INTELLIGENZA ARTIFICIALE E DANNO AMBIENTALE: ESTERNALITÀ TECNOLOGICHE E LIMITI DEL QUADRO NORMATIVO EUROPEO*

di Daria Luisa Petrucci**

Sommario. 1. Introduzione: la proliferazione dei modelli di IA. – 2. L'impiego dell'IA nell'attuale contesto di crisi climatica. – 3. Le esternalità ambientali legate allo sviluppo dell'IA. – 4. Le implicazioni giuridiche dello sviluppo dell'intelligenza artificiale. – 5. La necessità di configurare un "danno ambientale da intelligenza artificiale" alla luce del rafforzamento del diritto all'ambiente salubre. – 6. Considerazioni conclusive e prospettive future.

1. Introduzione: la proliferazione dei modelli di IA. Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale si è imposta come una delle tecnologie più pervasive e strategicamente rilevanti della trasformazione digitale globale. L'evoluzione accelerata dei modelli di *machine learning* e delle architetture computazionali ha ampliato in modo esponenziale le capacità predittive, decisionali e generative delle macchine, incidendo trasversalmente in settori differenti dell'azione pubblica e privata, quali l'economia, la pubblica amministrazione, la sanità e la sicurezza.

L'intelligenza artificiale (d'ora in poi «IA») non rappresenta più una tecnologia settoriale, bensì un'infrastruttura generale dell'economia digitale contemporanea, destinata a incidere in modo strutturale sui processi produttivi, sui modelli di *governance* e sull'organizzazione complessiva della società.[1]

A fronte di tale espansione, il dibattito giuridico si è prevalentemente concentrato sui rischi dell'IA in relazione ai diritti fondamentali "classici", quali la *privacy*, la non discriminazione, la libertà di espressione e le garanzie procedurali. Molto meno esplorate, invece, risultano le conseguenze sistemiche che lo sviluppo e la diffusione dei sistemi di intelligenza artificiale producono sull'ambiente. Si tratta di effetti che, allo stato attuale, rimangono in larga parte sottovalutati o non contabilizzati, sia nel discorso pubblico sia nelle architetture normative esistenti, nonostante la loro crescente rilevanza sul piano materiale.[2] È in questo senso che si parla di *hidden ecological cost* dell'intelligenza artificiale: un costo ambientale strutturale, difficilmente misurabile e scarsamente internalizzato nei processi decisionali che guidano l'innovazione tecnologica[3].

---

* *Sottoposto a referaggio*.

** Dottoranda di ricerca in Diritto dell'Unione europea – Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

[1] O. Pollicino, F. Paolucci, M. Fasciglione, *AI e sostenibilità, verso una compliance integrata*, Torino, 2025, 1 ss.; A. Papa, *Intelligenza artificiale e decisione pubblica*, in A. Papa (a cura di) *La regolazione dell'intelligenza artificiale nei processi decisionali – opportunità, rischi, bilanciamento*, 2024, 29.

[2] C. Di Francesco Maesa, *Economia circolare e IA: a che condizioni è una sfida possibile per l'UE?*, in *Quaderni AISDUE*, Convegno *Forum AES* del 5 e 6 dicembre 2024, 10 ss.

[3] M. Merler, *I costi ambientali dell'intelligenza artificiale: il dibattito negli Stati Uniti*, in *BioLaw Journal - Rivista di BioDiritto*, 2025, 594 ss.; V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale: luci e ombre in una prospettiva comparante*, in *Opinio Juris in Comparatione*, 2025, 748; B. Marchetti, *I costi ambientali nascosti dell'intelligenza artificiale*, in *Diario di Diritto Pubblico*, 2024.

L'addestramento, il funzionamento e la manutenzione dei sistemi di IA presuppongono, infatti, un consumo intensivo di risorse naturali, energetiche e infrastrutturali: dall'elevato fabbisogno elettrico dei *data center* all'utilizzo massiccio di acqua per i sistemi di raffreddamento, fino all'estrazione di materie prime critiche e alla produzione accelerata di rifiuti elettronici.

Tali esternalità ambientali non si manifestano come eventi isolati, bensì come fenomeni cumulativi, diffusi e progressivi, capaci di incidere nel lungo periodo sull'equilibrio degli ecosistemi e sulla qualità della vita degli individui.

Queste dinamiche assumono una portata ancora più problematica se collocate nel contesto della crisi climatica globale, che impone agli ordinamenti giuridici di ripensare le modalità di produzione, consumo e regolazione delle attività ad alto impatto ambientale.

In tale quadro, diventa inevitabile domandarsi se l'intelligenza artificiale possa essere considerata un alleato della transizione ecologica o se, al contrario, rischi di aggravare il depauperamento delle risorse naturali e di generare forme di danno ambientale difficilmente reversibili.[4] La questione non si esaurisce in una valutazione tecnologica o economica, ma investe direttamente il piano giuridico, ponendo interrogativi inediti circa la qualificazione dell'IA come attività potenzialmente pericolosa per l'ambiente e per il diritto dell'individuo a vivere in un ambiente salubre.[5]

In questo senso, l'intelligenza artificiale può essere letta non solo come una tecnologia ad alto rischio per i diritti fondamentali, ma anche come attività suscettibile di produrre un danno ambientale autonomo, dotato di caratteristiche peculiari rispetto alle forme tradizionali di inquinamento o degrado ecologico. Le esternalità ambientali generate dall'IA si presentano infatti come danni indiretti, transnazionali, spesso non immediatamente imputabili a un singolo soggetto o a una specifica condotta, sfidando le categorie classiche della responsabilità. Le attuali architetture normative non appaiono pienamente attrezzate per intercettare tali fenomeni, lasciando emergere un vuoto di tutela che rischia di compromettere l'effettività della protezione ambientale nell'era digitale.

Alla luce di queste considerazioni, il presente contributo si propone di analizzare criticamente i rapporti tra intelligenza artificiale e tutela dell'ambiente, da un lato valorizzando la possibilità che i sistemi di IA possano essere impiegati come strumento nella tutela dell'ecosistema, dall'altro concentrandosi sulle esternalità ambientali generate dallo sviluppo e dall'impiego di tali sistemi.

