

La valorizzazione industriale dei dati astronomici e satellitari

Simone Manili

Data Analyst & Supply Chain Expert / Signify Italia SpA

A view from space showing the Earth's horizon and the Milky Way galaxy. The Earth's horizon is a bright, curved line across the upper half of the image. Below it, the dark, star-filled expanse of the Milky Way galaxy stretches across the sky. In the foreground, the structure of a satellite or space station is visible, including various panels, antennas, and equipment. The overall scene is a stunning cosmic vista.

QUADRO INTRODUTTIVO

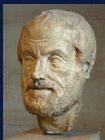
- NASCITA DELL'ASTROSTATISTICA
- METODOLOGIA STATISTICA IN COSMOLOGIA
- INTELLIGENZA ARTIFICIALE

LA VALORIZZAZIONE INDUSTRIALE DEI DATI ASTRONOMICI E SATELLITARI

- OSSERVAZIONE DELLA TERRA E NAVIGAZIONE SATELLITARE
- BIG DATA ASTRONOMICI E SATELLITARI
- GOVERNANCE E PROSPETTIVE

CONCLUSIONI

Quadro introduttivo



Aristotele (IV sec. A.C.) → Copernico (1543)

Da geocentrismo a eliocentrismo



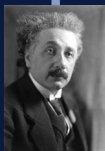
Newton (1687)

Universo meccanico e deterministico



Henrietta Leavitt (1912)

Come stimare le distanze delle galassie



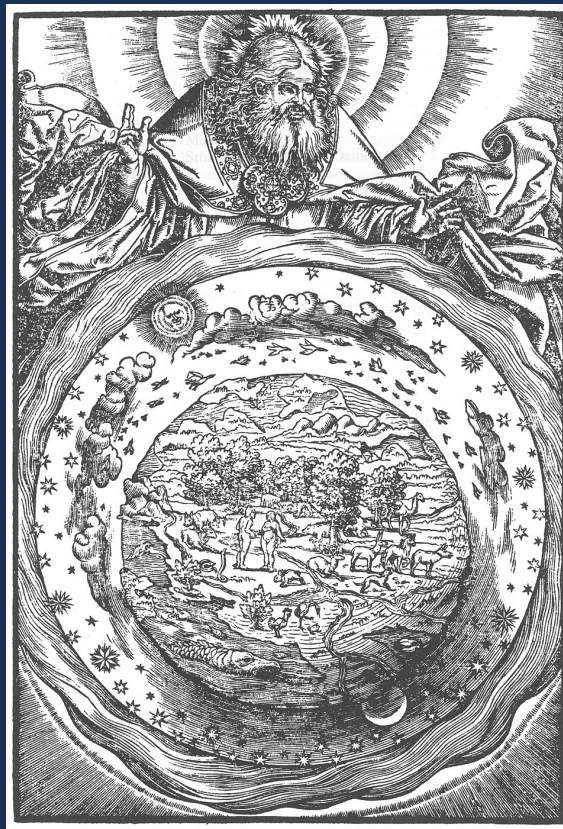
Einstein (1916)

Relatività generale → spaziotempo curvato



Lemaître (1927) e Hubble (1929)

