

Matematica e Sostenibilità

Quali strumenti offre la Matematica
per la salvaguardia del Pianeta?

Luca Amata

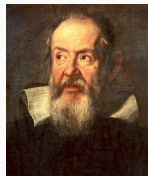
16 febbraio 2026



Matematica e Realtà

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)

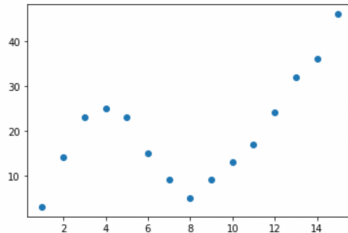


Il miracolo dell'appropriatezza del linguaggio della matematica per la formulazione delle leggi della fisica è un dono meraviglioso che noi non comprendiamo né meritiamo. Dovremmo esserne grati e sperare che si estenderà alle più ampie branche del sapere [15].

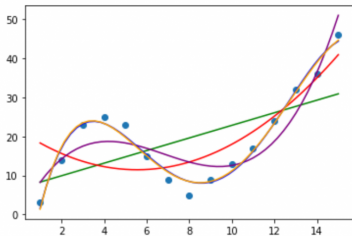
Raccolta Dati

File		Home	Insert	Page Layout	Formulas	References	Review	Tools	Developer
Font		Paragraph		Number	Conditional Formatting		Table	Cells	Clear
	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Longitude (Eq 77.55in L4)									
Anemometer 10m	Anemometer 3m	Anemometer 3m	Anemometer 3m	Windvane 10m	Windvane 3m	Windvane 3m	Windvane 3m	Windvane 3m	Pressure
6.0253	6.384	6.4759	6.1081	28.21	28.1054	27.0066	29.0045	29.0045	29.0045
9.146	8.8472	6.6189	6.5237	29.8757	29.8757	28.22	28.22	28.22	28.22
9.4811	8.6772	6.6424	6.1343	32.7993	31.863	30.1627	31.8623	31.8623	31.8623
9.5462	8.246	6.6424	6.0649	33.185	30.6069	30.2255	30.6069	30.6069	30.6069
9.5462	7.7255	6.4959	6.0649	30.2122	29.7127	27.9777	29.7127	29.7127	29.7127
9.0618	8.1634	6.4848	6.2538	39.7127	38.7676	36.7831	38.7676	38.7676	38.7676
9.2666	8.1634	6.3634	6.2532	30.7036	30.7135	31.7492	31.7493	31.7493	31.7493
9.2666	8.1634	6.1106	6.1106	30.0629	30.0629	31.7492	31.7493	31.7493	31.7493
9.5608	8.0008	6.4551	6.1402	35.6944	35.6908	37.5555	37.5555	37.5555	37.5555
9.2666	8.2884	6.2352	6.1793	37.983	38.0994	38.3474	38.3474	38.3474	38.3474
9.5071	8.1971	6.4377	6.2434	38.1613	38.1613	39.0629	39.0629	39.0629	39.0629
9.5173	8.4427	6.5489	6.2928	38.0478	38.0471	41.3547	41.3547	41.3547	41.3547
9.465	8.0008	6.4762	6.1793	41.6357	40.943	43.0092	43.0092	43.0092	43.0092
9.5173	8.1971	6.4377	6.2434	41.6357	40.943	43.0092	43.0092	43.0092	43.0092
10.4444	8.4427	6.7452	6.3708	41.7135	40.833	42.6187	42.6187	42.6187	42.6187
9.5173	8.1971	6.4377	6.2434	41.7135	40.833	42.6187	42.6187	42.6187	42.6187
9.5173	8.1971	6.4377	6.2434	41.7135	40.833	42.6187	42.6187	42.6187	42.6187
9.5173	8.1971	6.4377	6.2434	41.7135	40.833	42.6187	42.6187	42.6187	42.6187
10.0077	8.5046	6.4482	6.2502	41.0093	40.901	43.6461	43.6461	43.6461	43.6461
9.5173	8.1971	6.4377	6.2434	41.0093	40.901	43.6461	43.6461	43.6461	43.6461
10.0137	8.4427	6.4703	6.1865	40.8033	40.8037	43.6461	43.6461	43.6461	43.6461

