esso sia pertinente o meno alla domanda, mentre sono i rispettivi *quadrati* delle ampiezze a darci le probabilità che il documento risulti pertinente o non pertinente. Per il teorema di Pitagora, infatti, la somma delle probabilità è sempre 1. In questo modello, i valori massimali sono infatti 1 e 0 e rappresentano la certezza che un certo documento sia pertinente o meno al quesito di ricerca. I valori di probabilità così ottenuti permettono a un motore di ricerca di classificare i risultati in base alla pertinenza presunta. Nell'ottica presentata qui, il documento è rappresentato come un vettore che ruota nello spazio a seconda delle operazioni che compiamo su di esso: nella misura in cui muta l'angolo del vettore con le proprie basi, cambiano anche le ampiezze di probabilità relative.

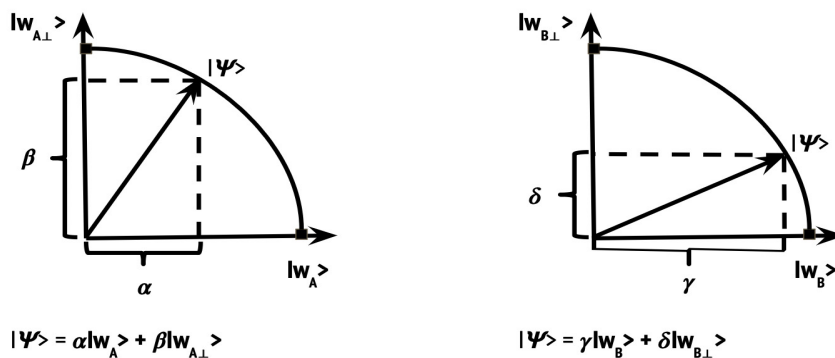


Figura 1. Rappresentazione geometrica del documento come un vettore unitario $|\Psi\rangle$ in uno spazio di Hilbert. Il medesimo documento può essere rappresentato in basi diverse, ad esempio $\{A, A_{\perp}\}$ e $\{B, B_{\perp}\}$; ciascuna base rappresenta la presenza o l'assenza di una certa proprietà semantica.

Da un punto di vista semiotico, questo modello sembra utile per definire operativamente ciò che si intende come *pertinenza* a una domanda di ricerca nei termini di possesso di una certa proprietà semantica da parte del documento; sappiamo che qualunque messaggio vive in uno spazio semantico che è sempre contraddittorio (Eco 1975) e la teoria quantistica fornisce un mezzo per rappresentarlo; una misura della probabilità della presenza di un certo livello di lettura coerente in un documento può rappresentare il *peso* di una data *interpretazione*.

Dagli studi di van Rijsbergen è nato un fertile campo di studi inteso a verificare l'esportabilità di frammenti di teoria quantistica dalla fisica all'*Information Retrieval*. Una rassegna molto completa dei primi dieci anni di vita della disciplina si deve a Massimo Melucci. Tra gli altri concetti che possono rivelarsi utili all'*Information Retrieval*, Melucci annovera la nozione di *entanglement* per rendere conto della *correlazione* e fornire un modello della "combinazione di concetti", richiama i lavori pionieristici in questo campo e indica nell'*entanglement* uno dei possibili campi di ricerca per il futuro (Melucci 2015, pp. 130, 145-146, 190-191). Su questo tema si veda anche Bruza, Kitto, Ramm, Sitbon, Song e Blomberg (2012). Non stupisce che vi sia una forte continuità di autori e metodi tra *Information Retrieval* quantistico e il più vasto campo della computazione quantistica (Melucci 2015, pp. 111, 141).

2. Geometria dello spazio semiotico

Veniamo ora ai motivi per cui la semiotica, tra le altre scienze sociali, dovrebbe interessarsi a propria volta ai modelli quantistici o *quantum-like*. L'approccio quantistico al problema del significato richiede una visione geometrica della semantica. Ciascun lessema o lessia è rappresentato come un vettore che vive nello spazio semantico del documento; la dimensionalità dello spazio coincide, almeno al principio, col numero dei lessemi in esso contenuti⁽²⁾; inoltre, come vedremo in 3.2, la natura

(2) La trasformazione del documento nello spazio dei vettori-parola avviene attraverso il metodo *Hyperspace Analog to Language* che trova largo impiego nel campo del quantum Information Retrieval (Melucci 2015, pp. 141-145). A differenza di altri metodi largo impiego, come *bag-of-words*, esso permette infatti di ottenere facilmente il genere di matrici cui si applica la teoria dei quanti: simmetriche, ortonormali, hermitiane (Susskind e Friedman 2014, pp. 48-51).

non compositazionale del significato spinge a dire che lo spazio da considerare è isomorfo a quello dei numeri complessi.

A questo proposito, la scelta di considerare strumenti quantistici di analisi non solo non si discosta dalla ricerca semiotica, ma è in linea con una tradizione di ricerca ben consolidata (René Thom, Jean Petitot, Wolfgang Wildgen, Alessandro Sarti, per citare solo alcuni autori). Nel corso della storia ultrasecolare della nostra disciplina, infatti, diversi studiosi hanno discusso e proposto modelli per spiegare il funzionamento del sistema presupposto dalle strutture sintagmatiche che essi intendevano spiegare. Se in Saussure il sistema prendeva la forma di catene associative (*grandemente*, *intensamente*, *indelebilmente* ...), esso appariva a Hjelmslev e Jakobson come un insieme di opposizioni logiche caratterizzate dall'operatore aut ("il (/gatto/ aut /cane/ aut /topo/) mangia il formaggio"). Con Chomsky e Greimas l'algebra del sistema acquista la complessità dell'algoritmo⁽³⁾. Jean Petitot (1979, p. 103) ha mosso alla concezione greimasiana alcune critiche pertinenti al nostro problema:

