

Matematica e Sostenibilità

Quali strumenti offre la Matematica
per la salvaguardia del Pianeta?

Luca Amata

16 febbraio 2026



Matematica e Realtà

Linguaggio Matematico

Galileo Galilei (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.



Eugene Paul Wigner (1960)



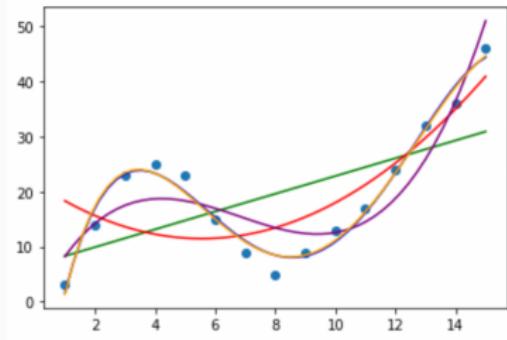
Il miracolo dell'appropriatezza del linguaggio della matematica per la formulazione delle leggi della fisica è un dono meraviglioso che noi non comprendiamo né meritiamo. Dovremmo esserne grati e sperare che si estenderà alle più ampie branche del sapere [14].

Creazione di Modelli

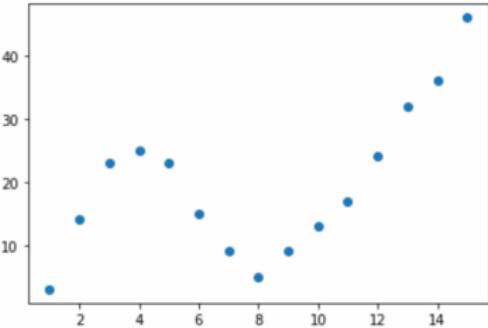
Raccolta Dati

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	28.39	26.1554	27.0006	26.9585	1050.296
9.4831	8.6722	6.6189	3.2327	23.7977	21.2007	22.5483	21.92508	1050.297
9.5649	8.346	6.6434	3.1243	22.7993	23.883	20.1627	21.88219	1050.293
9.4625	7.346	6.6429	3.0649	23.3395	26.6686	23.2255	21.84012	1050.291
9.4026	7.346	6.6429	3.0649	23.3395	23.883	21.2007	21.88219	1050.288
9.0616	8.1894	6.3614	2.5539	19.7127	18.8796	18.7835	19.35754	1050.022
9.2661	8.3701	6.3614	2.6192	20.7096	17.555	17.6792	21.46481	1050.993
9.212	8.3624	6.0166	2.1194	19.0029	15.2857	13.0217	21.33137	1050.948
8.9408	8.0594	5.4165	2.1402	19.6944	10.9005	7.5556	21.13468	1050.74
8.9149	8.0594	5.4165	2.1402	19.7193	10.9005	12.3486	21.13468	1050.67
9.2981	8.1501	6.4377	2.6194	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	20.98014	1050.53
10.1336	8.7153	5.9111	2.6042	11.7667	9.9125	6.2684	20.94113	1050.359
10.4484	8.4427	6.2352	2.6253	12.8235	4.4235	4.4235	20.94113	1050.238
10.37	9.1897	6.7133	2.8798	13.9964	9.8187	10.1396	21.01231	1050.193
9.7822	8.1897	5.3618	2.6081	11.6982	7.495	6.1831	20.96678	1050.112
9.9174	7.3540	5.1406	2.5058	9.5249	6.4909	6.1718	20.89911	1050.043
9.5077	8.1897	5.3618	2.6252	12.952	11.805	8.1126	20.94113	1050.046
9.5168	7.8117	5.0826	3.3871	9.8014	6.3386	4.9111	20.81993	1050.034
10.0137	6.6476	4.7033	2.5865	6.6553	3.0327	2.3109	20.80056	1050.031

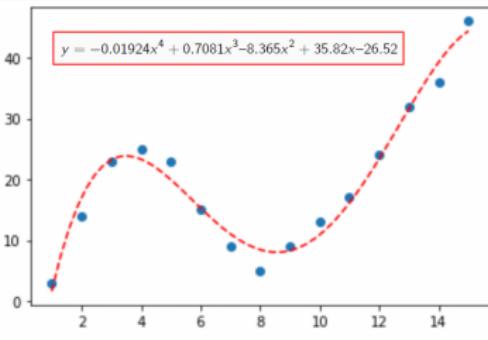
Fitting Dati



Analisi Dati



Modello



Esempi di Modelli matematici

Pipeline construction [11]

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 [10]

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 $\mu(w, t)$:

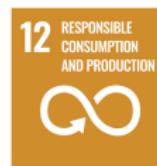
$$\frac{\partial N(w, t)}{\partial t} = -g(w, t)\frac{\partial N(w, t)}{\partial w} - \mu(w, t)N(w, t)$$