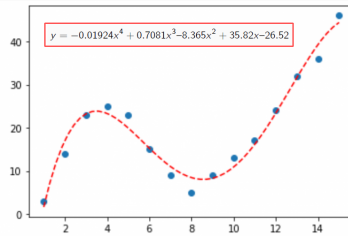
Analisi Dati



Fitting Data



Modello



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

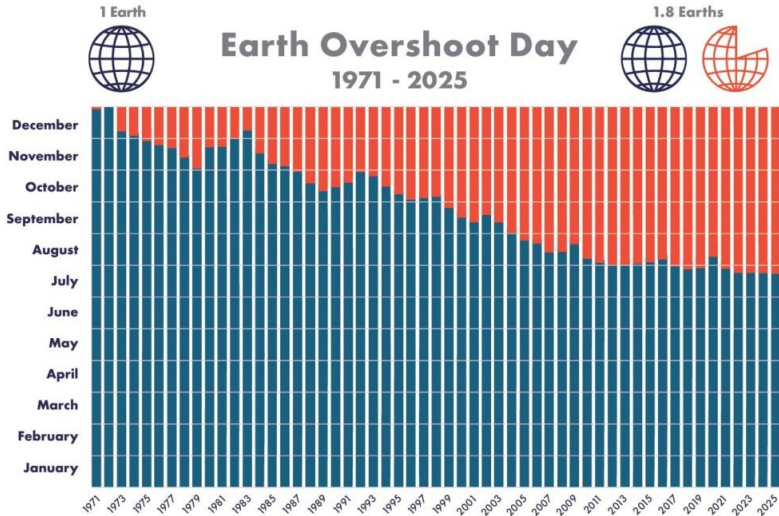
Quale Sostenibilità? [13]



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Earth Overshoot Day [4]



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

Sostenibilità

significa lasciare alle future generazioni almeno le nostre stesse opzioni.

La Matematica

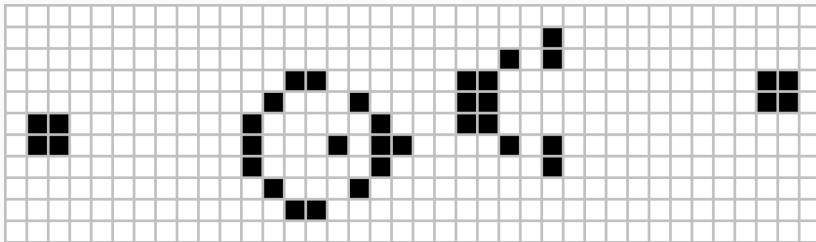
non si occupa soltanto di formule, ma di cercare **strategie di interazione**. Significa costruire modelli ed utilizzarli per comprendere fenomeni complessi ed **ottimizzarne** i processi ottenendo il massimo risultato con il minimo impatto.

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]



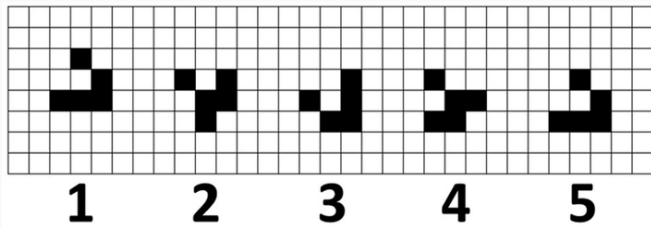
Regole del Modello

- 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 (sovrappopolazione);
- Cella morta con esattamente tre celle vive adiacenti vive (riproduzione).

Equilibrio dinamico [2]

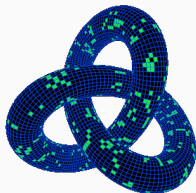
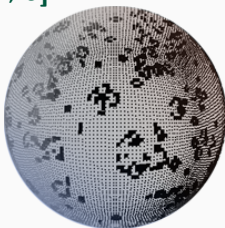
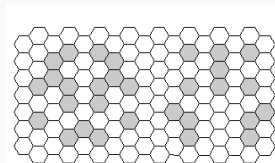
Simulazione del Glider Cannon Gun

Periodicità dell'Aliante

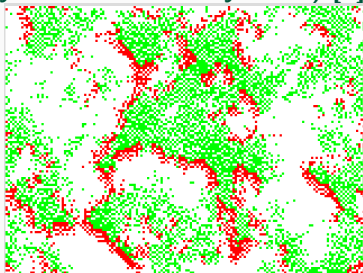
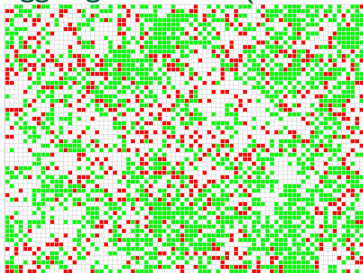


Varianti del Gioco [8]

Cambiamo la griglia [6, 7, 9]



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



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

La rovina è la destinazione verso cui tutti gli uomini corrono, ciascuno perseguendo 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

- [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).

- [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).

- [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://https://www.un.org/sustainabledevelopment/](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. I (February 1960).
- [16] E. P. Wigner, L'irragionevole efficacia della matematica nelle scienze naturali. Milano, Adelphi, 2017.