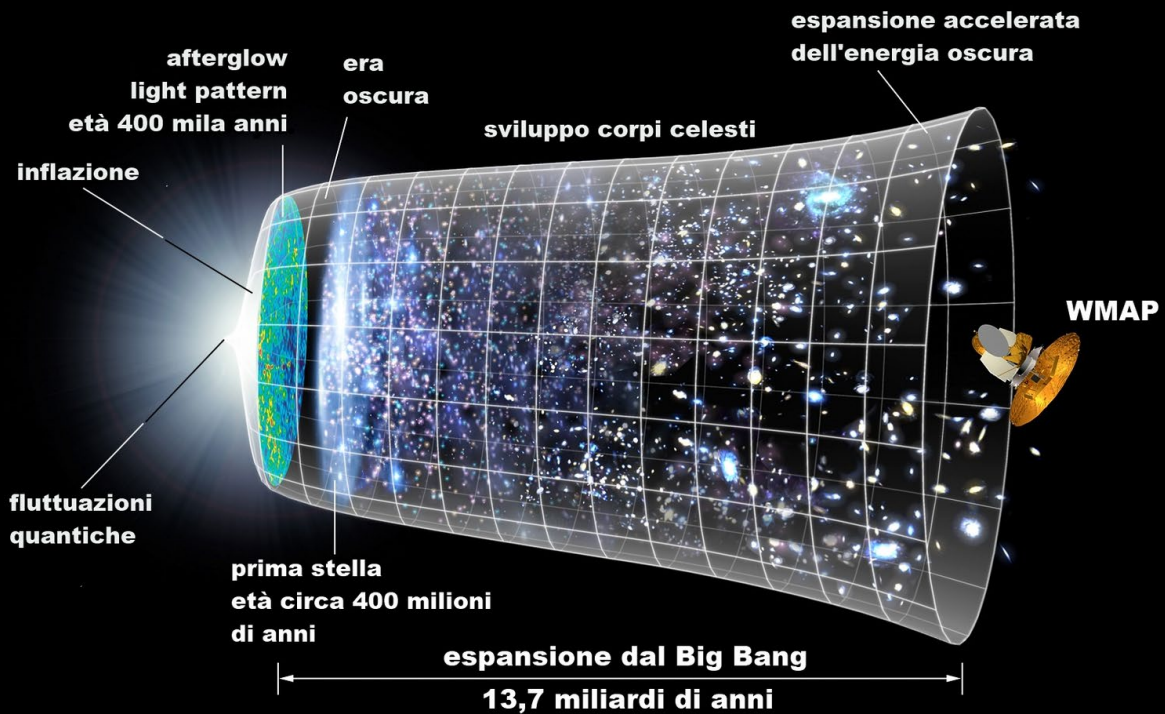
Universo omogeneo ed isotropo in espansione



Un'illustrazione della Terra dalla Bibbia di Martin Lutero risalente al 1545

Che si tratti di stimare l'orbita di una cometa o calibrare un sensore satellitare in orbita, la sfida statistica di fondo non cambia: separare segnale da rumore, distinguere errore sistematico da errore casuale, combinare misure imperfette per ottenere una stima affidabile.

Il dato grezzo non è mai la verità, è sempre verità più errore, e il lavoro statistico è sempre lo stesso: quantificarlo e correggerlo.



GPS e relatività: senza correggere gli effetti relativistici la posizione GPS sbaglierebbe di ~11 km al giorno.

Buchi neri e wi-fi.

Telescopio Hubble, progresso nei semiconduttori e mammografie.

Legendre, Gauss, Laplace: le fondamenta

1805 • Legendre

Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes

1809 • Gauss

Theoria Motus Corporum Coelestium in Sectionibus Conicis Solem Ambientium

1812 • Laplace

Théorie analytique des probabilités

Sintesi Gauss-Laplace

Metodo + Teoria → nascita dell'astrostatistica moderna e del Teorema di Gauss-Markov (BLUE)
Il metodo dei minimi quadrati domina l'astrostatistica dall'Ottocento a metà Novecento.

Nel XX secolo statistica e astronomia si separano:

la statistica diventa disciplina matematica autonoma, con applicazioni in economia, demografia e biologia; l'astronomia evolve in astrofisica.

Le due si ricongiungono solo a fine secolo, con l'esplosione dei big data astronomici.



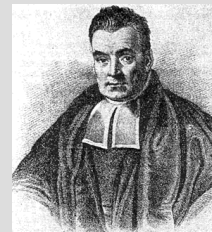
C. F. Gauss (1777–1855)



P.-S. Laplace (1745–1827)

La statistica moderna ha le sue radici anche nell'astronomia, nello sviluppo dei metodi statistici per trattare gli errori di misura

Inferenza Bayesiana: lo standard in Cosmologia



Thomas Bayes (1702 - 1761)



Andrey Markov (1856 - 1922)

$$P(\vartheta \mid D) = P(D \mid \vartheta) \cdot P(\vartheta) / P(D) \quad \rightarrow \quad \text{Posteriori} = (\text{Verosimiglianza} \times \text{Priori}) / \text{Evidenza}$$

Perché Bayes? (1763)

