

Matematica e Sostenibilità

Quali strumenti offre la Matematica
per la salvaguardia del Pianeta?

Luca Amata

16 febbraio 2026



Matematica e Realtà

Linguaggio Matematico

G. Galilei (Il Saggiatore, 1623)

Il libro della natura è scritto in lingua matematica ed i suoi caratteri sono triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto.



E. Wigner (L'irragionevole efficacia della Matematica [...], 1960)



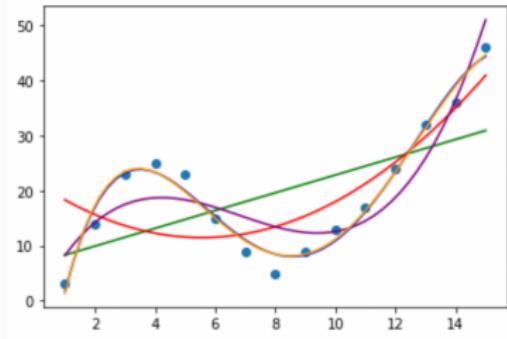
Il miracolo dell'appropriatezza del linguaggio della matematica per la formulazione delle leggi della fisica è un dono meraviglioso che noi non comprendiamo né meritiamo. Dovremmo esserne grati e sperare che si estenderà alle più ampie branche del sapere [15].

Creazione di Modelli

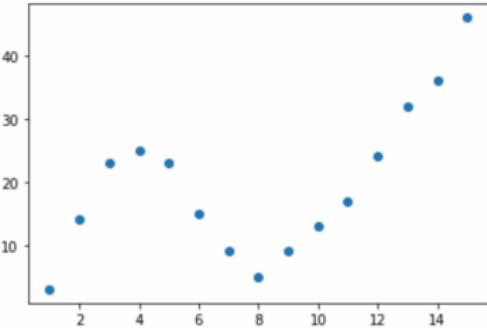
Raccolta Dati

| D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Longitude E.Deg 77°Min 53'Sec 11.4 Anemometer 100m Anemometer 50m Anemometer 25m Windvar 100m Windvar 50m Windvar 25m Temperature Pressure | | | | | | | | |
| 9.148 | 8.3470 | 6.4193 | 3.1889 | 28.23 | 26.1554 | 27.0006 | 26.9585 | 1050.296 |
| 9.4831 | 8.6722 | 6.4343 | 3.1243 | 22.7993 | 21.2007 | 22.5483 | 21.92508 | 1050.297 |
| 9.5649 | 8.346 | 6.0429 | 3.0649 | 21.3395 | 20.6686 | 21.2255 | 21.84012 | 1050.291 |
| 9.4862 | 7.7975 | 6.0429 | 3.0649 | 20.4599 | 20.1006 | 21.1047 | 21.59774 | 1050.288 |
| 9.0616 | 8.1894 | 6.3614 | 2.5539 | 19.7127 | 18.8796 | 18.7835 | 18.59754 | 1050.022 |
| 9.2668 | 8.3701 | 6.3614 | 2.6192 | 20.7096 | 17.555 | 17.8792 | 21.46481 | 1050.993 |
| 9.212 | 8.3824 | 6.0166 | 2.1154 | 19.0029 | 15.2857 | 13.0217 | 21.33137 | 1050.948 |
| 8.9408 | 8.0594 | 5.4165 | 2.1402 | 19.6944 | 19.9005 | 21.33468 | 20.99548 | 1050.74 |
| 8.9179 | 8.0594 | 5.2593 | 2.1179 | 19.1791 | 19.2006 | 21.2486 | 20.99577 | 1050.67 |
| 9.2981 | 8.1501 | 6.4377 | 2.6494 | 21.1413 | 18.0946 | 18.9017 | 20.96471 | 1050.66 |
| 9.5173 | 8.4427 | 6.5489 | 2.0230 | 18.0479 | 14.471 | 15.1047 | 20.95246 | 1050.403 |
| 9.605 | 8.3516 | 5.7923 | 2.4787 | 18.6557 | 9.0446 | 7.9393 | 20.99014 | 1050.53 |
| 10.1336 | 8.7153 | 5.9111 | 2.6842 | 11.7667 | 9.9125 | 6.2684 | 20.94113 | 1050.359 |
| 10.4484 | 8.2447 | 4.2523 | 2.6282 | 12.8235 | 4.4235 | 4.4235 | 20.99556 | 1050.238 |
| 10.37 | 9.1897 | 6.7133 | 2.8798 | 13.9964 | 9.8187 | 10.1396 | 21.01231 | 1050.193 |
| 9.7822 | 8.1887 | 5.3618 | 2.6081 | 11.6982 | 7.495 | 6.1831 | 20.96678 | 1050.112 |
| 9.9174 | 7.3540 | 5.1406 | 2.5658 | 9.5249 | 6.4909 | 6.1718 | 20.89911 | 1050.043 |
| 8.9087 | 8.0594 | 5.0482 | 2.4792 | 18.8057 | 8.1446 | 8.1446 | 20.99546 | 1050.046 |
| 9.5168 | 7.8117 | 5.0826 | 3.3871 | 9.8014 | 6.3386 | 4.9311 | 20.81993 | 1050.034 |
| 10.0137 | 6.6476 | 4.7033 | 2.5865 | 6.6553 | 3.0327 | 2.3109 | 20.80056 | 1050.031 |