L'obiettivo è verificare se e in che misura il diritto positivo, a livello europeo e internazionale, sia in grado di riconoscere, prevenire e disciplinare forme di danno ambientale riconducibili all'innovazione digitale, nonché di interrogarsi sulla necessità di ridefinire obblighi, responsabilità e strumenti di tutela alla luce dell'evoluzione del diritto internazionale ambientale e del rafforzamento del diritto umano a un ambiente salubre, specialmente a seguito del recente parere reso dalla Corte internazionale di giustizia.[6]

---

[4] B. Marchetti, *I costi ambientali dell'intelligenza artificiale*, in *BioLaw Journal*, 2025, 525; D. L. Petrucci, *La tutela del diritto dell'individuo a un ambiente salubre nell'era dell'IA: sfide e prospettive*, in *Ordine internazionale e diritti umani*, 2025, 1341; C. Finocchiaro, *Intelligenza e transizione ambientale, riflessioni e possibili scenari*, in *Consulta online*, 2025, 112.

[5] F. Morganti, *AI and the Constitutional Right to Health: Equality and Sustainability in the Italian System*, in *Diritto e clima*, 2025, 690 ss; C. Finocchiaro, *Intelligenza e transizione ambientale*, cit., 107; M. Tomasi, *Intelligenza artificiale, sostenibilità e responsabilità intergenerazionali: nuove sfide per il costituzionalismo?*, in *Rivista AIC*, 2024; B. Marchetti, *I costi ambientali dell'intelligenza artificiale*, cit., 525; E. Picozza, *La necessità della ricomposizione di saperi per affrontare la crisi ambientale*, in *Rivista quadrimestrale di diritto dell'ambiente*, 2024, 21 ss.; B. Marchetti, *I costi ambientali nascosti dell'intelligenza artificiale*, cit.

[6] Corte internazionale di giustizia, Parere consultivo del 23 luglio 2025, *Obblighi degli Stati in relazione al cambiamento climatico*.

In tale scenario, non è più sostenibile considerare la transizione digitale e la transizione ecologica come traiettorie autonome e distinte: al contrario, esse impongono oggi un approccio integrato, capace di orientare l'innovazione entro un quadro di sostenibilità effettiva. Ciò richiede una riflessione sistemica che, muovendo dall'evoluzione del diritto ambientale e dal rafforzamento del diritto dell'individuo a vivere in un ambiente salubre, sia in grado di tenere insieme innovazione tecnologica, protezione dell'ambiente e salvaguardia dei diritti fondamentali, evitando che la trasformazione digitale divenga un fattore di accelerazione del degrado ecologico anziché uno strumento per contrastarlo.

2. L'impiego dell'IA nell'attuale contesto di crisi climatica. Secondo una parte della comunità scientifica, l'IA potrebbe essere efficacemente impiegata in ambito ecologico, facendosi carico di alcune delle problematiche che partecipano a determinare l'attuale condizione emergenziale dell'ambiente.[7] In tale contesto si inserisce il paradigma della *twin transition*[8], espressione che indica l'integrazione sinergica tra la trasformazione digitale e la sostenibilità ambientale, nella prospettiva di un utilizzo delle tecnologie digitali funzionale alla riduzione dell'impatto antropico sugli ecosistemi. In quest'ottica, sono molteplici i settori che beneficerebbero, o che già beneficiano, dell'utilizzo delle tecnologie di IA: il settore energetico, quello dell'*antipollution*[9], il settore della conservazione della biodiversità, della sicurezza alimentare e, non ultimo, quello della gestione dei rifiuti, ambito nel quale l'IA potrebbe contribuire a implementare nuove strategie di economia circolare.

In primo luogo, i *software* di intelligenza artificiale possono essere efficacemente impiegati nel monitoraggio e nella prevenzione dei disastri ambientali[10]: infatti, facendo leva sulla capacità previsionale dell'IA e attraverso l'analisi delle immagini satellitari, è possibile rilevare tempestivamente anomalie e attuare interventi immediati.[11]

Inoltre, i sistemi di intelligenza artificiale possono trovare applicazione nell'ottimizzazione delle risorse energetiche, al fine di limitarne lo spreco e il progressivo depauperamento.[12]

---

[7] Sugli aspetti positivi della trasformazione digitale e ambientale si v. M. R. Wade, K. Trantopoulos, *Twin Transformation: How to Stop Treating AI and Sustainability as Separate Challenges*, 2025; W. D'avanzo, *Algoritmi, smart cities, metaversi. Etica ambientale ed etica digitale per lo sviluppo sostenibile*, in *Diritto e giurisprudenza agraria, alimentare e dell'ambiente - DGA* (on-line), n. 2, 2024, 1 ss.; ID., *Le applicazioni dell'intelligenza artificiale* cit., 1 ss.; F. Camisa, *Ambiente e tecnologia: l'interconnessione tra le 'transizioni gemelle'*, in *Federalismi.it*, 2024, 56 ss.

[8] Nel 2020-2021 la Presidente della Commissione europea Ursula von de Leyen ha individuato nelle "transizioni gemelle" il futuro dell'Unione europea. Sul punto, si v. N. Rangone, *Intelligenza artificiale, tutela dell'ambiente e regolazione europea*, in *BioLaw Journal – Rivisita di BioDiritto*, 2025, 529 ss.; V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 723 ss.; A. Perez Victorio, E. Celeste, A. Quintavalla, *Greening AI? The new principle of sustainable digital products and services in the EU*, in *Common Market Law Review*, 2024, 1024 ss.

[9] I dati raccolti da sensori IoT, satelliti, droni, boe e sistemi di *edge computing* vengono già oggi impiegati per tracciare in tempo reale i movimenti dei rifiuti plastici in mare e indirizzare in modo ottimizzato le operazioni di recupero verso le aree di maggiore accumulo. Sul punto si veda V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 736; O. Lobel, *The Law of IA for Good*, in *Florida Law Review*, 1094.