- L'Universo è un'unica istanza: non possiamo ripetere l'esperimento
- Permette di incorporare conoscenza pregressa (priori fisici)
- Crescita esponenziali dei dati negli anni '90 del XX secolo e aumento della potenza computazionale
- Standard per **DESI**, **Planck**, **Euclid**

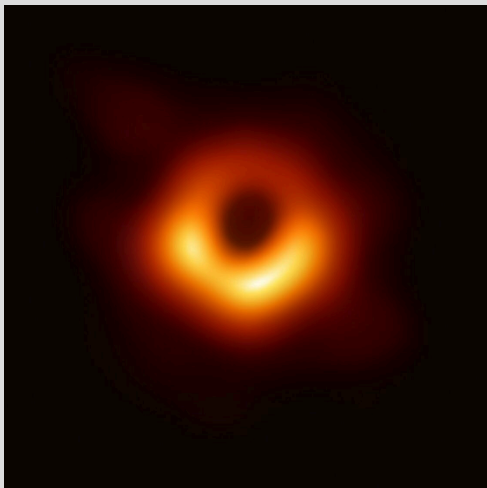
MCMC — Markov Chain Monte Carlo (1970)

- Campiona la distribuzione a posteriori senza calcolare l'integrale nell'Evidenza (essenziale in presenza di molti dati e molti parametri)
- **CosmoMC** (Lewis & Bridle, 2002): standard in cosmologia
- Esplora spazi di parametri complessi e correlati

Applicazioni pratiche industriali ed economiche

- Monitoraggio infrastrutture terrestri (InSAR)
- Agricoltura (stress colturale)
- Meteorologia
- Gestione flotta satellitare (orbite, detriti, guasti)

Storia dell'IA: da Turing al Deep Learning



Buco nero M87 – Event Horizon Telescope (2019)

Classificazione morfologica galassie

CNN raggiungono 83–94% accuratezza · GZ2, SDSS, survey sud photometric

Redshift fotometrico

CNN sui pixel grezzi SDSS: stima z senza calcolo manuale di feature

Identificazione esopianeti (Kepler-90)

CNN su curve di luce → ottavo pianeta attorno a Kepler-90

Buchi neri: CNN Deep Horizon + PRIMO

Stima massa e spin dall'ombra · immagine M87 ad alta risoluzione (EHT + AI)

Futuro: Vera C. Rubin Observatory (LSST da 2026)

Miliardi di oggetti → IA indispensabile per classificazione in tempo reale

La valorizzazione industriale dei dati astronomici e satellitari

626 mld \$

Economia globale spazio 2025
(Il settore commerciale ne è il 78%)

+12%

crescita media
annua

14.200

satelliti operativi su 16.900
oggetti nello spazio (gen. 2026)

Il programma Copernicus

Principale programma europeo di osservazione della Terra.
Iniziativa congiunta Commissione Europea - ESA.

Open data.

I satelliti Sentinel

- Operativi dal 2014, 12 satelliti attivi
- 9° anno operativo: 760.000 utenti registrati e 586 petabyte di dati
→ vera palestra di Big Data

Il sistema di navigazione Galileo

Sistema globale di navigazione satellitare sviluppato dall'Unione Europea per fornire servizi commerciali di posizionamento (più preciso del GPS e sotto controllo civile). Insieme a Copernicus, assorbe quasi tutto il budget europeo 2021-2027 per lo spazio di 14,8 mld EUR

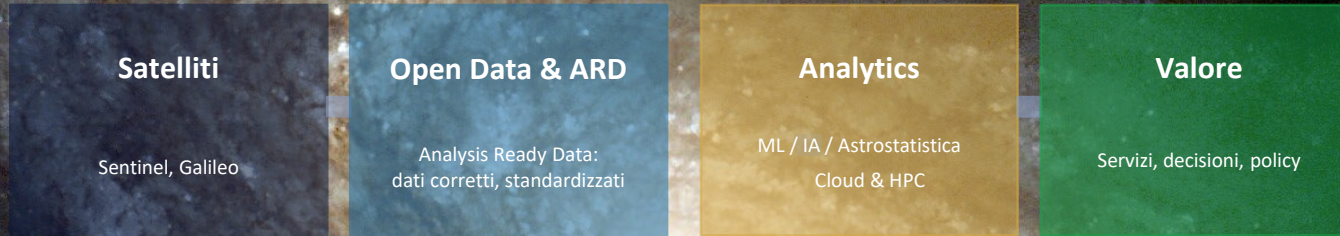
IRIS² (Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite)