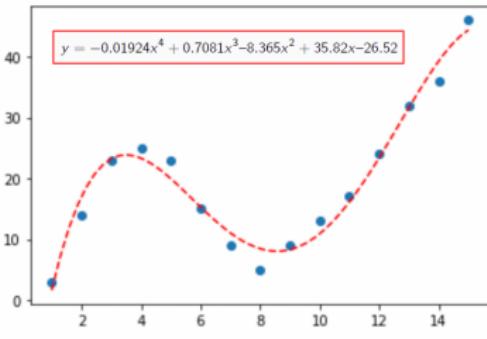
Fitting Dati



Analisi Dati



Modello



Esempi di Modelli

Pipeline construction [12]

La funzione $C(x)$ rappresenta il costo per la costruzione di un oleodotto rispetto alla sua lunghezza x , con D_1 D_2 , rispettivamente, le distanze della piattaforma e della raffineria dalla costa, e c_1 c_2 i costi unitari di costruzione in acqua e su terra. Si può determinare il valore della lunghezza x che permette di **minimizzare** i costi:

$$C(x) = c_2x + c_1\sqrt{D_1^2 + (D_2 - x)^2}; \quad x = D_2 - \frac{D_1}{\tan(\cos^{-1}(c_2/c_1))}$$

Mathematical Modelling of Marine Ecosystems [11]

L'equazione differenziale alle derivate parziali di McKendrick-von Foerster descrive l'**evoluzione del numero** di organismi marini $N(w, t)$, di taglia w al tempo t , conoscendone tasso di crescita $g(w, t)$ e mortalità $\mu(w, t)$:

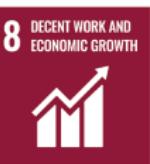
$$\frac{\partial N(w, t)}{\partial t} = -g(w, t)\frac{\partial N(w, t)}{\partial w} - \mu(w, t)N(w, t)$$

