

2020 SISRI Workshop: Verità e ricerca tra scoperta e comunicazione

Congestture, previsioni e risultati in astronomia e astrofisica

G. Tanzella-Nitti

abstract

Le ricerche di ambito astronomico e astrofisico posseggono un notevole impatto mediatico, che rende più delicato il tema della trasmissione del loro contenuto veritativo. Si pensi, ad esempio, all'intersezione fra le ricerche di questo ambito e le domande esistenziali sull'origine o sugli scenari finali, alle risonanze presenti nella letteratura e nel cinema, alla possibilità di eventi distruttivi per il pianeta in cui viviamo, alla ricerca della vita nel cosmo. Si pensi anche all'influsso mediatico, sul piano estetico, dovuto alle immagini che ci giungono dallo spazio o dagli strumenti terrestri.

In merito alla questione sulla verità, diviene importante, di fatto, saper distinguere fra congetture, previsioni e risultati. La ricerca di ambito astronomico ed astrofisico possiede alcune particolarità sul piano epistemologico che meritano di essere esaminate più da vicino, come la distinzione fra teorie in corso di verifica e teorie che non posseggono osservabili fisici, o il crescente peso tributato alle simulazioni computazionali. Va tenuto presente anche il ruolo giocato da quelle ricerche ove lo studio di condizioni necessarie per l'occorrenza di un certo fenomeno, come ad esempio la comparsa della vita nel cosmo, vengono sovente presentate come condizioni necessarie e sufficienti.

Nel corso dell'intervento si esporrà un quadro riassuntivo di alcuni risultati considerati ragionevolmente acquisiti, scelti fra quelli di maggior interesse interdisciplinare, distinguendoli dalle ipotesi in corso di verifica. Si accennerà al quadro generale del reale esplorabile, diviso in materia osservabile; materia oscura, energia oscura. Si presenterà, infine, come operi l'interazione fra scoperte, previsioni e congetture nella formulazione del Principio Antropico.

Bibliografia:

G. Ellis, *Issues in the Philosophy of Cosmology*, arXiv:astro-ph/0602280, at <http://inters.org/files/Ellis-philosophy-of-cosmology.pdf>

J. Barrow, *The World within the World*, Clarendon Press, Oxford 1988

J. Barrow, F. Tipler, *The Cosmological Anthropic Principle*, Oxford University Press, Oxford 1984

1. Impatto mediatico e sociale delle ricerche di ambito astronomico e astrofisico

La ricerca in astronomia, astrofisica e cosmologia, insieme alla tecnologia spaziale che ne sostiene ormai gran parte degli studi, rappresenta oggi uno dei campi di maggiore impatto mediatico della scienza sul pubblico. Di conseguenza, i contenuti associati a questo ambito della ricerca, siano essi frutto di divulgazione documentata, di giornalismo sensazionalista o di mediazioni culturali (letteratura, cinema), hanno un alto grado di recettività. Essi divengono in qualche modo emblematici per lo studio dei rapporti fra verità e ricerca, fra scoperta e comunicazione.

Esaminiamo brevemente alcuni temi, legati all'astronomia e all'astrofisica, che esercitano un tale impatto:

- aspetto estetico: le immagini che provengono dallo spazio (Hubble Space Telescope dal 1990; James Webb Space Telescope, lancio 30 marzo 2021); immagini dei pianeti e dei loro satelliti (missioni su Marte, Giove, Saturno, comete, ecc.)

- aspetti controintuitivi: le teorie e i risultati che sfidano il senso comune (relatività generale, espansione dell'universo, dimensioni e tempi cosmici (*astronomici!*), black holes, onde gravitazionali, materia oscura, energia oscura, ecc.)

- “posizione” dell'uomo nel cosmo: la sua collocazione nell'universo osservabile e il futuro del genere umano nel cosmo (ritorno sulla luna, Gateway, esplorazione di Marte e del sistema solare, migrazioni su altri pianeti...).

- aspetti filosofici: domande che sorgono in contesto astrofisico e cosmologico. Come ha avuto origine il cosmo? Siamo frutto del caso o di un finalismo?

- aspetti di costume e culturali in genere: risonanze nella letteratura e nel cinema; letteratura di fantascienza e romanzi di alta diffusione (I. Asimov), ma anche in versioni colte (C.S. Lewis); cinema (2001 Space Odyssey, Contact, Interstellar, ecc.)