[10] V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 736. Sul punto si veda anche K. Otsu, J. Maso, *Digital Twins for Research and Innovation in Support of the European Green Deal Data Space: A Systematic Review*, in *Remote Sensing*, 2024, 4 ss. Questo studio descrive strumenti digitali avanzati per il monitoraggio dei disastri ambientali tramite satelliti. In particolare, presenta *Destination Earth*, un'iniziativa della Commissione europea volta a sviluppare un gemello digitale della Terra ad alta precisione, capace di monitorare e prevedere l'evoluzione dei fenomeni naturali e delle attività umane sul pianeta.

[11] Si pensi al fenomeno, piuttosto frequente, dell'*oil spilling*, rispetto al quale un tempestivo intervento per frenare le fuoriuscite di petrolio è fondamentale.

[12] W. D'avanzo, *Environmental risk management e intelligenza artificiale simbiotica. Prospettive di sviluppo e criticità*, in *Diritto e giurisprudenza agraria, alimentare e dell'ambiente - DGA (on-line)*, n. 2, 2025, 1 ss.; M. C. Gaeta, *Intelligenza artificiale sostenibile e tutela dei green Right*s, in *European Journal of Privacy Law & Technologies – EJPLT (on-line)*, 2024, 148.

Attraverso l'uso delle cosiddette *Smart grids* o reti intelligenti, ossia sistemi di distribuzione dell'energia elettrica che impiegano *software* di intelligenza artificiale per ottimizzare la produzione, la distribuzione e il consumo di energia elettrica, è possibile conseguire una sostanziale riduzione degli sprechi.[13] Ancora, il monitoraggio dei livelli di inquinamento e delle emissioni di gas[14] consente di tenere sotto controllo l'impatto dell'attività umana sugli ecosistemi, nonché di sviluppare analisi di *risk management*[15] in grado di anticipare la previsione del danno ambientale e, dunque, di contribuire alla riduzione dell'impatto ecologico attraverso l'elaborazione di strategie di ottimizzazione delle risorse.
Anche la gestione dei rifiuti e la raccolta differenziata potrebbero certamente beneficiare dell'utilizzo delle tecnologie di AI; in particolare, il riciclo e la riprogettazione dei rifiuti in nuovi prodotti sostenibili contribuirebbero a promuovere il buon funzionamento dell'economia circolare.[16]
Potrebbero inoltre beneficiare dell'impiego delle tecnologie di IA i settori inerenti alla conservazione della biodiversità.[17] Attualmente esistono già progetti in Italia che utilizzano dispositivi acustici basati sull'IA per monitorare oasi protette dal WWF e specie a rischio, rilevando in tempo reale eventuali attività illegali, come nel caso del progetto *Nature Guardian*, frutto della collaborazione tra WWF Italia, Huawei e Rainforest Connection.[18]
Infine, rilevante per la tutela degli ecosistemi è il settore della sicurezza alimentare. Alcuni recenti studi condotti da ENEA – l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – e dall'Università degli Studi di Bari[19] hanno impiegato tecniche di *machine learning* per analizzare il microbioma del suolo, identificando indicatori di salute del terreno e contribuendo alla sicurezza alimentare.[20]

3. Le esternalità ambientali legate allo sviluppo dell'IA. D'altra parte, non mancano preoccupazioni circa i potenziali rischi che lo sviluppo delle tecnologie che impiegano sistemi di IA potrebbe comportare per l'ambiente.
In particolare, la fabbricazione di componenti necessari per il funzionamento dei modelli di IA implica l'estrazione massiccia di materie prime.[21] Allo stesso tempo, anche l'addestramento dei modelli di IA, ossia la fase del *training*, contribuisce al progressivo

[13] V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 734. Sul punto si v. anche T. Lynn, P. Rosati, D. Kreps, K. Conboy, *Digital Sustainability – Leveraging Digital Tech to Combat Climate Change, Palgrave Studies*, in *Digital Business and Enabling Technologies*, 2024.
[14] V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 737; A. Perez Victorio, E. Celeste, A. Quintavalla, *Greening AI?*, cit., 1019 ss.; M. Singh, S. Singh, *Role of Artificial Intelligence for Environment Protection: An Analysis*, in *Law Journal of GNDU*, 2023, 172.
[15] W. D'avanzo, *Environmental risk management e intelligenza artificiale simbiotica*, cit., 1 ss.; M. C. Gaeta, *Intelligenza artificiale sostenibile*, cit., 148.
[16] Sul punto A. Pachot, A. Patissier, *Towards Sustainable Artificial Intelligence: An Overview of Environmental Protection Uses and Issues*, in *Green and Low-Carbon Economy*, 2022.
[17] *Ibidem.*
[18] Maggiori informazioni sul progetto *Nature Guardian* sono reperibili sul sito ufficiale del WWF o sul sito di Rainforest Connection.
[19] G. Carrera, R. Barbato, M. Liberati, M. Romano, *Machine Learning for Soil Microbiome Analysis to Assess Climate Change Effects, in Machine Learning and Knowledge Extraction*, 2024, 736 ss.
[20] T. Lynn et al., *Digital Sustainability*, cit.
[21] La fabbricazione di componenti necessari per il funzionamento di sistemi di IA, come le GPU, implica l'estrazione di materie prime e la generazione esponenziale di rifiuti elettronici. Le GPU (*Graphics Processing Unit*) sono unità di elaborazione grafica, ovvero processori specializzati per elaborare immagini (come quelle dei *videogames* o delle animazioni 3D), che oggi vengono ampiamente utilizzate anche al di fuori dell'ambito grafico, fungendo da "motore" computazionale che rende possibile l'addestramento e il funzionamento dell'IA moderna.

depauperamento delle risorse, specialmente energetiche. L'elaborazione delle enormi quantità di dati necessarie allo sviluppo di algoritmi complessi di funzionamento automatizzato costituisce, infatti, un processo altamente energivoro, che richiede un consumo significativo di risorse. I *data centres*[22], spesso alimentati da fonti non rinnovabili[23], non solo comportano un ingente dispendio di elettricità[24] per l'alimentazione dei *server*, ma anche un elevato impiego di risorse idriche[25] per il raffreddamento delle apparecchiature di rete.