Sostenibilità

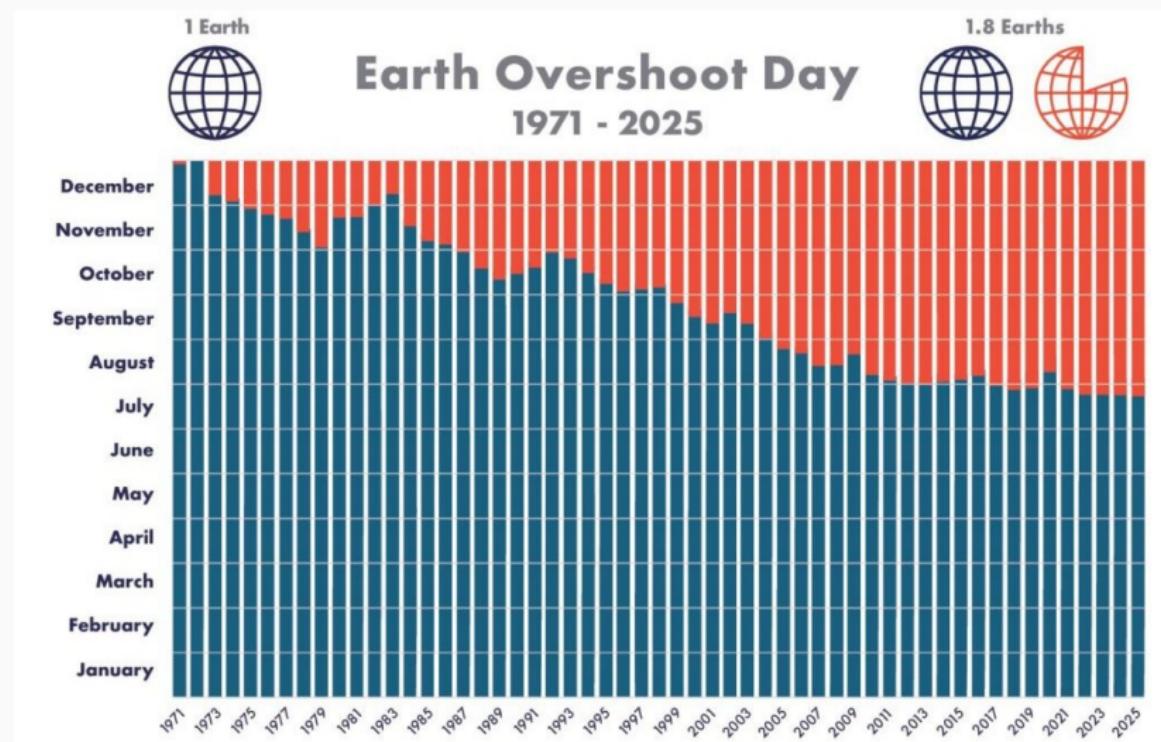
Quale Sostenibilità? [13]



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Earth Overshoot Day [4]



$$\frac{\text{world biocapacity}}{\text{world ecological footprint}} \times 365 = \text{EOD}$$

Prevedere per Prevenire

Sostenibilità

significa lasciare alle future generazioni almeno le nostre stesse opzioni.

La Matematica

non si occupa soltanto di formule, ma di cercare **strategie di interazione**. Significa costruire modelli ed utilizzarli per comprendere fenomeni complessi ed **ottimizzarne** i processi ottenendo il massimo risultato con il minimo impatto.

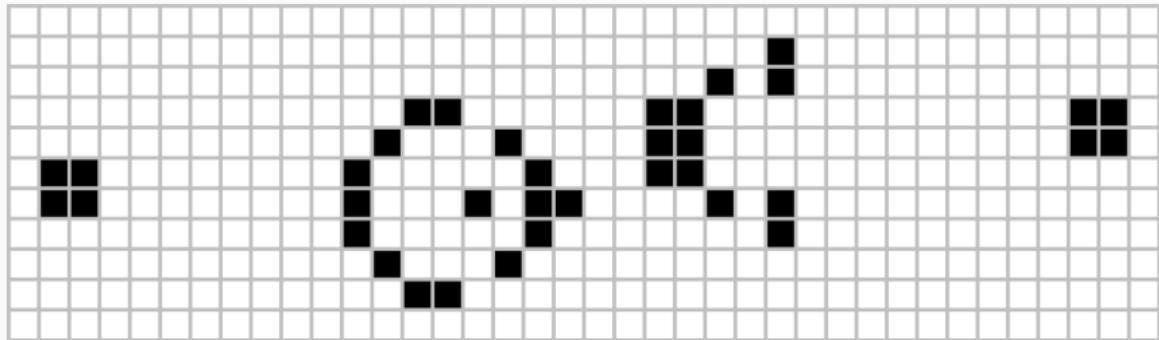
Le Politiche Ambientali

utilizzano delicati protocolli che prevedono la **valutazione dell'impatto** dei modelli prima di attuarli, per evitare “punti di non ritorno”.