Sostenibilità

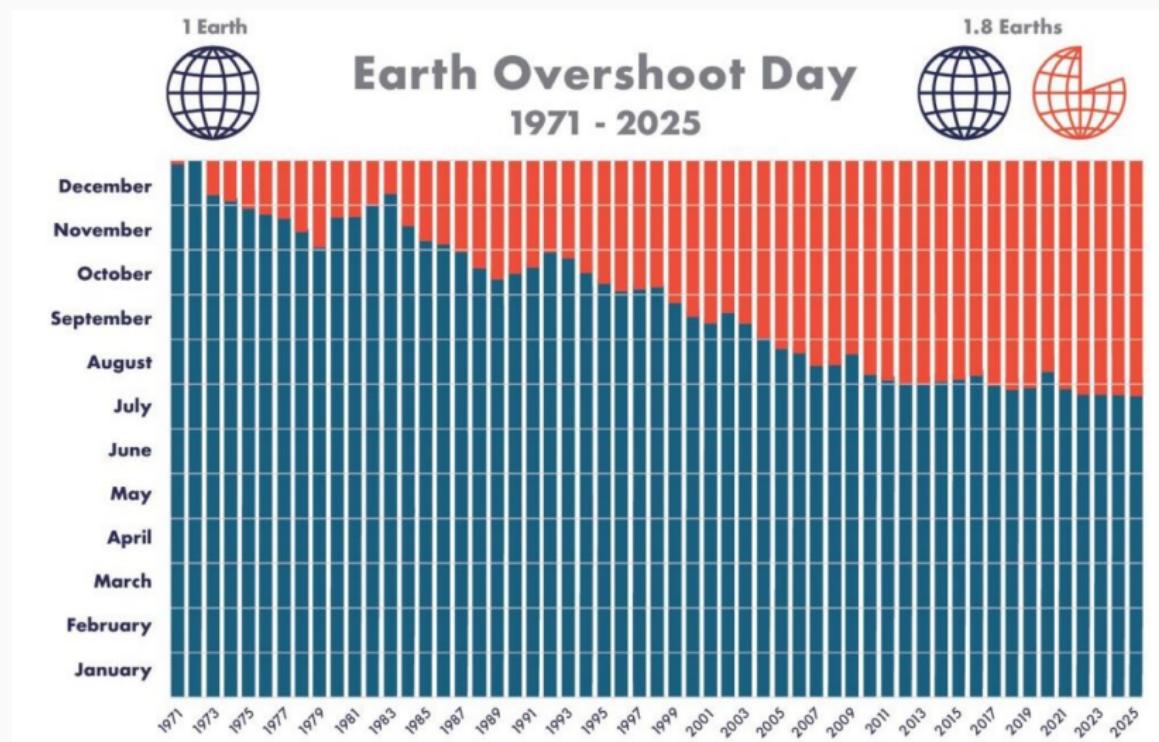
Quale Sostenibilità? [12]



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Earth Overshoot Day [3]



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

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 dei modelli ed utilizzarli per comprendere fenomeni complessi ed **ottimizzarne** i processi ottenendo il massimo risultato con il minimo impatto.

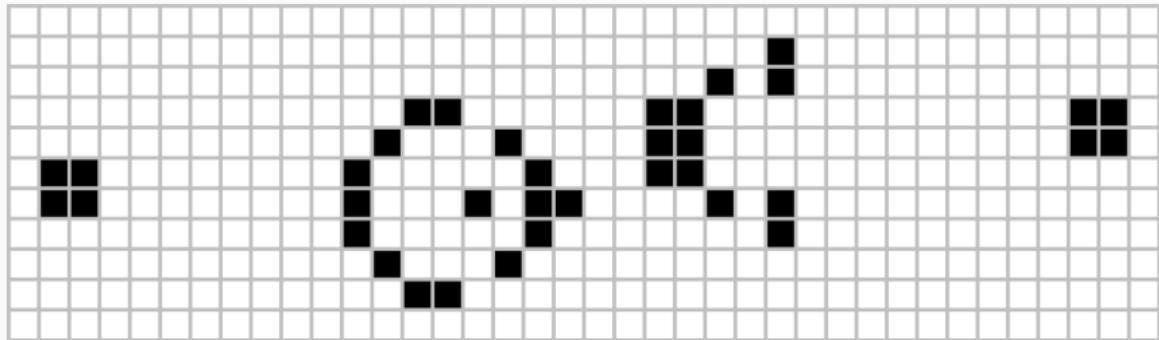
Le Politiche Ambientali

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 [4]