- aspetti legati al nostro futuro: quanto durerà la terra e quali sono gli scenari finali? Interesse per la frequenza degli impatti meteoritici distruttivi (estinzione dei dinosauri); o anche per eventi catastrofici in genere (evoluzione della stella sole).

- aspetti esistenziali e religiosi: la ricerca della vita nel cosmo come motore ideale e motivazione; ricadute sulla nostra identità e il nostro ruolo nel cosmo (missioni spaziali nel sistema solare, progetto SETI, progetto SKA e radioastronomia in genere, ma anche cinema e letteratura).

2. Particolarità epistemologiche della ricerca astrofisica e cosmologica che attengono al rapporto fra verità, scoperta e comunicazione

In questo ambito della ricerca, come già in altri, è importante distinguere fra *congetture, previsioni e risultati*.

Il normale lavoro di ricerca, come in ogni altro settore sperimentale, compie delle ipotesi e ne valuta le conseguenze osservabili (metodo ipotetico-deduttivo), cercando tuttavia di distinguere quali diverse cause (note o sconosciute) potrebbero avere gli stessi effetti.

Quando astrofisica e cosmologia puntano verso grandi *visioni totalizzanti e teorie del tutto*, esse manifestano due tipologie di insufficienze: sanabili e insanabili:

- Insufficienze sanabili: vi sono teorie/visioni che a distanza di lunghi tempi e molto studio possono ricevere conferme sperimentali. La più nota è probabilmente la Grand Unified Theory (GUT) ovvero il quadro teorico che unifica gravitazione, elettromagnetismo, forze nucleari deboli e forti, impiegando il formalismo della meccanica quantistica e della relatività generale.

- Insufficienze insanabili: si tratta di visioni che tentano di concettualizzare l'intero, ovvero una Theory of Everything (TOE): non si tratta solo della ricerca dell'unificazione delle forze fondamentali, ma anche del tentativo di individuare una teoria globale dalla quale dedurre il *perché ultimo* dell'esistenza di leggi, geometria, spazio-tempo. Si parla di insufficienza insanabile perché una TOE ignora l'assunto filosofico fondamentale che per fare ricerca su quantità misurabili devo partire da qualcosa di dato, e che lo studio delle trasformazioni presuppone un'ontologia.

Da notare l'impatto mediatico suscitato dalle TOE, specie attraverso i lavori teorici di Stephen Hawking.

Quest'ultima visione (basata su un'insufficienza insanabile) è ben distinguibile, in quanto al legame con la realtà e la verità, dalla congettura di una teoria completa di unificazione elettro-debole, valse il Nobel per la fisica a Salam, Weinberg e Glashow (1979), poi verificata sperimentalmente nel 1983 al CERN a Ginevra da van de Meer e Rubbia con la scoperta dei bosoni di scambio W e Z, premi Nobel nel 1984.

Come in altre discipline, anche in astronomia, astrofisica e cosmologia si tributa un peso sempre crescente (in termini di numero di pubblicazioni) ai lavori di simulazione computazionale. Si termina così nell'ambito di una *if-then science*, dove il collegamento di una teoria con gli osservabili (osservabilità) passa pericolosamente in secondo piano.

Vi è tuttavia una certa consapevolezza di questo stato di cose e si esprime il desiderio di orientare i metodi di simulazione computazionale verso la predizione scientifica. Si veda, a titolo di esempio, il Simposio IAU programmato per giugno 2020: *The Predictive Power of Computational Astrophysics as a Discovery Tool*.

3. Un caso particolare del rapporto fra verità, scoperta e comunicazione: la presentazione poco accurata delle condizioni necessarie e/o sufficienti

Quando si ha a che fare con scenari cosmici e fenomeni spesso non riproducibili è frequente presentare in modo poco accurato delle condizioni *necessarie* per l'occorrenza di un fenomeno come se fossero condizioni *necessarie e sufficienti* alla sua occorrenza. Per formare un cristallo di ghiaccio è *necessaria* la presenza di atomi di idrogeno e di ossigeno, *ma non è sufficiente*: occorrono specifiche condizioni di pressione e di temperatura. In condizioni ordinarie di pressione, portare l'acqua a 100 °C è condizione *necessaria e sufficiente* per l'ebollizione e il passaggio allo stato gassoso.