- a) Come tutte le *descrizioni* logico-combinatorie, [scil. il modello di Greimas] non può rendere conto della *produzione* delle strutture, né della loro *dinamica*, né della loro *stabilità* (pregnanza). Riconduce in ambito narrativo l'*ideologia* di una grammatica categoriale.
- b) Forclude a priori la questione del soggetto, cioè il rapporto tra livello simbolico e semiotico nel senso di J. Kristeva.
- c) Nella sua regressione dalla struttura attanziale di superficie alla struttura semica profonda ricodifica sotto forma di *relazione* (di opposizione tra semi) quel che nei fatti è un *evento* conflittuale codificato da un *verbo*. Da una parte, riproduce dunque il pregiudizio logicista fondamentale dell'esclusione *a priori* del verbo e dell'evento che, pertanto, *organizza* la struttura e, d'altra parte, non permette di rendere conto delle diverse rappresentazioni *geometriche* del conflitto.
- d) Infine, non riconosce che certe strutture narrative mettono sempre in gioco degli eventi *d'altro livello*, nello specifico *eventi somatici*, (evidentemente ineliminabili nelle rappresentazioni pittoriche). Si situa a un solo livello (sintattico) dimenticando che una struttura, quale che sia, si mantiene attraverso un gioco dialettico di dispiegamento-ridispiegamento tra *due* livelli (nel nostro caso, sintattico/somatico) (1979, p. 103, traduzione **nostra**)

(3) Cfr. "Algoritmo" in Greimas e Courtés (1979).

Alcune critiche di Petitot risentono evidentemente del dibattito semiotico dell'epoca; altre sono motivate dal fatto che il suo saggio è dedicato al visivo; altre ancora si direbbero più generali e attuali: il modello greimasiano non rende conto della produzione delle strutture che descrive, della loro dinamica o della loro stabilità; inoltre, ogni struttura si mantiene attraverso un gioco dialettico di dispiegamento–ridispiegamento tra *due* livelli. Per queste ragioni, Petitot adotta la teoria delle catastrofi allo scopo di proporre modelli i quali “determinano le soluzioni elementari stabili al problema della competizione spaziale retta da un sistema di soglie e sviluppano un evento organizzatore, produttore e strutturante”. In particolare, egli è alla ricerca di un modello che generi quel che per Greimas è la *sintassi del contenuto*. Rinvio a René Thom (1985) per una panoramica sui tipi di interazione che è possibile generare attraverso la teoria delle catastrofi. Thom (2010) mostra come si possano generare pregnanze singolari a partire da un'unica gravidanza generale, ottenendo il noto quadrato semiotico di Greimas come risultato. Il modello di Thom è coerente e semplice, presentando il vantaggio di spiegare e dispiegare la distinzione greimasiana tra livello fondamentale e semionarrativo generando entrambi con un solo gesto elegante. Il legame tra lo spazio di partenza della gravidanza generale e quello di arrivo dove si collocano le pregnanze individuali è visto come un processo di *individuazione*.

Thom riprende le nozioni di individuazione e di *metastabilità* dall'epistemologia di Gilbert Simondon (2005). Egli definisce l'informazione come un processo che porta all'individuazione di una forma a partire da uno stato metastabile del sistema. A propria volta, l'individuazione è un fenomeno di risonanza e riconfigurazione interna del sistema a partire dalle differenze eterogenee pre-individuali che ne fanno parte. L'integrazione delle risonanze genera differenze globali. Secondo Simondon, tale processo è sempre incompleto. La forma è un network di differenze pre-individuali e di caratteristiche individuali. **In tal modo, il processo è sempre incompleto: l'individuo** non è mai una monade isolata, ma porta inscritta in sé una dimensione collettiva, trans-individuale. In termini matematici, l'emergere di una forma da uno spazio si ottiene attraverso il calcolo delle autofunzioni di un grafo immanente (Sarti e Piotrowski 2015, p. 57). Per comprendere il passaggio

alla matematica dei quanti, è importante evidenziare che, in un modello stocastico, si può descrivere tale grafo in termini di densità di probabilità (Sarti e Piotrowski 2015, p. 56).

Una differenza importante tra Thom e Simondon riguarda la rispettiva posizione sul determinismo. La matematica di Thom è sempre, per scelta, deterministica. Al contrario, secondo Simondon, è proprio l'incompletezza del processo di individuazione a impedire di renderne conto nei termini della logica classica, ovvero del principio di identità o del terzo escluso. Per questo, Simondon cerca un'alternativa nella teoria dei quanti, la quale, a partire dal concetto di *sovrapposizione coerente di stati contraddittori*, sembra possedere i mezzi per far presa su questa materia sdruciolevole. Su questa linea di ricerca, Francesco Galofaro (2015) ha mostrato come sia possibile rappresentare in termini di circuiti quantistici quelle interazioni per generare le quali Thom aveva utilizzato la teoria delle catastrofi. Inoltre, la computazione quantistica permette di formalizzare la nozione greimasiana di comunicazione partecipativa (Greimas 1983, pp. 40–42), in cui un oggetto di valore è trasferito tra due attanti senza che l'attante–fonte se ne privi, come avviene nel processo di apprendimento o nella delega dei poteri in politica.

3. Adeguatezza dei modelli quantistici

La preferenza verso i modelli quantistici non è ovviamente fine a se stessa. Questa particolare matematica pare adeguata ad alcune caratteristiche presentate dal nostro oggetto di studio. Abbiamo sviluppato le implicazioni epistemologiche dell'adozione di strumenti quantistici per quanto riguarda la linguistica e la semiotica in Galofaro, Doan e Toffano (2016). Qui ci limitiamo a riassumere le questioni principali.

3.1. *Non commutatività del significato*

Nell'*Information Retrieval* la non commutatività è una proprietà molto importante. Se si effettuano due ricerche entro un corpus, l'ordine in cui le si esegue è rilevante. Se si selezionano *prima* tutti i documenti che

contengono la parola “rock” (*aboutness*) e *poi*, tra questi, quelli pertinenti alla musica (*relevance*), si ottiene un insieme di risultati; viceversa, anteponendo la *relevance all’aboutness*, se ne otterranno altri. Così è anche in semantica, dove l’ordine delle parole conta: le frasi “I marxisti criticano gli economisti liberali” e “Gli economisti liberali criticano i marxisti” esprimono significati opposti; tuttavia, una ricerca come / marxismo/ + /economia/ restituirà indifferentemente risultati pertinenti a entrambi i significati. Al contrario, a differenza degli operatori della logica classica, l’ordine in cui si presentano gli operatori nella computazione quantistica cambia il risultato, riflettendo in questo modo l’ordine del linguaggio.