Nell'ottica di evitare il sovrasfruttamento, si prevede l'utilizzo di modelli che incentivino le energie rinnovabili, il riciclo delle materie prime e soprattutto minimizzare lo spreco delle risorse non rinnovabili.

Automi Cellulari

Game of Life (J. Conway, 1970) [5]



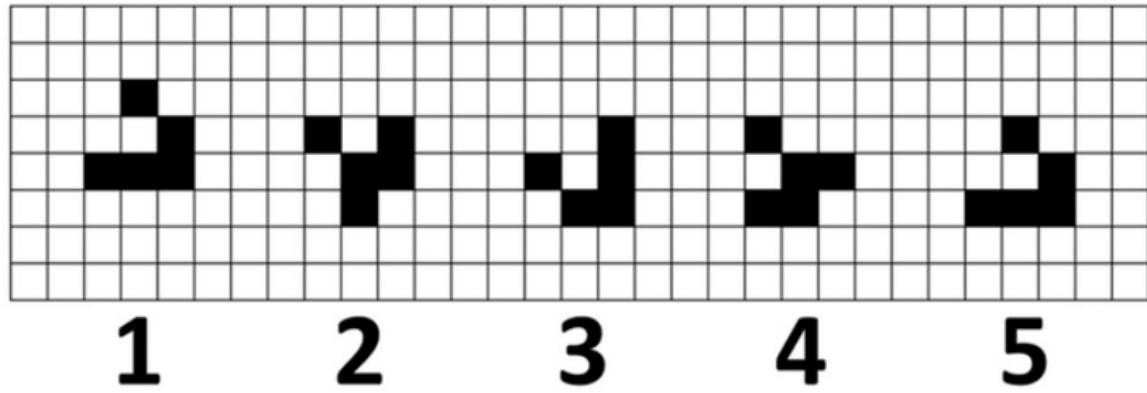
Regole del Modello

- Cella viva con meno di due celle vive adiacenti muore (isolamento);
- Cella viva con due o tre celle vive adiacenti sopravvive;
- Cella viva con più di tre celle vive adiacenti muore (sovrapopolazione);
- Cella morta con esattamente tre celle vive adiacenti vive (riproduzione).

Equilibrio dinamico [2]

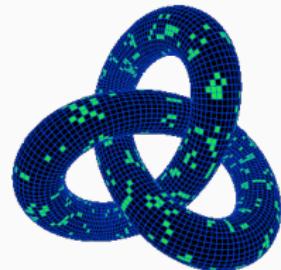
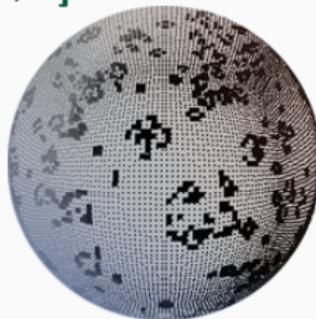
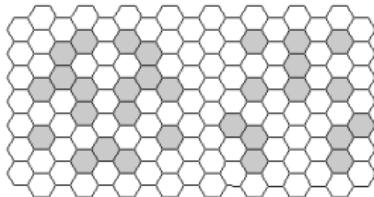
Simulazione del Glider Cannon Gun