Oltre al problema rappresentato dal consumo di risorse, vi è poi da considerare anche la contropartita costituita dal *digital pollution*, ossia dalle emissioni di gas nocivi[26] derivanti dai processi computazionali.[27]

A queste criticità si affianca una serie di esternalità collaterali che producono parimenti un impatto particolarmente grave sull'ambiente. Tra queste, assume rilievo la questione della sovrapproduzione di rifiuti elettronici. La rapida evoluzione dei dispositivi impiegati nello sviluppo delle tecnologie di IA comporta, infatti, una altrettanto rapida obsolescenza degli *hardware*, caratterizzati da cicli di vita sempre più brevi.[28] Ciò determina una crescente quantità

[22] I *data centers* sono enormi complessi industriali nei quali vengono sviluppate e *trainate* le tecnologie che impiegano IA. Sul consumo energetico dei *data center* si veda il *report* dell'International Energy Agency (IEA), *Electricity 2024: Analysis and Forecast to 2026*, del 2024. Stando a quanto riportato dal *report*, nel 2023 i *data center* hanno consumato circa 460 TWh a livello globale. Questo valore è destinato ad aumentare fino a 620 -1050 TWh nel 2026, a seconda degli scenari considerati. Una porzione significativa di questa crescita è attribuita, in particolare, all'addestramento e all'uso di modelli di IA generativa, come i Large Language Models (LLMs).

[23] A. Perez Victorio, E. Celeste, A. Quintavalla, *Greening AI?*, cit., 1024; A. Zhuk, *Artificial Intelligence Impact on the Environment: Hidden Ecological Costs and Ethical-Legal Issues*, in *Journal of Digital Technologies and Law*, 2023, 938; P. De Pasquale, *Sostenibilità e trasformazione digitale: paradigmi a confronto nella disciplina dell'Unione europea*, in *DUE*, 2022, 77 ss. Anche Serban et al., nel suo studio *Artificial intelligence for smart renewable energy sector in Europe - smart energy infrastructures for next generation smart cities*, 2020, sottolinea l'importanza di passare a fonti di energia rinnovabili.

[24] Si stima che il consumo di energia durante l'addestramento possa variare da alcune centinaia di chilowattora (kWh) a diverse migliaia di kWh, a seconda delle dimensioni e della complessità del modello, del *set* di dati e dell'infrastruttura *hardware* utilizzata. Secondo alcuni, i calcoli computazionali alla base di queste tecnologie potrebbero richiedere entro il 2026, in termini energetici, un consumo totale di elettricità a livello globale superiore ai 1.000 TWh, equivalendo approssimativamente al consumo elettrico del Giappone. Sul punto si v. V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 727 e 731; A. Zhuk, *Artificial Intelligence Impact on the Environment*, cit., 936.; B. Marchetti, *I costi ambientali dell'intelligenza artificiale*, cit., 525; P. De Pasquale, *Sostenibilità e trasformazione digitale*, cit., 77 ss.; R. Schwartz, J. Dodge, N. A. Smith, O. Etzioni, *Green AI*, in *arXiv,* 2020.

[25] V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 729 e 730; A. ZHUK, *Artificial Intelligence Impact on the Environment*, cit., specialmente 938; F. Morganti, *AI and the Constitutional Right to Health*, cit., 691; B. Marchetti, *I costi ambientali dell'intelligenza artificiale*, cit., 526; A. Perez Victorio, E. Celeste, A. Quintavalla, *Greening AI?*, cit., 1024; M. Tomasi, *Intelligenza artificiale*, cit., 50. Si stima che un utilizzo continuo dei *server* possa richiedere oltre 400 milioni di litri d'acqua all'anno. Sul consumo idrico dei *data center* si veda anche P. LI et al., *Making AI Less 'Thirsty': Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models*, in *arXiv*, 2023.

[26] Basti pensare che l'addestramento di un singolo modello linguistico di IA può arrivare ad emettere tanta anidride carbonica quanta ne viene emessa nel corso della vita di cinque automobili e che, più in generale, lo sviluppo di un singolo modello di IA può comportare l'emissione di circa 300 tonnellate di CO2.

[27] V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 729; A. Zhuk, *Artificial Intelligence Impact on the Environment*, cit., 936.; M. TOMASI, *Intelligenza artificiale*, cit., 50; P. De Pasquale, *Sostenibilità e trasformazione digitale*, cit., 77 ss.; R. Schwartz, J. Dodge, N. A. Smith, O. Etzioni, *Green AI*, cit.; E. Strubell, A. Ganesh, A. Mccallum, *Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP*, in *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 2019, 3645–3650.

[28] P. De Pasquale, *Sostenibilità e trasformazione digitale*, cit., 77.