3.2. *Non composizionalità del significato*

Ci si può chiedere perché lo spazio del significato debba essere uno spazio di Hilbert⁽⁴⁾. La risposta è che, in uno spazio di Hilbert complesso, sono possibili *ampiezze di probabilità negative*. La loro funzione è quella di rendere possibile una “interferenza” tra le probabilità, cosa che la nozione di probabilità in sé non permetterebbe (non riusciamo ad associare nulla di preciso a una “probabilità negativa”). In termini semantici, dunque, i significati dei lessemi possono *interferire tra loro*, e il senso complessivo di un messaggio non è una mera somma dei significati degli elementi semplici (non composizionalità del significato).

Per esempio, la lingua contiene molte espressioni non composizionali, chiamate *lessie* nella tradizione della linguistica strutturale. Pensiamo alle espressioni idiomatiche, il cui significato non può essere considerato come una sommatoria di elementi. Ad esempio, l’espressione polacca *musztarda po obiedzie* (senape dopo pranzo) risulta piuttosto oscura a chi è esterno alla lingua e alla cultura di appartenenza: si impiega per qualcosa che sarebbe stato utile ma è giunto troppo tardi. La non composizionalità del linguaggio diviene un problema importante per la *sentiment analysis* e, più in genere, per il vasto campo dei *Big Data*, come conferma un recente studio:

(4) La domanda è stata posta a Francesco Galofaro da Jean Petitot, cui vanno i ringraziamenti degli autori.

Examples, like “break a leg,” “speak of the devil,” and “let the cat out of the bag,” would imply the wrong sentiment based on the negative sentiment in “break” and “devil” and lack of strong polar sentiment in any of the words “let,” “the,” “cat,” “out,” “of,” and “bag.” (Hwang e Hidely 2019).

In termini semiotici, il “sentiment” sembra essere parte del piano del contenuto del messaggio: quel che accade è che un valore forico ipercodificato nella cultura in associazione a un lessema come /devil/ non corrisponde a quello associato alla lessia in cui la parola “devil” incorre.

In realtà, i casi di non composizionalità vanno molto oltre il campo delle espressioni idiomatiche: in una certa misura, per piccola che sia, quanto ogni messaggio rinegozia, innova, talvolta sovverte il significato che la cultura associa ai propri termini. Ad esempio, per il dizionario /sabbia/ è un iponimo di /roccia/, ma in Luca 6, 47–49 i due termini divengono antonimi, per omologazione, a /saggio/ e /stolto/, perché il testo seleziona un’opposizione privativa che li distingue (potere/non poter fondare una casa).

3.3. Non distributività delle relazioni di iponimia

Nel formato enciclopedico della biologia, l’intersezione tra /umani/ e /uccelli/ è vuota: nella nostra enciclopedia, non vi sono uomini–uccelli se non in testi a carattere finzionale quali i fumetti dei supereroi, che manifestano una visione totemica del mondo. Lo stesso si può dire dell’intersezione tra /uccelli/ e /lucertole/. Ma se consideriamo l’unione tra /umani/ e /lucertole/, otteniamo la classe dei /vertebrati/. E l’intersezione tra /vertebrati/ e /uccelli/ non è vuota, ma è costituita, di nuovo, dagli /uccelli/. Segue che la relazione di iponimia — se /uccelli/ allora /vertebrati/ — non è distributiva:

$$x \cap (y \cup z) \neq (x \cap y) \cup (x \cap z)$$

Questo assioma non è valido nella logica classica ma lo è, ancora una volta, in quella quantistica (Dalla Chiara e Giuntini 2002, cap. 1)

3.4. *Fallimento del principio di sostituività*

Un vecchio principio che si deve a Frege vuole che, se due parole possono essere sostituite in tutti i contesti, esse hanno lo stesso significato: è un adattamento alla lingua della legge di Leibniz dell'*indiscernibilità degli identici* per cui due enti sono uguali se ogni predicato può essere detto di entrambi. Tale assioma non sembra valido in ogni contesto linguistico. Ad esempio, l'inglese ha due parole sostituibili in ogni contesto: *isle* e *island*. Esse, tuttavia, non hanno il medesimo senso entro il discorso etimologico. Infatti, il primo deriva dal latino *insula*, riconducibile a *in salo*, ovvero “nel mare”, il secondo dall'antico inglese **iegl-land*, che potremmo rendere con “acqua-terra”. Dunque, il principio funziona in contesti estensionali — quelli in cui la funzione prevalente è quella referenziale — ma non in contesti intensionali. Come accade per il principio di sostituività, anche l'abolizione della legge di Leibniz ci fa uscire dall'ambito della logica classica per entrare in quella quantistica (Takeuti 1981).

3.5. *Correlazione ed entanglement*

La misura del grado di correlazione e di *entanglement* tra i vettori di base che compongono lo spazio semantico del documento è il focus principale delle nostre ricerche. Originariamente, la correlazione è legata alla misura dei fenomeni di *interferenza* tra particelle. Esse hanno trovato impiego nell'*Information Retrieval* (Galofaro, Toffano e Doan 2017) e nell'analisi automatica del contenuto dei messaggi pubblicati su social network (Galofaro e Toffano 2020). In questa occasione vorremmo riflettere meglio sul significato dell'*entanglement* nei termini della semantica strutturale. In effetti, la nozione di *entanglement* è riferita alla non-separabilità di un sistema in sottosistemi (Susskind e Friedman 2014, p. 117; Melucci 2015, pp. 111–113). In riferimento alla fig. 1, uno spazio semantico S_{AB} è fattorizzabile in due sottosistemi S_A e S_B se è uno *stato prodotto*:

$$S_{AB} = S_A \otimes S_B$$

In caso contrario, lo spazio semantico non è ulteriormente analizzabile in sottospazi indipendenti e gli elementi dello spazio semantico si dicono *entangled* (“intricati”). La presenza di questo legame tra due lessemi ci dice, insomma, che essi fanno parte della medesima *isotopia*, della stessa distribuzione coerente di valori lungo la dimensione sintagmatica del testo; oppure, nel caso che tra i due lessemi si dia una relazione di anticorrelazione, essi fanno parte di un’*allotopia*; in entrambi i casi non è possibile considerare indipendenti i due spazi semantici che i due lessemi generano in quanto basi.