Sistema UE di connettività sicura. Pensato per essere l'alternativa europea ad altre costellazioni satellitari per le connessioni internet come Starlink o Guowang, si prevede l'operatività tra il 2027 ed il 2030

Struttura industriale globale (integratori principali)

- Europa: Airbus D&S - Thales Alenia Space (fusione delle divisioni spaziali con Leonardo, per competere meglio a livello globale)
- USA: Boeing - Lockheed Martin
- Cina: CASC (stato-correlata)

La nuova filiera del valore del dato



Open data

- NASA ed ESA promuovono accesso aperto
- I dati spaziali sono risorse scientifiche, economiche e geopolitiche simultaneamente

Sfide statistiche dei Big Data satellitari

- **Correzione dei bias sistematici**: rimozione degli effetti atmosferici e della deriva/degradazione strumentale per garantire la comparabilità delle misure nel tempo e tra sensori diversi.
- **Fusione multisorgente**: integrazione di dati eterogenei (ottico, SAR, GNSS, in-situ) tramite data assimilation e modelli bayesiani/Kalman, pesando ogni osservazione in base alla sua incertezza.
- **Incertezza spazio-temporale nelle serie storiche**: discontinuità dovute a cambi di sensore o di algoritmo di elaborazione, che richiedono procedure di omogeneizzazione e cross-calibrazione dei dati.

INAF

- Partecipa a Euclid (ESA) e Square Kilometre Array (SKA)
- Supercomputer Leonardo (CINECA, Bologna) per HPC astronomico
- PNRR: infrastrutture per Big Data astronomici
- Mar. 2026: osservazioni FCC contro mega-costellazione SpaceX (1M satelliti)

Governance dei dati astronomici: una risorsa geopolitica



Domande aperte

Chi può accedere ai dati? A quali condizioni? Con quali obiettivi?
Concentrazione del mercato in pochi grandi operatori verticalmente integrati.

L'astrostatistica non è solo strumento tecnico: è il punto di incontro tra scienza fondamentale, industria e governance globale dello spazio.

Square Kilometre Array (SKA)

Il più grande radiotelescopio mai costruito. L'Italia (INAF) è membro fondatore. Produce petabyte/giorno → ML e astrostatistica indispensabili.

Euclid (ESA, 2023–)

Telescopio spaziale per energia oscura, materia oscura, formazione strutture dell'Universo. L'analisi statistica è al centro della missione scientifica.

Conclusioni

- La statistica ha le sue radici anche nell'astronomia (Legendre, Gauss, Laplace) e oggi vi torna con strumenti potentissimi d'Intelligenza Artificiale

- L'astrostatistica moderna unisce inferenza bayesiana, MCMC e Deep Learning e, questi stessi strumenti, vengono utilizzati nella valorizzazione del dato satellitare

- L'economia spaziale vale 626 mld \$ (2025) e cresce: i dati sono la vera risorsa strategica del settore (scienza, economia e geopolitica)

- La valorizzazione industriale del dato astronomico e satellitare è negli open data e, nello specifico, negli Analysis Ready Data (ARD)

- La gestione dei Big Data satellitari è una sfida non solo economica, ma anche tecnico-scientifica e necessita di un'adeguata governance



"La statistica ci insegna che ogni misura porta con sé incertezza, che il segnale si nasconde sempre nel rumore."

Contatti

Per domande, critiche o semplicemente per approfondire il discorso insieme, potete contattarmi a simone.manili@gmail.com

Fonti delle immagini

Slide 2: Una vista dalla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) in orbita bassa terrestre (*Public Domain*: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS-44_Milky_Way.jpg)

Slide 3: Scultura ritratto di Aristotele (Autore: Eric Gaba (User: Sting), [fotografia], 2005, Wikimedia Commons, licenza [Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic](#) *Generic*: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristoteles_Louvre.jpg.)