di *e-waste*[29], spesso non adeguatamente riciclato, con conseguenze potenzialmente catastrofiche per l'ambiente.[30]
In tale contesto, le prospettive future appaiono particolarmente preoccupanti. Nonostante il moltiplicarsi degli studi in materia e la progressiva presa di consapevolezza dei rischi ambientali associati all'impiego delle tecnologie di IA[31], quello appena descritto è un *trend* crescente[32] che rischia di generare, nel medio-lungo periodo, un danno ambientale non riassorbibile, tale da compromettere in maniera sostanziale e irreversibile la qualità della vita degli individui.
Le applicazioni dei sistemi di IA continuano infatti ad aumentare e a divenire sempre più complesse, comportando un aumento del numero e delle dimensioni dei *data center* e un incremento della potenza computazione e di calcolo richiesta, con spaventose ripercussioni sul piano energetico. Inoltre, in risposta all'impennata della domanda, le *big tech* stanno intensificando la produzione di tecnologie e infrastrutture, con un conseguente incremento del consumo energetico e delle ulteriori esternalità ambientali sopra descritte.
A ciò si aggiungono i rischi connessi a un impiego inappropriato o non adeguatamente regolamentato delle tecnologie di IA. Un utilizzo indiscriminato delle stesse potrebbe, infatti, vanificare i benefici connessi al monitoraggio ambientale e agli sforzi di conservazione delle risorse naturali e della biodiversità, alterando il funzionamento degli ecosistemi.[33]
Accanto alle esternalità ambientali direttamente riconducibili allo sviluppo e all'impiego dei sistemi di intelligenza artificiale, emerge un ulteriore profilo di criticità, di natura preliminare ma non per questo marginale, rappresentato dalla difficoltà di misurare in termini quantitativi l'impatto ecologico complessivo dell'IA.[34]
A differenza di altre attività industriali tradizionali, infatti, l'impronta ambientale dei sistemi di intelligenza artificiale non si manifesta attraverso eventi immediatamente osservabili, ma si configura come un fenomeno diffuso, cumulativo e mediato da infrastrutture digitali complesse, la cui incidenza risulta difficile da isolare e ricondurre a parametri univoci. Sotto il profilo scientifico, non esistono ancora metriche consolidate e condivise in grado di quantificare in modo uniforme l'impatto energetico e ambientale dei sistemi di IA lungo l'intero ciclo di vita tecnologico. Le stime disponibili, relative, ad esempio, al consumo energetico dei processi di *training*, di *retraining* e di utilizzo dei modelli, risultano spesso frammentarie, basate su metodologie eterogenee e fortemente dipendenti da variabili tecniche non standardizzate, quali la tipologia di *hardware* impiegato, l'efficienza dei *data center*, la fonte energetica utilizzata e la durata dei processi computazionali. Ne deriva una rappresentazione parziale e non omogenea dell'impatto ecologico dell'intelligenza artificiale,

[29] V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 727; B. Marchetti, *I costi ambientali dell'intelligenza artificiale*, cit., 526; M. Tomasi, *Intelligenza artificiale*, cit., 50; P. Wang et al., *E-waste Challenges of Generative Artificial Intelligence*, in *Journal of Digital Technologies and Law*, 2024, 1 ss.; P. De Pasquale, *Sostenibilità e trasformazione digitale*, cit., 75.
[30] Il rapporto *Global E-waste Monitor 2024* indica che nel 2022 la produzione mondiale di rifiuti elettronici ha raggiunto un livello record di 62 milioni di tonnellate, con solo il 22,3 % di questi rifiuti documentati come raccolti e riciclati in modo ufficiale. Sul punto cfr. C.P. Baldé, R. Kuehr, et. al., *The Global E-waste Monitor 2024*, International Telecommunication Union (ITU) & United Nations Institute for Training and Research (Unitar).
[31] M. Merler, *I costi ambientali dell'intelligenza artificiale*, cit., 597 ss.
[32] P. De Pasquale, *Sostenibilità e trasformazione digitale*, cit., 77 ss.
[33] Basti pensare che, secondo gli esperti, i droni per il monitoraggio ambientale e i veicoli autonomi utilizzati per l'esplorazione delle risorse potrebbero potenzialmente disturbare gli *habitat* della fauna selvatica, interferendo con i modelli di migrazione e aggravando gli squilibri dell'ecosistema.
[34] V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 728; N. Rangone, *Intelligenza artificiale*, cit. 533 e 539.

che rende complesso valutare, nel breve periodo, l'effettiva portata delle esternalità prodotte.[35]
A tale difficoltà di misurazione si affianca un ulteriore problema, strettamente connesso, relativo alla trasparenza[36] delle informazioni ambientali fornite dalle imprese operanti nel settore dell'intelligenza artificiale. In assenza di obblighi chiari e uniformi di rendicontazione, molte aziende non divulgano in modo completo e verificabile i dati relativi ai consumi energetici, alle emissioni e all'utilizzo delle risorse connessi allo sviluppo e all'impiego dei sistemi di IA, contribuendo così ad ampliare l'opacità complessiva del fenomeno.
Questa carenza informativa incide direttamente anche sul problema dell'attribuzione causale e soggettiva dell'impatto ambientale. L'ecosistema dell'intelligenza artificiale si fonda infatti su una filiera tecnologica articolata, che coinvolge una pluralità di attori privati – sviluppatori di modelli, fornitori di infrastrutture *cloud*, gestori di *data center*, produttori di *hardware* – nonché soggetti pubblici, in particolare gli Stati nel cui territorio tali infrastrutture sono localizzate o dai quali proviene l'energia utilizzata. In tale contesto, isolare il contributo ambientale imputabile a ciascun attore risulta estremamente complesso, soprattutto laddove benefici economici e costi ambientali risultano distribuiti in modo asimmetrico.
Il problema dell'attribuzione assume una dimensione ancora più critica se si considera la frammentazione territoriale e la delocalizzazione che caratterizzano il funzionamento dei sistemi di intelligenza artificiale.[37] I processi di addestramento dei modelli possono svolgersi in un determinato Paese, i *data center* possono essere localizzati in altri ordinamenti giuridici, mentre l'energia impiegata può provenire da reti transnazionali e da *mix* energetici differenti. A ciò si aggiunge il fatto che l'uso dei sistemi di IA è spesso globale, svincolato da un contesto territoriale specifico, con la conseguenza che l'impatto ambientale prodotto tende a essere esternalizzato ben oltre i confini entro cui il sistema viene progettato o utilizzato.[38]
Tali elementi concorrono a delineare un quadro nel quale l'impatto ecologico dell'intelligenza artificiale, pur essendo scientificamente riconosciuto come significativo, rimane difficilmente quantificabile e imputabile, alimentando una zona grigia che incide sulla percezione stessa delle esternalità ambientali associate allo sviluppo dell'IA. Questa opacità conoscitiva costituisce un fattore rilevante nella valutazione complessiva dei rischi ambientali connessi all'espansione delle tecnologie di intelligenza artificiale e rappresenta una premessa indispensabile per comprendere le successive difficoltà di qualificazione e di gestione giuridica di tali impatti.