3.6. La nozione-ponte: informazione quantistica

L’adeguatezza non è l’unico criterio che ci permette di applicare la matematica dei quanti alla semantica strutturale. Non si tratta di dichiarare “basta che funzioni”. Tra matematica e semantica vi è una nozione-ponte che permette di comprendere meglio il risultato delle operazioni dei ricercatori nell’uno e nell’altro campo: la nozione di *informazione*. In ambito quantistico, tutte le informazioni che un osservatore ha sul sistema possono essere codificate in un operatore ρ , il quale, scelta una base (X, X_{\perp}) ci restituisce una matrice densità:

$$\rho_{XX_{\perp}} = \langle X | \rho | X_{\perp} \rangle$$

che comprende un valore di probabilità per ciascuno degli stati che il sistema può assumere (Susskind e Friedman 2014, pp. 152–153). Occupiamoci ora della differenza tra il caso di un sistema classico e un sistema *entangled*:

Uno stato puro classico è un caso particolare di una densità di probabilità in cui ρ è diversa da 0 solo in un punto (...). Se ρ è distribuita, vuol dire che la nostra conoscenza dello stato del sistema è incompleta: più è distribuita, maggiore è la nostra ignoranza (Susskind e Friedman 2014, p. 154)

In un sistema classico, se conosciamo lo stato puro per il sistema combinato di due elementi, allora conosciamo tutto di ciascun elemento,

che si tratti di particelle oppure — nel nostro caso — di lessemi. “Ma questo è esattamente ciò che non è vero (...) nel caso di un sistema *entangled*. Lo stato di un sistema composto può essere puro, ma i suoi costituenti devono essere descritti da una miscela (Ivi)” ovvero da una matrice ρ distribuita.

Indipendentemente dal fatto che il sistema comprendente i lessemi delle basi che ci interessano sia uno stato prodotto oppure *entangled*, quel che otteniamo applicando il nostro algoritmo è ottenere *informazione* sulla semantica di un messaggio, ovvero sulla *forma del suo contenuto*. Occorre prestare attenzione a questo punto, perché non otteniamo il *sensu* del documento: il nostro algoritmo non fa l’*esegesi* del messaggio, non ne propone un’interpretazione, ma restituisce informazione *sul* *sensu*: ad esempio, “nel documento y i lessemi l_1 e l_2 sono utilizzati come antonimi”.

4. Un esempio di applicazione al discorso cattolico ecologista

La pubblicazione della lettera enciclica di papa Francesco *Laudato si* è stata percepita come una svolta nel discorso cattolico sull’ambiente. In una nota Bruno Latour l’ha definita “sorprendente”. Secondo Latour,

the Christians, having lost the race for the most indisputable type of certitude, have gradually abandoned all concern with the cosmos in order to devote themselves to the salvation of humans alone, and then among the humans to the salvation of the soul alone, before abandoning the soul itself to the exclusive benefit of morality (Latour 2015, p. 210).

Dunque, perso interesse per il destino del Cosmo, i cristiani hanno cominciato a considerare l’ecologia come una forma di paganesimo. La crisi ecologica avrebbe pertanto radici religiose. A maggior ragione, dunque, *Laudato si* è un documento interessante per comprendere come cambia nel discorso sociale il rapporto tra religione e ambiente e il rapporto tra cosmologia e senso del sacro. In quel che segue, vorremmo mostrare come le tecniche di semantica quantistica si prestino a indagarne la circolazione e l’ibridazione col concetto di antropocene. Nozione secolare, ma — come vedremo — solo in superficie,

quest'ultima non compare nel testo di papa Francesco, mentre nei tweet finisce per fondersi con l'assiologia cattolica tramite la giustapposizione di due hashtag (#anthropocene e #LaudatoSi) e la sovrapposizione tra discorso politico e religioso.

4.1. *Corpus*

Per rispondere alla domanda, abbiamo raccolto un corpus di tweet contenente l'hashtag #LaudatoSi, dall'anno 2015 ad oggi. L'insieme comprende 2164 commenti in inglese. Per studiare le caratteristiche semantiche dei tweet che associano gli hashtag #laudatosi, #sustainable e #anthropocene abbiamo selezionato un sottoinsieme di commenti, che ritwittavano, citandolo, un tweet originale riferito all'enciclica, aggiungendo un secondo hashtag.

È in primo luogo interessante notare che nel nostro corpus non vi siano tweet che associno all'hashtag #LaudatoSi tanto l'hashtag #anthropocene quanto gli hashtag #sustainable, #sustainability o #sustainable-development. Ciò è coerente col fatto che, pur non utilizzando mai il termine "antropocene", l'account Twitter ufficiale di Papa Francesco @Pontifex utilizza spesso l'aggettivo "sostenibile". Questa interessante disgiunzione riflette anche il fatto che la parola "antropocene" non ricorre mai nell'enciclica, mentre l'aggettivo "sostenibile" ricorre nove volte in associazione con "sviluppo", "uso", "agricoltura", "progresso", ed è presente una sola volta nella forma negativa "insostenibile".

Dunque, empiricamente, i due temi (sostenibilità e antropocene) rappresentano un'alternativa paradigmatica: #LaudatoSi è una *costante* che può essere selezionata sia dalla *variabile* #anthropocene sia dalla *variabile* #sustainable. Ribadiamo che questa disgiunzione paradigmatica non è pertinente all'universo dei tweet a tema ecologico; essa caratterizza soltanto quei tweet ecologici che includono l'hashtag #LaudatoSi, contribuendo in qualche modo a definirli.

4.2. *Metodologia*

L'associazione tra la coppia di hashtag #LaudatoSi e #anthropocene è stata analizzata applicando l'algoritmo semantico quantitativo

sviluppato da Galofaro, Toffano e Doan (2020). Tale algoritmo permette di visualizzare lo spazio semantico del messaggio originale e le trasformazioni geometriche che in esso si generano quando il messaggio viene citato e ritwittato insieme a una risposta. L'algoritmo restituisce una rappresentazione dello spazio semantico del documento nei termini dei due valori di correlazione e di *entanglement* che ciascun lessema totalizza nei confronti di tutti gli altri. Per far questo, il documento è preliminarmente trasformato in un vettore ed espresso nei termini di ciascun vettore-lessema di base X e del suo vettore ortogonale X_{\perp} , come nella fig. 1 che abbiamo già commentato al par. 1. Considerando la loro co-occorrenza nei diversi contesti, i lessemi del documento possono essere:

- correlati, quando tendono a co-occorrere negli stessi contesti: il punteggio di correlazione tende al valore +1;
- anticorrelati, quando tendono a non co-occorrere negli stessi contesti: il punteggio di correlazione tende a -1;
- non correlati, quando non co-occorrono con una precisa tendenza: in tal caso, il punteggio tende a 0;

Correlazione e anti-correlazione possono aiutare l'analista a identificare lessemi isotopici (appartenenti allo stesso livello di coerenza semantica) e lessemi allotopici (appartenenti a opposti livelli semantici).