Affinché l'evoluzione di stella termini in una supernova è *necessario* che si esaurisca la combustione nucleare degli elementi leggeri (H, He), ovvero la stella non produca più energia radiativa. Tuttavia, *non è sufficiente*: soltanto se la stella ha una massa più grande di circa 8 Masse solari allora può dare origine ad una supernova.

Presentare la scoperta di elementi che costituiscono condizioni necessarie per l'occorrenza di un certo fenomeno come condizioni necessarie e sufficienti non è corretto: equivale a proporre come conclusione certa ciò che non lo è. Da una condizione solo necessaria non possiamo neanche dedurre la probabilità che avvenga un certo fenomeno: tale condizione resta insufficiente. Il numero di stelle che hanno esaurito le riserve di H ed He non mi fornisce alcuna informazione circa la probabilità di avere una supernova.

Di molti fenomeni conosciamo le condizioni necessarie ma non quelle sufficienti. Per computare la probabilità che un certo fenomeno avvenga è indispensabile conoscere tutti gli elementi che concorrono alla formazione di quell'evento, ovvero non solo le condizioni necessarie, ma anche quelle sufficienti. Non si tratta di semplice *impredicibilità matematica*, ma di *insufficienza logica*.

Esempi di comunicazione scientifica in cui delle condizioni solo necessarie vengono presentate come condizioni necessarie e sufficienti:

- scoperta di processi fisici e chimici su scala locale (una cometa del sistema solare...) come risolutiva per la risposta alle grandi domande circa l'origine dell'universo...
- scoperta delle leggi che descrivono la struttura e l'espansione dell'universo, come dimostrazione che conosciamo ormai il motivo per cui esiste il cosmo fisico
- scoperta di pianeti extrasolari nella "zona abitabile" attorno ad una stella presentata come dimostrazione dell'esistenza vita extraterrestre o di una sua alta probabilità di esistenza (condizione necessaria ma non sufficiente per dedurre la presenza della vita su quel pianeta)

- scoperta di coincidenze cosmiche favorevoli alla vita, ad es. l'equilibrio di certe forze fisiche o la produzione di certi elementi chimici, presentata come dimostrazione che la comparsa della vita è un fenomeno verso cui l'universo punta necessariamente (condizioni necessarie, ma non sufficienti alla presenza della vita)

- equazione di Frank Drake (1961) per calcolare la probabilità della presenza di vita intelligente nel cosmo presentata come formula che computa il numero di civiltà effettivamente esistenti nel cosmo (calcola solo condizioni necessarie, ma non necessarie e sufficienti)

4. Orientarsi dentro la comunicazione: visioni apriori, congetture, previsioni, scoperte

Delle congetture potranno trasformarsi nel tempo in previsioni, grazie alla messa in campo di una teoria fisica consistente. Le previsioni potranno poi trasformarsi in scoperte. Le visioni apriori, invece, resteranno sempre tali.

Appartiene al genere di *visione a-priori* un'affermazione che contiene delle pre-comprensioni filosofiche implicite a priori, non fondate empiricamente (si noti però la differenza con i presupposti metafisici, logici e ontologici del sapere scientifico in quanto tale). Eccone alcuni esempi:

- esistono infiniti universi fra loro incomunicabili;
- l'essere umano (o la vita) è frutto del caso;
- l'essere umano (o la vita) è il risultato necessario dell'evoluzione cosmica.

Le *congetture* possono riguardare ipotesi inverificabili, perché le teorie sulle quali si poggiano non hanno osservabili, fisici o cosmologici; ad es.:

- *multiverse*: esistono infiniti universi, regioni spazio-temporali *da sempre* indipendenti fra loro

oppure ipotesi verificabili, perché poggiano su osservabili, fisici o cosmologici, o almeno sulla proposta di averne all'interno di un certo quadro teoretico; ad es.:

- *baby universes*: esistono molteplici universi, regioni spazio-temporali divenute indipendenti, però a partire da una certa epoca cosmica: al loro interno (se il nostro fosse uno di questi) esisterebbero però degli osservabili, residui del fenomeno di splitting;