4. Le implicazioni giuridiche dello sviluppo dell'intelligenza artificiale. Venendo ora agli aspetti di carattere più strettamente giuridico, le conseguenze prodotte dallo sviluppo e dalla diffusione dei sistemi di intelligenza artificiale risultano ancora in larga parte inosservate o, quantomeno, non adeguatamente considerate dal diritto positivo.[39]
A fronte di un fenomeno tecnologico di portata sistemica, caratterizzato da una crescita esponenziale e da impatti sempre più pervasivi su molteplici settori dell'attività umana, gli

[35] Un ulteriore profilo critico connesso alla difficoltà tecnica di misurazione riguarda la "partizione" dell'impatto ecologico dell'IA: risulta, cioè, complesso, quantificare e attribuire "porzioni di danno" a specifiche imprese o società. Sul punto cfr. P. G. Monateri, *Il walzer degli algoritmi e la responsabilità civile nell'era digitale*, in *Danno e resp.*, 2024, 269.
[36] V. Trifiletti, *La sostenibilità ambientale dell'intelligenza artificiale*, cit., 729; N. Rangone, *Intelligenza artificiale*, cit. 539.
[37] C. Di Francesco Maesa, *Economia circolare e IA*, cit., 7; F. Morganti, *AI and the Constitutional Right to Health*, cit., 691; M. Tomasi, *Intelligenza artificiale*, cit., 62.
[38] *Ibidem.*
[39] C. Di Francesco Maesa, *Economia circolare e IA*, cit., 14 ss.; P. G. Monateri, *Il walzer degli algoritmi*, cit., 269.

Issn 2421-0528

strumenti giuridici disponibili appaiono inadeguati a intercettarne gli effetti, in particolare quelli di natura ambientale.

Si assiste, dunque, a un evidente scollamento tra l'intensità del fenomeno tecnologico e la capacità del diritto di governarne le ricadute. L'intelligenza artificiale, pur producendo esternalità ambientali significative e strutturali, continua a essere inquadrata attraverso categorie giuridiche pensate per attività economiche e produttive tradizionali, che mal si adattano a un fenomeno caratterizzato da opacità, automatizzazione e frammentazione delle responsabilità.[40] Tale scollamento emerge con particolare evidenza nell'analisi delle forme di responsabilità giuridica connesse ai danni genericamente riconducibili allo sviluppo dell'IA.

Nel tentativo di qualificare giuridicamente gli effetti dannosi derivanti dall'impiego di sistemi di intelligenza artificiale, ad oggi, l'analisi si muove esclusivamente all'interno delle strutture del diritto civile, tradizionalmente deputate alla disciplina della responsabilità per danno. È evidente, tuttavia, che i tradizionali modelli di responsabilità civile incontrano limiti significativi nel disciplinare questa nuova tecnologia. Al di fuori dell'ipotesi di responsabilità contrattuale, fondata sull'inadempimento di obblighi derivanti da un rapporto negoziale – che potrebbe operare solo in presenza di un vincolo diretto tra il soggetto danneggiato e il produttore o fornitore del sistema di IA – il riferimento principale resta la responsabilità extracontrattuale, costruita attorno al principio del danno ingiusto di cui all'art. 2043 c.c. Tuttavia, anche l'applicazione di tale schema si rivela da subito problematica. Il modello classico della responsabilità aquiliana presuppone la possibilità di individuare un soggetto cui imputare il fatto dannoso, secondo un nesso causale e soggettivo sufficientemente determinato. Nel caso dell'intelligenza artificiale, tale presupposto viene meno.[41]

Alla difficoltà di collocare i danni da intelligenza artificiale all'interno delle categorie tradizionali della responsabilità civile si affianca un ulteriore problema, di natura sistemica, rappresentato dalla frammentazione delle fonti normative.[42] La domanda preliminare che il

[40] G. Fontana, N.P. Barbuzzi, *Profili giuridici degli agenti elettronici: smart contract, soggettività algoritmica e logiche computazionali*, in *Rivista italiana di informatica e diritto*, 2025, 10. Sul punto cfr. anche A. Del Ninno, *Intelligenza artificiale e responsabilità civile: profili problematici e prospettive di regolazione*, in *Diritto e Giustizia*, 2021; Beckers, G. Teubner, *Responsibility for Algorithmic Misconduct: Unity or Fragmentation of Liability Regimes?*, in *Yale Journal of Law & Technology*, 2023. L'articolo analizza i *responsibility gaps* generati dall'impiego di sistemi algoritmici dotati di autonomia decisionale e affronta il problema dell'imputazione giuridica dei danni che ne derivano. A fronte di tali vuoti di responsabilità, gli autori propongono una pluralità di regimi di imputazione differenziati in funzione del contesto socio-digitale in cui l'intelligenza artificiale opera, richiamando espressamente modelli di responsabilità collettiva e meccanismi di compensazione settoriale analoghi a quelli sviluppati in ambito ambientale.

[41] Il danno non è prodotto direttamente dall'azione di un soggetto umano, bensì dal funzionamento di un sistema informatico dotato di un certo grado di autonomia decisionale, che opera sulla base di algoritmi complessi e opachi. Il problema centrale diventa, dunque, quello dell'imputazione del danno, intesa come identificazione del soggetto responsabile. A chi deve essere attribuito il danno causato da un sistema di IA? Al produttore del *software* che ha concepito l'algoritmo? Al programmatore che ne ha scritto il codice? Al distributore del sistema? All'operatore economico che lo utilizza? Oppure, in qualche misura, al soggetto che ne ha tratto beneficio economico? L'elemento soggettivo tradizionale, fondato su dolo o colpa, risulta difficilmente applicabile, poiché l'azione materiale che produce il danno non è riconducibile a una condotta umana immediatamente identificabile. L'inapplicabilità della responsabilità contrattuale e le difficoltà strutturali della responsabilità extracontrattuale hanno indotto parte della dottrina a prospettare il ricorso a forme di responsabilità oggettiva, in particolare quella da prodotto difettoso. Sul punto cfr. V. F. Mercurio, *La responsabilità extracontrattuale per i danni cagionati da un sistema di Intelligenza Artificiale*, in *Rivista di diritto privato*, 2025, 275 ss; P. G. Monateri, *Il walzer degli algoritmi*, cit., 269.