Venendo all'*entanglement*, come si è detto, il suo valore misura il grado di inseparabilità di un dato sistema in sottosistemi semantici indipendenti. Esso può assumere un punteggio tra 0 e $2\sqrt{2}$ (*Tsirelson bound*). È considerato non-classico o *entangled* un valore superiore a 2 (disuguaglianza CSHS — cfr. Clauser, Horne, Shimony e Holt 1969).

La differenza principale tra *entanglement* e correlazione consiste nel fatto che tanto i lessemi allotopici quanto quelli isotopici possono appartenere allo stesso sottospazio semantico inseparabile: ciò pare coerente con il punto di vista della semantica strutturale, secondo la quale lo spazio semantico è formato da categorie (bene/male, maschio/femmina, vita /morte ...).

4.3. L'hashtag #anthropocene

Consideriamo il tweet (T):

T) My favorite part of Pope Francis' encyclical: A new prayer to help us commune with Nature (pubblicato da @EricHolthaus nel 2015)

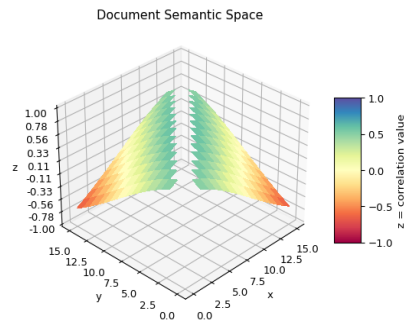
Il tweet accompagna uno screenshot di una delle due preghiere che concludono l'enciclica del papa. Il messaggio originale è citato nel seguente retweet (R):

R) "Prayer for California #wildfires, #PuertoRico, and the era we live in. From @Pontifex encyclical #ClimateAction #anthropocene" (pubblicato da @DianeDulken nel 2017)

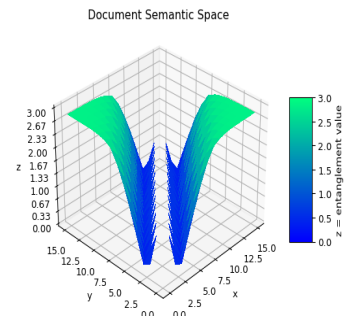
Il modo in cui R modifica lo spazio semantico di T è rappresentato in figura 2. Gli assi x e y rappresentano gli n lessemi appartenenti al messaggio. Per ogni coppia di lessemi, l'asse z rappresenta il loro valore di (anti-) correlazione (figg. 2a e 2c) o *entanglement* (figg. 2b e 2d). È facile apprezzare, da un punto di vista qualitativo, la superficie "liscia" dello spazio semantico del tweet originale: essa è dovuta al fatto che ogni lessema ricorre una sola volta nel testo. In questa situazione, il grado di correlazione dipende banalmente dalla distanza tra i lessemi nella catena sintagmatica. La superficie si fa più increspata nel retweet, in cui le relazioni semantiche sono più complesse per via del ricorrere di alcuni lessemi in diversi contesti del documento. Naturalmente, più ampio è il testo e più questo genere di rappresentazioni spaziali si fa complesso e interessante.

Nel caso in esame è utile studiare una specifica sezione dello spazio corrispondente a tutti i valori di correlazione ed *entanglement* di un certo lessema di nostro interesse. Ad esempio, partendo dagli spazi semantici in figg. 2a e 2c, rappresentiamo in fig. 3 la sezione dello spazio corrispondente al lessema /nature/. Il retweet della citazione contenente l'hashtag #anthropocene rimodella i valori originari, rafforzandoli: si veda ad esempio il nesso semantico che viene a crearsi tra /Nature/ ed /encyclical/. Si formano nuove interessanti correlazioni, ad esempio tra /Nature/ e /life/.

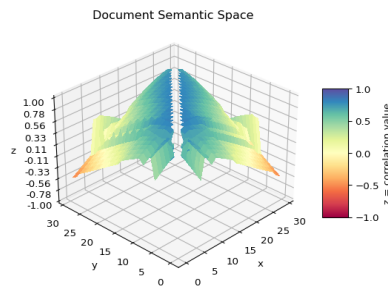
a) Correlazione nel tweet originale



b) entanglement nel tweet originale



c) Correlazione nel retweet



d) entanglement nel retweet

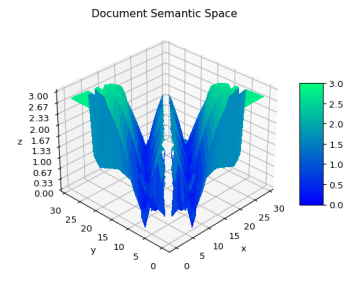
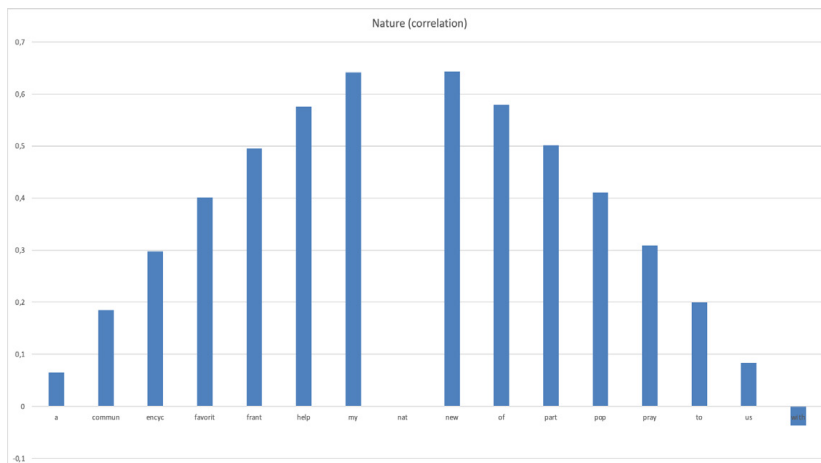


Figura 2. Come il retweet R modifica lo spazio semantico del tweet C.