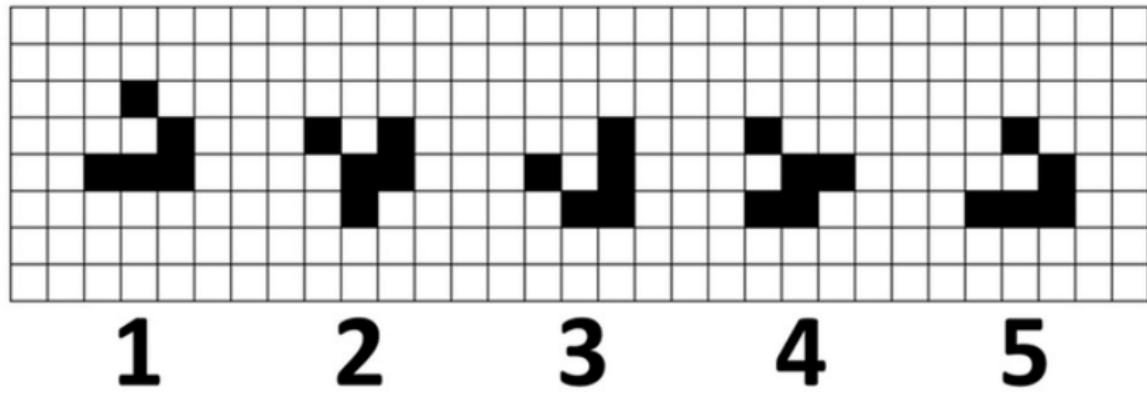
Regole del Modello

- 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).

Game of Life [2]

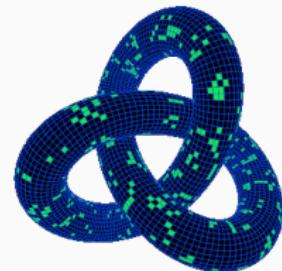
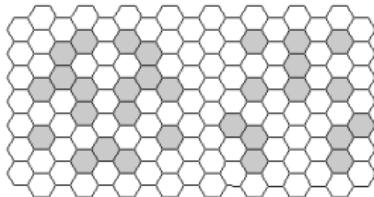
Simulazione del Glider Cannon Gun

Periodicità dell'Aliante

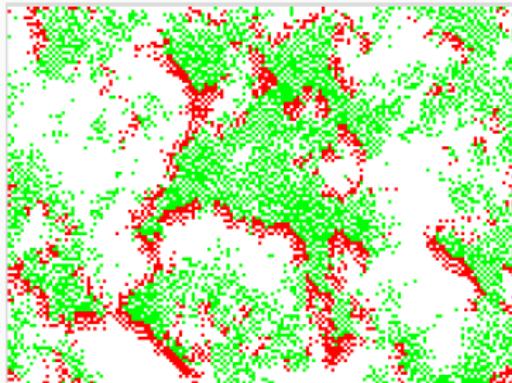
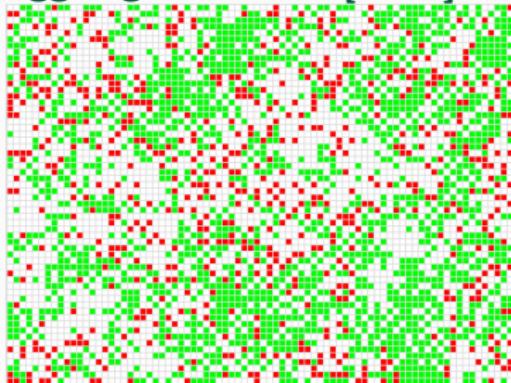


Varianti del Gioco [7]

Cambiamo la griglia [5, 6, 8]



Aggiungiamo colori [1, 13]



Conclusioni

La Tragedia dei Beni Comuni (G. Hardin [9])

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 Social-Ecological Systems. Springer Dordrecht (January 2011).
- [3] Earth Overshoot Day,
<https://overshoot.footprintnetwork.org/>.
- [4] M.Gardner. The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". Scientific American Magazine Vol. 223 No. 4 (October 1970).
- [5] C.Bays. A Note on the Game of Life in Hexagonal and Pentagonal Tessellations, Complex Systems, 15 (2005).
- [6] S.Ingram, J.Lee, A.Arjunakani. Hexagonal Game of Life,
<https://arunarjunakani.github.io/HexagonalGameOfLife/>.

Bibliografia ii

- [7] 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).
- [8] 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/>.
- [9] G. Hardin. The Tragedy of the Commons. Science, vol. 162, n. 3859 (October 1968).
- [10] M.Kleshnina, M.Holden, R.Heneghan, K.Helmstedt. Embedding Sustainability in Undergraduate Mathematics with Actionable Case Studies. ArXiv preprint arXiv:2508.07594 (August 2025).
- [11] R.Shah. Sustainability in Mathematics Problems? You Must Be Joking!, Mathematics TODAY, February 2025.

Bibliografia iii

- [12] UN Sustainable Development Goals,
[https://www.un.org/sustainabledevelopment/.](https://www.un.org/sustainabledevelopment/)
- [13] A.K.Dewdney. The waTor simulator,
[https://www.triplespark.net/sim/wator/.](https://www.triplespark.net/sim/wator/)
- [14] E. P. Wigner. The unreasonable effectiveness of Mathematics in the Natural Science. Communications in Pure and Applied Mathematics, Vol. 13, No. 1 (February 1960).
- [15] E. P. Wigner, L'irragionevole efficacia della matematica nelle scienze naturali. Milano, Adelphi, 2017.