- nell'universo esiste ET, o in particolare anche ETI

Le *previsioni* sono lo snodo tipico di una buona attività scientifica in genere, e toccano aspetti importanti ed emblematici proprio negli ambiti dell'astronomia e della

cosmologia. Una volta confermate sperimentalmente sono lecitamente presentate come scoperte. Ne sono esempi noti ed illustrativi:

- la scoperta del pianeta Nettuno (G. Galle ed H. d'Arrest, osservato nel 1846, motivati dai calcoli di U. Le Verrier, 1845)

- la scoperta deflessione dei raggi luminosi delle stelle, come conferma della relatività generale di Einstein (curvatura dello spazio-tempo attorno al sole, A. Eddington, eclissi del 29.5.1919)

- la scoperta della precessione del perielio di Mercurio, come conferma della relatività generale di Einstein (curvatura dello spazio-tempo attorno al sole; annunciata da Einstein nel 1919, verificata con precisione progressiva fino agli anni 1970)

- scoperta delle onde gravitazionali, 14.9.2015; interferometri del Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO) negli Stati Uniti, a Livingston (Louisiana) e Hanford (Washington), poi confermati da VIRGO, European Gravitational Observatory (EGO), dell'INFN a Cascina (Pisa); l'emissione di queste onde è prevista anch'essa dalla relatività generale (campo gravitazionale trattato come campo elettromagnetico), come perturbazione dello spazio-tempo; vengono originate da fenomeni cosmici in cui enormi masse variano la loro distribuzione in modo repentino ad esempio nella collisione di oggetti massivi oppure nell'esplosione di supernovae

- scoperta dei black-holes; teorizzata nel 1916 da K. Schwarzschild come soluzione alle equazioni di campo di Einstein; da questa conclusione teorica Einstein dissentì in un primo tempo; dedotti dalla fenomenologia di resti di stelle binarie di nuclei galattici attivi, a partire dagli anni 1970; "osservata" per la prima volta nel 2019 l'ombra del buco nero al centro della galassia M87, ovvero la fotografia dell'anello di accrescimento che circonda il black hole.

Esiste tuttavia un genere di scoperte che non discende dalla verifica di previsioni, entro quadri teorici ragionevoli o consolidati, ma accade casualmente, o per *serendipity*, come risultato della curiosità o di osservazioni inaspettate, elemento importante della ricerca astronomica e astrofisica. Ne sono esempi:

- la scoperta della legge periodo - luminosità nelle stelle variabili pulsanti di tipo Cefeide (H.S. Leavitt, 1912)

- la scoperta del CMB, radiazione cosmica di fondo a 3 °K (A. Penzias e R. Wilson, 1964); prevista da G. Gamow nel 1948, mai cercata sistematicamente

- la scoperta delle Pulsar, stelle di neutroni, rotanti (1967, Jocelyn Bell, Cambridge, inizialmente ritenute messaggi da civiltà aliene, LGM- little green men; Nobel a Hewish e Ryle nel 1974)

5. Cosa realmente sappiamo sulla struttura e l'evoluzione del cosmo fisico? I risultati acquisiti dell'astrofisica e della cosmologia

Ecco uno schematico quadro riassuntivo di alcuni risultati che possiamo ormai considerare acquisiti (scelti fra quelli di maggior interesse interdisciplinare):

a) Il cosmo osservabile (galassie, stelle, pianeti...) è stato oggetto di una lunga e complessa evoluzione fisico-chimica;

- in circa 13.8 miliardi di anni, è passato dalla formazione delle prime particelle (quarks, protoni, elettroni, neutroni) e quanti di energia (fotoni) alla formazione di galassie, con almeno 3 diverse generazioni di stelle e la successiva formazione di pianeti attorno alle stelle