I valori di entanglement in fig. 4 sono più pertinenti al quesito della nostra ricerca. I valori superiori a 2 indicano la presenza di *entanglement*. Nel tweet originale il lessema /nature/ è intrecciato con il lessema /us/ (fig. 4a). Questo è coerente con il significato del primo tweet, stabilendo una comunione tra noi e la natura. Nel retweet (fig. 4b) /nature/ si intreccia solo con /anthropocene/. Quindi, nel retweet, /anthropocene/ e /nature/ non possono essere considerati parte di diversi sottosistemi isotopici: i loro significati sono assimilati.

Veniamo ora alla sezione dello spazio semantico corrispondente al lessema /anthropocene/: i valori di correlazione ed entanglement sono riportati in fig. 5. Considerando i lessemi del tweet originale, il lessema antropocene stabilisce la correlazione più forte con /commune/, /Francis/, /Nature/ (fig. 5a) e le più forti relazioni di entanglement con /Nature/, /Pope/ e /prayer/ (fig. 5b), formando con essi un sistema inseparabile. In questo modo, valori sacri, in qualche modo mistici,

a) tweet originale



b) retweet

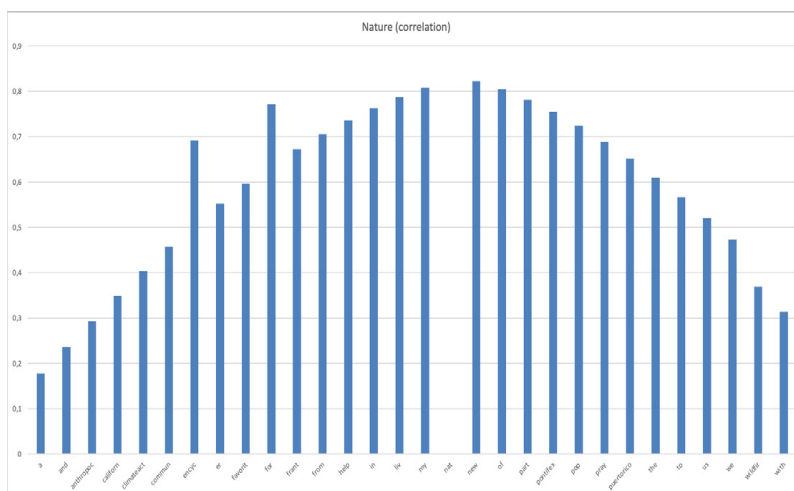
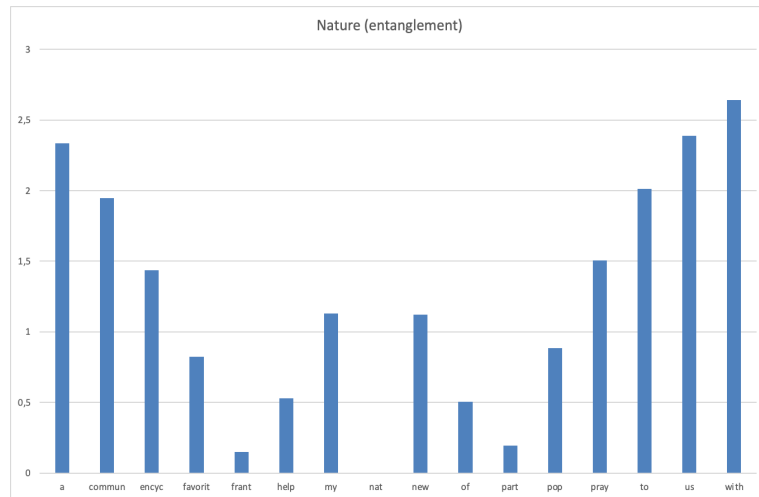


Figura 3. Il retweet contenente l’hashtag #anthropocene modifica i valori di correlazione del lessema “nature”: (a) il tweet citato; (b) il retweet che lo cita.

vengono trasferiti al lessema /anthropocene/ a partire da questi tre termini, che se ne fanno vascello. Allo stesso tempo, questa sfumatura “mistica” fornita dal rapporto tra natura e preghiera, con l’intervento di papa Francesco, è creata proprio dall’apparizione dell’antropocene nel sistema semantico, poiché questi lessemi non erano *entangled* nel tweet originale (fig. 4a).

a) tweet originale



b) retweet

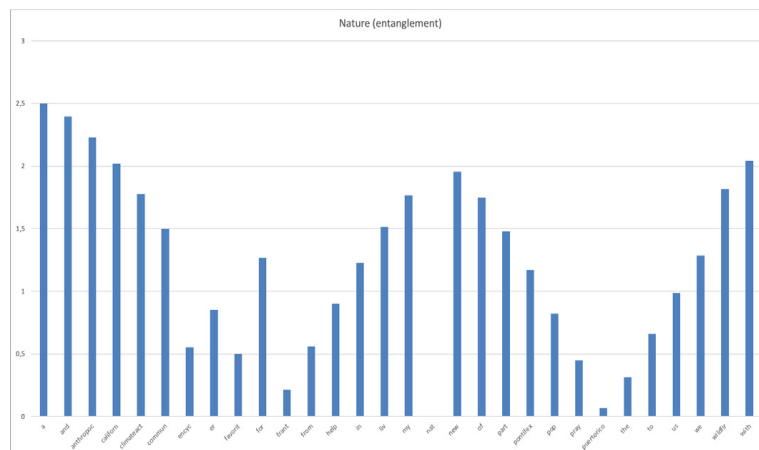
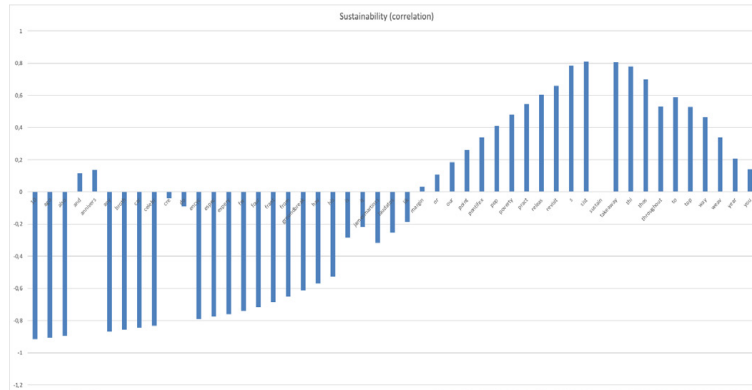


Figura 4. Il retweet contenente l’hashtag #anthropocene modifica i valori di entanglement del lessema /nature/: (a) il tweet citato; (b) il retweet che lo cita.