[42] V. Mercurio, *La responsabilità extracontrattuale per i danni cagionati da un sistema di Intelligenza Artificiale*, cit., 312; G. Contaldi, *L'approccio regolatorio dell'Unione europea in materia di intelligenza artificiale*, in *Quaderni AISDUE*, 2025, 16; L. Ruggeri, *Ambiente e tecnologie: nuove sfide per la tutela della persona*, in *AmbienteDiritto.it*, 2023, 10 ss.; P. G. Monateri, *Il walzer degli algoritmi*, cit.

giurista è chiamato a porsi è, infatti, la seguente: di quali strumenti giuridici disponiamo per regolare l'attività dell'intelligenza artificiale?[43] E, soprattutto, da tali strumenti è possibile dedurre una disciplina specificamente orientata alla tutela ambientale?

Per rispondere a questi interrogativi è necessario spostare lo sguardo sul piano sovranazionale.[44] Da un lato, perché la regolamentazione dell'intelligenza artificiale si colloca prevalentemente a questo livello, fatta eccezione per alcune discipline interne, spesso premature e incomplete; dall'altro, perché la dimensione ambientale, per sua intrinseca natura, richiede una regolazione sovranazionale, essendo trasversale e non relegabile all'interno dei confini statali.

In assenza di una disciplina specifica che prenda in considerazione l'impatto ecologico dell'IA, l'analisi non può che concentrarsi sugli strumenti che, più in generale, regolano lo sviluppo e l'impiego dei sistemi di intelligenza artificiale.

Tra questi, il più rilevante è rappresentato dal reg. UE 2024/1689 (*AI Act*)[45], che costituisce il primo tentativo organico di regolamentazione dell'IA a livello europeo. Tuttavia, nonostante il suo carattere pioneristico, l'*AI Act* non affronta in modo sostanziale il tema delle ripercussioni ambientali dell'intelligenza artificiale. D'altronde, il regolamento è stato concepito principalmente come strumento di regolazione del mercato e si occupa prevalentemente di disciplinare la circolazione dei sistemi di IA all'interno del mercato unico, attraverso un approccio basato sul rischio. I richiami alla tutela ambientale risultano marginali e restano circoscritti ai considerando e a un generico obbligo di trasparenza sul consumo energetico contenuto nell'Allegato XI, applicabile peraltro ai soli modelli di IA per finalità generali.

In particolare, al considerando 27 si afferma la necessità che i sistemi di IA siano sviluppati e utilizzati «in modo sostenibile e rispettoso dell'ambiente […]». Il considerando 48 include espressamente il «diritto fondamentale a un livello elevato di protezione dell'ambiente» tra gli interessi da considerare nella valutazione della gravità di un ipotetico danno causato da un sistema di IA. Il considerando 142 invita gli Stati a «sostenere e promuovere la ricerca e lo sviluppo di soluzioni di IA a sostegno di risultati vantaggiosi dal punto di vista sociale e ambientale […] e a conseguire obiettivi in materia di ambiente»; e ancora, il considerando 155 precisa che i fornitori di sistemi di IA ad alto rischio «dovrebbero […] essere tenuti […] a predisporre un sistema per segnalare alle autorità competenti eventuali incidenti gravi», tra cui sono compresi i «gravi danni alle cose o all'ambiente».

Come anticipato, all'interno dell'Allegato XI[46] è poi contenuto un obbligo di trasparenza in materia ambientale, con riguardo specificamente ai modelli di IA per finalità generali. In base a tale disposizione, i fornitori di tali modelli sono tenuti a comunicare, nelle informazioni tecniche, il consumo energetico, noto o stimato, associato alla fase di addestramento del

---

[43] B. Marchetti, *Intelligenza artificiale, poteri pubblici e rule of law*, in *Diario di Diritto Pubblico*, 2023.

[44] È evidente, infatti, l'inapplicabilità, all'ipotesi qui considerata, del modello di danno ambientale elaborato dal diritto nazionale in ambito amministrativo, in particolare dal d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152. Come noto, il c.d. Codice dell'Ambiente, pur rappresentando uno dei tentativi più avanzati di formalizzazione del danno ambientale nel diritto positivo, è costruito su presupposti strutturalmente differenti rispetto alle esternalità ambientali connesse allo sviluppo e all'impiego dei sistemi di intelligenza artificiale. La disciplina ivi contenuta del danno ambientale presuppone, infatti, la territorializzazione del pregiudizio e la sottoposizione del responsabile alla giurisdizione statale, condizioni difficilmente riscontrabili nel caso di effetti ambientali diffusi, cumulativi e intrinsecamente transnazionali. Ne deriva che, pur nella sua rilevanza sistemica, tale modello non risulta, allo stato, concretamente applicabile al danno ambientale derivante dall'intelligenza artificiale, confermando la necessità di una riflessione autonoma sul piano sovranazionale.

[45] Regolamento (UE) 2024/1689 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 giugno 2024, *che stabilisce norme armonizzate sull'intelligenza artificiale (Artificial Intelligence Act)*.

[46] Reg. UE 2024/1689 - Allegato XI, par. 2, lett. *e*).

sistema. In presenza di rischi sistemici è, altresì, previsto che si effettui una valutazione dell'efficienza energetica del modello, con possibilità per la Commissione di elaborare metodologie comuni di misurazione al fine di garantire comparabilità e coerenza tra i diversi sviluppatori.[47] Tali forme di *disclosure* si inseriscono in un tentativo di perseguire maggior trasparenza sull'impronta ecologica delle architetture più potenti e pervasive, in assenza di veri e propri vincoli sostanziali in termini di riduzione dei consumi o minimizzazione dell'impatto.