Periodicità dell'Aliante

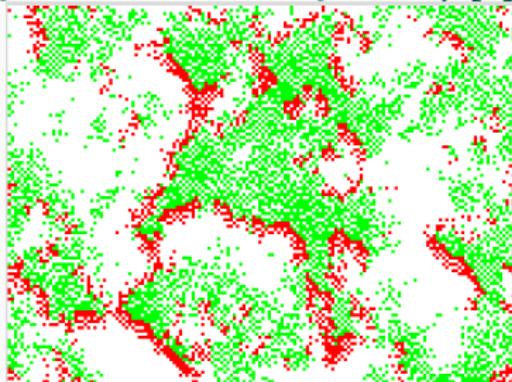
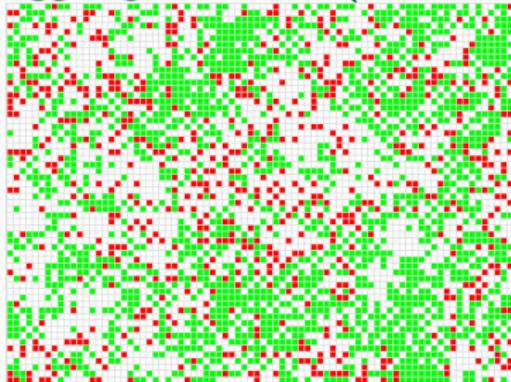


Varianti del Gioco [8]

Cambiamo la griglia [6, 7, 9]



Aggiungiamo colori (Wa-Tor ecosystem, A. Dewdney, 1984) [3]



Conclusioni

La Tragedia dei Beni Comuni (G. Hardin, 1968) [10]

La rovina è la destinazione verso cui tutti gli uomini corrono, ciascuno perseguiendo il proprio interesse in una società che crede nella libertà dei beni comuni. La libertà nei beni comuni porta alla rovina di tutti.

Il problema della popolazione non ha una soluzione tecnica; richiede un'estensione fondamentale della moralità.

Bibliografia

Bibliografia i

- [1] F. D. Brown, K. Sneppen. Replicators in Game-of-Life-like automata. Phys. Rev. E, Vol. 111, 054306 (May 2025).
- [2] G. S. Cumming. Introduction to Mechanistic Spatial Models for Social-Ecological Systems, chapter of Spatial Resilience in S-E S. Springer Dordrecht (January 2011).
- [3] A. K. Dewdney. Sharks and fish Wage an ecological War on the toroidal planet Wa-Tor, Scientific American, Vol. 251, No. 6 (December 1984).
- [4] Earth Overshoot Day, Global Footprint Network.
<https://overshoot.footprintnetwork.org/>.
- [5] M. Gardner. The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". Scientific American Magazine Vol. 223 No. 4 (October 1970).

Bibliografia ii

- [6] C. Bays. A Note on the Game of Life in Hexagonal and Pentagonal Tessellations, Complex Systems, 15 (2005).
- [7] S. Ingram, J. Lee, A. Arjunakani. Hexagonal Game of Life, <https://arunarjunakani.github.io/HexagonalGameOfLife/>.
- [8] D. Escanez-Exposito, J. Garcia-Diaz, D. del Castillo, P. Caballero-Gil, E. Sàenz-de-Cabezòn. QGoL: Quantum Game of Life, Quantum Information Processing, Vol. 25, No. 17, (January 2026).
- [9] J. Ventrella. Glider Dynamics on the Sphere: Exploring Cellular Automata on Geodesic Grids, Journal of Cellular Automata, Vol. 6 No. 1 (2011), <https://www.ventrella.com/SphereCA/>.
- [10] G. Hardin. The Tragedy of the Commons. Science, vol. 162, n. 3859 (October 1968).

Bibliografia iii

- [11] M. Kleshnina, M. Holden, R. Heneghan, K. Helmstedt. Embedding Sustainability in Undergraduate Mathematics with Actionable Case Studies. ArXiv preprint arXiv:2508.07594 (August 2025).
- [12] R. Shah. Sustainability in Mathematics Problems? You Must Be Joking!, Mathematics TODAY, February 2025.
- [13] UN Sustainable Development Goals,
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/>.
- [14] W. Wieser. The waTor simulator,
<https://www.triplespark.net/sim/wator/>.
- [15] E. P. Wigner. The unreasonable effectiveness of Mathematics in the Natural Science. Communications in Pure and Applied Mathematics, Vol. 13, No. 1 (February 1960).
- [16] E. P. Wigner, L'irragionevole efficacia della matematica nelle scienze naturali. Milano, Adelphi, 2017.