Da notare anche come il paesaggio, rappresentato dal retweet, sia al contempo associato a valori disforici quanto era euforico quello del tweet originale, il quale riportava una preghiera valutata positivamente dall’enunciatore. Ricordiamo a tal proposito che nel 2017 Porto Rico fu devastata da un uragano e gli incendi danneggiarono più di 10.000 strutture in California. Pertanto, il retweet può essere considerato un

a) valori di correlazione



b) valori di entanglement

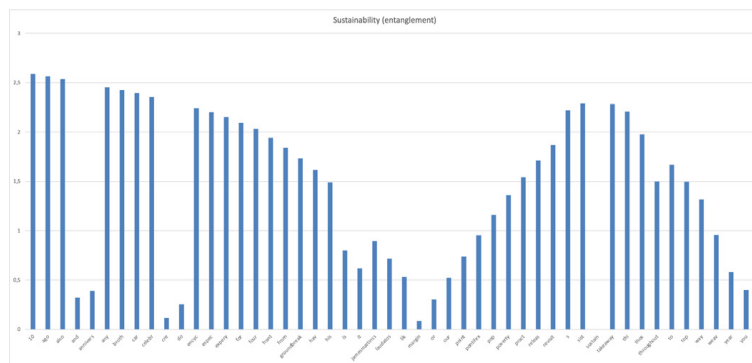


Figura 6. Colpo d’occhio sui valori di correlazione ed entanglement del lessema /sustainabiity/ con tutti gli altri lessemi.

“LaudatoSi”. To celebrate its anniversary, revisit @jamesmartinsj’s top 10 takeaways from #LaudatoSi (pubblicato da @Americamag in 2019)
 R) Care for Creation is also care for our brothers and sisters, especially those experiencing poverty or marginalization. Pope Francis @Pontifex weaves this point throughout #LaudatoSi. Do you have any ways you like to practice #sustainability? (pubblicato da @sColumbkille nel 2019)

In questo caso, il lessema /sustainability/ è *entangled* con /takeaways/ e il lessema /celebrate/, appartenenti al messaggio originale (fig. 6b). /Takeaways/ e /celebrate/ erano già *entangled* nel messaggio originale con un punteggio molto alto (2,77). Tuttavia, mentre /sustainability/ è

positivamente correlata con /takeaways/, il legame con il /celebrate/ dà luogo qui a una forte anticorrelazione ($-0,83$). I lessemi /Sustainability/ e /celebrate/ appartengono sì allo stesso sistema, manifestano una stessa categoria, ma possono essere considerati allotopici, ossia resi antonimici dal retweet. Come nel caso precedente, abbiamo a che fare con un tweet euforico citato in un retweet disforico, il cui focus principale è su povertà ed emarginazione. Confrontando questo retweet con quello che include l'hashtag #anthropocene, la differenza principale sembra consistere nel fatto che #anthropocene era associato a /prayer/ e a /commune/, mentre la sostenibilità non è correlata a nessun valore che manifesti il sacro e non è dunque ascrivibile al discorso religioso. Questa assenza coinvolge anche il tweet originale di American Magazine, che diffonde importanti messaggi ecologici e sociali nel format dei suggerimenti di moda.

5. Conclusione

L'enciclica *Laudato si* aggiorna il linguaggio poetico di san Francesco per proporre una nuova prospettiva francescana sull'ambiente. **Tasferisce** valori sacri al discorso ecologico e fornisce un modello, sotto forma di teologia politica, per cambiare la società e il potere. In questo quadro, i nostri strumenti hanno mostrato come il nuovo discorso cattolico circoli e si fonda con altri temi e figure del discorso ecologico, come la sostenibilità e l'antropocene. Abbiamo notato che, nel sottoinsieme dei discorsi ecologici che si riferiscono all'enciclica *Laudato si*, i temi "antropocene" e "sviluppo sostenibile" sono alternativi (cioè paradigmaticamente disgiunti). Inoltre, i sostenitori dell'antropocene hanno sollevato dubbi sul fatto che lo sviluppo sostenibile sia solo un mito "come le ideologie, che portano solo a posporre il problema" (Zinna 2015, p. VII). Da un punto di vista semiotico, tuttavia, sia l'antropocene sia la sostenibilità sono miti in senso tecnico, senza connotazioni negative: la questione d'attualità politica è se essi siano sufficienti per innescare i cambiamenti ecologici e sociali auspicati da coloro che li impiegano.

La metodologia che abbiamo utilizzato permette di mostrare come l'associazione con l'uno o l'altro hashtag cambi profondamente i valori

in gioco. Coloro che impiegano il termine antropocene lo associano intenzionalmente a una coordinata temporale valorizzata disforicamente (solitamente, il presente) e ad alcuni valori sacri, lasciando intravedere una teologia politica apocalittica (Latour 2005). L'apocalisse è il tratto distintivo di un sottogenere del discorso ecologico radicale. Tale associazione tra discorso ecologico e apocalittico non implica necessariamente la presenza del tema della sostenibilità.

Dal canto suo, l'aggettivo "sostenibile" può essere associato ad ogni tipo di argomento particolare, aggiungendogli un valore "ecologico". Ad esempio, si veda il seguente tweet del nostro corpus:

Make this Christmas a sustainable one. #LaudatoSi #COP26
#ClimateAction #ClimateJustice #edmundspeople.

Anche nella lettera enciclica, così come nel *Cantico delle creature* di San Francesco, è assente ogni forma di millenarismo e di escatologia. Piuttosto, la sostenibilità consente all'enunciatore di ricorrere al bricolage come pratica di creazione di significato (Floch 1995). In altre parole, la nozione di sostenibilità non è apocalittica quanto quella di antropocene; essa si presenta piuttosto come l'etichetta di un insieme di tattiche ecologiche locali che sfidano la strategia complessiva del potere (De Certeau 1980), una collezione di zeppe per tenere aperta una porta verso il futuro.