- dal “Tempo di Planck” (10^{-43} s, lunghezza temporale corrispondente al minimo raggio in cui è possibile applicare le leggi fisiche della MQ, 10^{-33} cm) ai nostri giorni, l'universo è passato da una situazione estremamente compatta ($R=10^{-33}$ cm; $T=10^{31}$ °K) alla situazione contemporanea ($R=13.8$ anni-luce; $T= 3.7$ °K) (1 anno-luce = 10^{18} cm)

b) Nell'universo osservabile ci sono non meno di 10^{12} galassie e ciascuna galassia contiene non meno di 10^{11} stelle; il bilancio della materia osservabile è solo del 4,9% rispetto alla materia oscura (26,8%) e all'energia oscura (68,3%)

c) Lungo la sua evoluzione fisico-chimica il cosmo ha prodotto dapprima i nuclei degli elementi più leggeri (H, He), poi via via sempre più pesanti (C, O, N, ecc.) mediante la nucleosintesi degli elementi, avvenuta in piccola parte durante le prime fasi dell'evoluzione cosmica e in gran maggioranza nei nuclei delle stelle, macchine termonucleari che sintetizzano i nuclei degli elementi fino al Fe. Gli elementi più pesanti del Fe sono stati prodotti durante le esplosioni di supernovae o in altri fenomeni altamente energetici.

d) Le stelle sono soggette ad evoluzione termodinamica e chimica: la loro temperatura, densità e luminosità varia con il tempo e con il procedere del “combustibile” disponibile per la nucleosintesi; il tempo di evoluzione stella dipende dalla massa della stella; sappiamo in quali condizioni esse terminano la loro “vita” come nane bianche, supernovae con residui di stelle di neutroni, buchi neri.

e) Formazione dei pianeti: sappiamo che per la maggior parte delle stelle, nel processo della loro formazione si sono formati attorno ad esse anche pianeti, della cui composizione chimica e distribuzione di massa cominciamo ad avere idee sempre più chiare.

f) Sappiamo quali sono le condizioni necessarie (ma non sufficienti) perché si possa sviluppare la vita, quali sono le condizioni fisiche necessarie e gli elementi chimici necessari e, pertanto, quali sono i luoghi e i tempi in gioco.

Alcune precisazioni epistemologiche in merito alla comunicazione di osservazioni e risultati:

- precisazione sul significato della dizione “età dell’universo”

Ci riferiamo al tempo che separa l’attualità dall’inizio *osservabile* dell’espansione (superficie di ultimo scattering fra fotoni e particelle, disaccoppiamento materia-radiazione e fine dell’equilibrio di corpo nero, circa 379.000 anni dopo il Big Bang) oppure dall’inizio *teoricamente deducibile* dell’espansione, a partire dalla “lunghezza di Planck” ($R=10^{-33}$ cm); in realtà NON sappiamo da quanto tempo esiste l’universo, perché non abbiamo, dall’interno della scienza sperimentale e di un’analisi quantitativa, la capacità di definire l’origine del tempo.

- precisazione sul significato della dizione “estrarre energia dal vuoto”

Ci riferiamo al fatto che, nell’elettrodinamica quantistica relativistica, la geometria dello spazio-tempo possiede una “energia virtuale”. Non esiste il vuoto, ma la geometria spazio-temporale, con le sue leggi quantistiche. La produzione di una grande quantità di energia, ad esempio durante collisioni molto energetiche fra particelle (LHC), consente alla geometria di rilasciare l’energia che essa contiene, ad esempio trasformando energia in materia: creazione di coppie particelle + antiparticelle, ecc.

- radiazione fossile, eco del Big Bang

Ci riferiamo, semplicemente, alla radiazione osservata, originatasi quando, non più assorbita dalla materia, poté espandersi liberamente a partire da circa 379.000 anni dopo il Big Bang, una volta terminata la fase di equilibrio termodinamico (universo opaco).

Precisazioni su dizioni usate nei media:

- grande esplosione iniziale

Non si trattò di nessuna esplosione, ma della nostra inferenza indiretta che ebbe inizio un’espansione dello spazio tempo (fra l’altro, totalmente silenziosa...)

- siamo figli delle stelle

vuol dire che: gli elementi chimici di cui siamo formati noi esseri umani, furono prodotti all’interno delle stelle, per fusione di nuclei, mediante reazioni termonucleari

- vedere, fotografare, ecc. black holes

vuol dire che: fotografiamo o rileviamo in qualche modo il comportamento della materia e della radiazione nei pressi di un black hole.

6. Congetture, previsioni e risultati nella discussione intorno ai “modelli” cosmologici

I modelli cosmologici descrivono la storia passata e futura delle principali caratteristiche del nostro universo (dimensioni, densità, dinamica globale). Sono frutto di una specifica teoria (basata su dati osservativi) e devono essere a loro volta in grado di fare predizioni, per poter discriminare quale sia il modello “giusto”.