Slide 3: Ritratto di Isaac Newton (*Public Domain*: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait_of_Sir_Isaac_Newton,_1689.jpg)

Slide 3: Fotografia anonima di Henrietta Leavitt del 1898: (*Public Domain*: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Henrietta_Swan_Leavitt.jpg)

Slide 3: Albert Einstein nel 1921 (*Public Domain*: [Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication](#): [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albert_Einstein_1921_\(re-cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albert_Einstein_1921_(re-cropped).jpg))

Slide 3: Fotografia di Georges Lemaître negli anni '30 (Autore sconosciuto, *Public Domain*: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GLemaitre30.jpg>)

Slide 3: Un'illustrazione della Terra dalla Bibbia di Martin Lutero risalente al 1545 (*Public Domain*: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Am_Anfang_schufft_Gott_Himel_vnd_Erden.jpg)

Slide 4: Linea temporale della radiazione di fondo (Autore: Nasa, rielaborato da Vale Maio (User: talk), *Public Domain*: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linea_temporale_della_radiazione_di_fondo.png)

Slide 5: Ritratto del 1840 di Carl Friedrich Gauss, ad opera di Christian Albrecht Jensen (*Public Domain*: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carl_Friedrich_Gauss.jpg)

Slide 5: Ritratto del 1838 di Pierre-Simone Laplace, ad opera di Jean-Baptiste Paulin Guérin. (*Public Domain*: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pierre-Simon_marquis_de_Laplace_\(1745-1827\)_-_Guérin.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pierre-Simon_marquis_de_Laplace_(1745-1827)_-_Guérin.jpg))

Slide 6: Ritratto di un ecclesiastico presbiteriano identificato storicamente come Thomas Bayes, ma ci sono forti dubbi sull'attribuzione (*Public Domain*: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thomas_Bayes.gif)

Slide 6: Una foto del matematico Andrey Markov risalente al 1886 (Autore sconosciuto, *Public Domain*: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Andrei_Markov.jpg)

Slide 7: La prima immagine di un buco nero - il buco nero supermassiccio al centro della galassia M87 - rilasciata nel 2019 dall'Event Horizon Telescope Collaboration. (Autore: Event Horizon Telescope Collaboration, Licenza [Creative Commons Attribution 4.0 International](#): https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_hole_-_Messier_87.jpg)

Slide 8: La Tesla Roadster di Elon Musk in orbita attorno al sole, con il manichino “Starman” al volante e la Terra sullo sfondo (Autore: SpaceX, [Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication](#): [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elon_Musk's_Tesla_Roadster_\(40143096241\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elon_Musk's_Tesla_Roadster_(40143096241).jpg))

Slide 9: L'Italia fotografata dal satellite Sentinel 3-A (2016) (Autore: European Space Agency, Licenza [Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 IGO](#): https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Italy_and_Mediterranean_ESA391025.jpg)

Slide 10: La galassia a spirale NGC 4414, fotografata nel 1995 dall'Hubble Space Telescope (Autore: The Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA) NASA Headquarters - Greatest Images of NASA (NASA-HQ-GRIN), *Public Domain*: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NGC_4414_\(NASA-med\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NGC_4414_(NASA-med).jpg))

Slide 11: La famosa foto *Earthrise* (“il sorgere della Terra”) scattata dalla Luna il 24 dicembre del 1968 (Autore: NASA/Bill Anders), *Public Domain*: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NASA-Apollo8-Dec24-Earthrise.jpg>)

Bibliografia consigliata

Di Spalatro, D., & Morabito, G. (2026). *Il dataismo: La nuova religione dell'era digitale*. Carabba.

Stigler, S. M. (1986). *The history of statistics: The measurement of uncertainty before 1900*. Belknap Press of Harvard University Press.

Salsburg, D. S. (2001). *The lady tasting tea: How statistics revolutionized science in the twentieth century*. W. H. Freeman.

Giudice, G. F. (2023). *Prima del Big Bang*. Rizzoli.

Guth, A. H. (1998). *The inflationary universe: The quest for a new theory of cosmic origins*. Vintage Publishing.

Feigelson, E. D., & Babu, G. J. (1992). *Statistical challenges in modern astronomy*. Springer.

Lambert, B. (2018). *A Student's Guide to Bayesian Statistics*. Sage.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.

Di Pippo, S. (2025). *Space economy: L'arena competitiva del futuro* (2^a ed.). Bocconi University Press.