Riferimenti bibliografici

- BRUZA P.D., KITTO K., RAMM B., SITBON L., SONG D., BLOMBERG S. (2012), "Quantum-like non-separability of concept combinations, emergent associates and abduction" in *Logic Journal of the IGPL*, vol. 20, no. 2, pp. 445-457, doi: 10.1093/jigpal/jzq049 (consultato l'8 maggio 2022).
- CLAUSER F., HORNE M.A., SHIMONY A., HOLT R.A. (1969), "Proposed experiment to test local hidden-variable theories", *Phys. Rev. Lett.*, 23 (15), pp. 880-4.
- DALLA CHIARA M.L., GIUNTINI R. (2002), "Quantum Logics", in *Handbook of Philosophical Logic*, vol. 6, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp.

129–228.

- DE CERTEAU M. (1980), *L'Invention du Quotidien. Vol. 1, Arts de Faire*, Union générale d'éditions, Paris, tr. it. *L'invenzione del quotidiano*, Edizioni Lavoro, Roma, 2001.
- ECO, U. (1975), *Trattato di semiotica generale*, Bompiani, Milano.
- FLOCH J.–M. (1995), *Identités visuelles*, Puf, Paris, tr. it. *Identità visive*, Franco Angeli, Milano, 1997.
- GALOFARO F. (2015), “Structural Syntax and Quantum computation: a Simondonian Approach”, in SARTI, MONTANARI, GALOFARO (a cura di) *Morphogenesis and Individuation*, Springer, Berlin, 2015, pp. 173–201.
- GALOFARO F., DOAN B.–L., TOFFANO Z. (2016), “Linguistics and Quantum Theory: Epistemological Perspectives” in *2016 IEEE Intl Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE Intl Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC) and 15th Intl Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering (DCABES)*, pp. 660–668, 10.1109/CSE–EUC–DCABES.2016.257.
- GALOFARO F., TOFFANO Z. (2020), “Semantic correlation in hate speeches”, RIFL, doi: 10.4396/SFL2019ES08.
- GALOFARO F., TOFFANO Z. DOAN B.–L. (2017), “A quantum–based semiotic model for textual semantics” in *Kybernetes*, doi: 10.1108/K–05–2017–0187.
- GREIMAS A.J. (1983), *Du sens II*, Seuil, Paris, tr. it. *Del Senso 2*, Bompiani, Milano, 1984.
- GREIMAS A.J., COUIRTÉS J. (1979), *Sémiotique: dictionnaire raisonné de la théorie du langage*, Hachette, Paris (trad. it. P. FABBRI (a cura di) *Semiotica: dizionario ragionato della teoria del linguaggio*, Bruno Mondadori, Milano, 2007).
- HWANG A., HIDEY CH. (2019), “Confirming the Non–compositionality of Idioms for Sentiment Analysis”, in *Proceedings of the Joint Workshop on Multiword Expressions and WordNet (MWE–WN 2019)*, Association for Computational Linguistics, Firenze, pp. 125–129, <https://aclanthology.org/W19–5114/> (consultato il 6 maggio 2022).
- LATOUR B. (1998), “Petite philosophie de l'énonciation”, in P.L. BASSO & L. CORRAIN (ed.) *Eloqui de senso. Dialoghi semiotici per Paolo Fabbri: Orizzonti, compiti e dialoghi della semiotica*, Milano, Costa & Nolan, pp. 71–94.
- (2015), *Facing Gaia: Eight Lectures on the New Climatic Regime*,

- Cambridge, Polity Press (2017).
- MELUCCI M. (2015), *Introduction to Information Retrieval and Quantum Mechanics*, Berlin, Springer.
- PETITOT J. (1979), “Saint Georges: remarques sur l’espace pictural” Zeitoun, J. (a cura di), in *Sémiotique de l’espace*, Paris, Denoël Gonthier.
- SARTI A., PIOTROWSKI D. (2015), “Individuation and Semiogenesis: An Interplay Between Geometric Harmonics and Structural Morphodynamics”, in SARTI, MONTANARI, GALOFARO (a cura di) *Morphogenesis and Individuation*, Springer, Berlin, 2015, pp. 49–73.
- SIMONDON G. (2005), *L’individuation à la lumière des notions de formes et d’information*, Jérôme Millon, Grenoble.
- SUSSKIND L., FRIEDMAN A. (2014), *Quantum Mechanics: the theoretical minimum*, Penguin, New York, tr. it. *Meccanica quantistica: il minimo indispensabile per fare della (buona) fisica*, Raffaello Cortina Editore, Milano, 2015.
- TAKEUTI G. (1981), “Quantum Set Theory”, in *Current issues in quantum logic*, vol. 1, Plenum, New York, pp. 303–322.
- TOFFANO Z., DUBOIS F. (2019), “Quantum eigenlogic observables applied to the study of fuzzy behaviour of Braitenberg vehicle quantum robots”, *Kybernetes*, Vol. 48 No. 10, pp. 2307–2324, doi: 10.1108/K-11-2018-0603.
- (2020), “Adapting Logic to Physics: The Quantum-Like Eigenlogic Program.”, *Entropy* 22, doi: 10.3390/e22020139
- THOM R. (1985), “Topologia e significazione”, in *Modelli matematici della morfogenesi*, Einaudi, Torino, pp. 192–212, poi in P. FABBRI (a cura di), *Morfologia del semiotico*, Meltemi, Roma, pp. 23–53, 2006.
- (2010), *Strutture cicliche in semiotica*, Documenti di lavoro e prepubblicazioni del CISSM, 393–394–395, Urbino.
- VAN RIJSBERGEN C.J. (2004), *The Geometry of Information Retrieval*, Cambridge University Press, Cambridge.
- ZINNA A. (2015), “Les visages de Gaïa”, in A. ZINNA, I. DARRAULT-HARRIS (eds.) *Collection Actes: Formes de vie et modes d’existence durables*, Albi, CAMS/O, pp. I–XIX, <https://mediationsemiotiques.com/archives/9431> (consultato in marzo 2022).