Maggiore pretesa di onnicomprensività possiede il modello, maggiori saranno le premesse filosofiche implicite e minore sarà la sua disponibilità a generare osservabili. Si tratta di modelli che, in ogni caso, “non partono da zero”, ma devono sempre assumere quantità finite (spazio-tempo, geometria, leggi fisiche, ecc.) e presupposti filosofici (fondamento ontologico e proprietà formali del reale fisico).

- **Congetture:** sono necessarie per dare avvio ad un modello o ad una teoria che genera uno o più modelli; è parte dell’intuizione scientifica
- **Previsioni:** un buon modello deve fare previsioni osservabili e queste devono essere in grado di discriminare se il modello è consistente oppure no con la realtà
- **Risultati:** esistono risultati indipendenti dai modelli cosmologici impiegati e sono quelli più importanti (l’universo si sta espandendo, vi sono elementi chimici pesanti che implicano una certa età del cosmo, ecc.). Ed esistono risultati theory-laden, dipendenti dalle teorie e dai modelli adottati e dunque suscettibili di diverse interpretazioni (il fatto che vi sia una certa “massa mancante” dipende dalla nostra comprensione di cosa siano le particelle rappresentate dal modello standard).

7. Risultati, previsioni e congetture in merito alla formulazione del Principio Antropico (AP):

Il Principio segnala che le caratteristiche fondamentali del nostro universo (costanti di natura, leggi fisiche, proprietà dei suoi componenti) non sono di qualsivoglia valore numerico, ma solo dei valori che consentono all’universo di sussistere (perché regolano la formazione di galassie, stelle, pianeti, ma anche quella di particelle e atomi) e di generare ambienti adatti ad ospitare la vita

- **Risultati:** la scoperta di coincidenze cosmiche di carattere originario, non selezionate in sede evolutiva, favorevoli a strutturare la materia e a ospitare la vita (condizioni necessarie); esse costituiscono, nel loro insieme, il contenuto del cosiddetto Weak Anthropic Principle (WAP).
- **Previsioni:** il principio è in grado di prevedere l’età minima del nostro universo (tale che al suo interno si siano sviluppati osservatori intelligenti); ed è stato anche in grado di prevedere l’esistenza di livelli eccitati degli atomi di carbonio e di ossigeno necessari a favorire la sintesi dell’elio e la produzione del carbonio.

- Congiunture (visioni filosofiche):

a) la vita intelligente è il prodotto necessario finale (SAP) della nascita ed evoluzione del cosmo (a priori e non viabile, perché l'AP riguarda solo condizioni necessarie alla vita, non sufficienti; riguarda inoltre la vita in quanto biologica, non l'intelligenza);

b) le coincidenze cosmiche dimostrano scientificamente (in modo formale-sperimentale) l'esistenza di un Creatore intelligente (congettura inconsistente, perché a scegliere i numeri potrebbe essere stato un "supercomputer" esterno al mondo);

c) l'AP è in *consonanza* con l'ipotesi di un'intelligenza creatrice che trascende il cosmo (congettura consistente, perché, per abduzione, se esistesse una Intelligenza personale che trascende il cosmo e lo crea, allora l'aspetto "progettuale" del cosmo sarebbe un suo effetto osservabile).

Osservazione conclusiva

Il rapporto fra congetture, previsioni e risultati deve essere regolato dal realismo conoscitivo. Le nostre osservazioni non sono mai "totalmente dipendenti" dalle teorie e sono in grado di separare ciò che è vero da ciò che è falso.

Anche la riflessione filosofica deve essere regolata dal realismo conoscitivo. Una filosofia totalmente a priori resterà solo un'idea. Una filosofia di istanza metafisica può inferire conclusioni che trascendono l'esperienza empirica, ma deve sempre partire anch'essa dall'esperienza.

Un compito per l'epoca contemporanea: nutrire una filosofia di istanza metafisica con un realismo non ingenuo, all'altezza della nostra odierna comprensione della natura. Ovvero, dare una veste contemporanea all'aforisma tomista *nihil est in intellectu quod non sit prius in sensu* ed alla sua definizione di verità come *adaequatio rei et intellectus*.