Al di là di queste poche indicazioni di principio, l'unica norma che, da un punto di vista più operativo, prende in considerazione il problema del consumo energetico è l'articolo 40, che affida alla Commissione il compito di promuovere *standard* tecnici armonizzati sul punto. Il paragrafo 2 stabilisce che la Commissione debba richiedere agli organismi di *standardizzazione* di fornire risultati relativi «a processi di comunicazione e documentazione intesi a migliorare le prestazioni dei sistemi di IA in termini di risorse, come la riduzione del consumo di energia».[48]

Questo modello di regolazione "*soft*", basato sull'autodisciplina tecnica, cioè sull'implementazione di *standard* condivisi[49], piuttosto che su obblighi giuridicamente vincolanti, genera un duplice rischio: da un lato, i tempi di approvazione degli *standard* da parte degli organismi competenti sono spesso lunghi e, probabilmente, non in grado di stare al passo con l'avanzamento tecnologico; dall'altro, tali organismi fanno ampio riferimento a *stakeholder* industriali, con il rischio di affidare alle logiche di mercato la definizione di parametri che dovrebbero invece essere prestabiliti dal legislatore, proprio al fine di garantire un bilanciamento effettivo tra innovazione tecnologica e sostenibilità ambientale, e non la prevaricazione di un interesse sull'altro.[50]

A ciò si aggiunge il fatto che l'*AI Act* non introduce alcun coordinamento esplicito con il *corpus* normativo dell'Unione in materia di tutela ambientale, che pure esiste ed è articolato.[51] Neppure la Convenzione quadro del Consiglio d'Europa sull'intelligenza artificiale affronta in modo significativo la dimensione ambientale. Il testo si limita a enunciazioni di principio di carattere generale, prive di prescrizioni operative e di meccanismi di responsabilità, confermando l'assenza di un approccio normativo strutturato al problema.[52]

---

[47] *Ivi*, art. 112, par. 6; art. 53, par. 1, lett. *a*) in combinato disposto con l'Allegato XI.

[48] Reg. UE 2024/1689, art. 40. 2.

[49] G. Fontana, N.P. Barbuzzi, *Profili giuridici degli agenti elettronici,* cit., 12.

[50] M. Tomasi, *Intelligenza artificiale*, cit., p. 56.

[51] In questa prospettiva, l'*AI ACT*, mostra una debolezza strutturale rispetto ad altri atti normativi dell'Unione che adottano approcci più stringenti e orientati a una piena integrazione tra transizione digitale e transizione verde. La dir. UE 2024/1760 (*Corporate Sustainability Due Diligence Directive* o CSDDD), per esempio, adotta un approccio prescrittivo, imponendo obblighi stringenti alle imprese in materia ambientale lungo tutta la catena del valore. Sul punto cfr. O. Pollicino, F. Paolucci, M. Fasciglione, *AI e sostenibilità, verso una compliance integrata*, Torino, 2025, 43 ss. La dir. UE 2022/2464 in materia di rendicontazione societaria di sostenibilità, invece, impone alle imprese l'obbligo di fornire una dettagliata informativa non finanziaria sulle *performance* ambientali, sociali e di *governance*, raffforzando così il principio di trasparenza e il controllo pubblico sulle strategie aziendali in materia di sostenibilità.

[52] La Convenzione quadro del Consiglio d'Europa sull'intelligenza artificiale e i diritti umani, la democrazia e lo Stato di diritto, adottata a Strasburgo il 17 maggio 2024, specifica, all'interno del Preambolo «*this Convention is intended to address specific challenges which arise throughout the lifecycle of artificial intelligence systems and encourage the consideration of the wider risks and impacts related to these technologies including, but not limited to, human health and the environment […]*». Per quanto concerne la parte normativa, composta da sole 36 norme, l'ambiente figura all'articolo 19, rubricato "Consultazione pubblica" che recita «Ciascuna Parte si adopera per garantire che le questioni importanti sollevate in relazione ai sistemi di intelligenza artificiale siano, [...], debitamente esaminate [...], alla luce delle implicazioni sociali, economiche, giuridiche, etiche, *ambientali* e di altro tipo». Nonostante l'interesse dimostrato verso il tema ambientale, l'applicabilità della Convenzione è oggi limitata. Al momento solo quattordici Stati e l'Unione europea hanno firmato il trattato e nessuno Stato ha depositato lo strumento

Alla luce delle considerazioni svolte, può concludersi che, allo stato attuale, non è riscontrabile alcuno strumento giuridico, né a livello internazionale, né a livello europeo, che prenda in considerazione in modo esplicito e sistematico le conseguenze ambientali dello sviluppo e dell'impiego dell'intelligenza artificiale. Gli strumenti giuridici che disciplinano il danno ambientale – quali, ad esempio, la dir. UE 2004/35/CE sulla responsabilità ambientale[53], le convenzioni internazionali in materia di tutela dell'ambiente o i principi generali del diritto ambientale dell'Unione – non prendono in considerazione l'ipotesi che tale danno possa essere causato da sistemi basati sull'IA.
Ne deriva l'assenza di un quadro giuridico specifico che imponga obblighi ambientali concreti a Stati o a imprese per lo sviluppo e l'utilizzo di sistemi di intelligenza artificiale, o che formalizzi una forma di responsabilità ambientale specifica per i danni imputabili alla loro diffusione. Non viene, dunque, disciplinato quello che potrebbe essere definito come "danno ambientale da intelligenza artificiale", inteso come il danno che si sta già producendo, e che è destinato a intensificarsi, in conseguenza delle applicazioni dell'IA. Questa lacuna normativa rappresenta il punto di partenza necessario per interrogarsi, nel paragrafo successivo, sulla possibilità di qualificare tale danno come fattispecie giuridica autonoma o integrata e sulle prospettive di una sua futura regolamentazione.

5. La necessità di configurare un "danno ambientale da intelligenza artificiale" alla luce del rafforzamento del diritto all'ambiente salubre. Le criticità evidenziate nel paragrafo precedente, in particolare la frammentazione normativa e l'assenza di strumenti giuridici specificamente orientati a intercettare le conseguenze ecologiche dell'intelligenza artificiale, pongono interrogativi di particolare rilievo sul piano della qualificazione giuridica del danno ambientale connesso allo sviluppo e all'impiego di tali tecnologie. La mancanza di un coordinamento tra diritto digitale e diritto ambientale rende estremamente complessa l'ipotetica formalizzazione di un "danno ambientale da intelligenza artificiale".
Il tentativo di ricondurre tale fenomeno entro categorie giuridiche esistenti incontra una serie di complicazioni strutturali. Il diritto positivo, infatti, non solo non contempla espressamente l'ipotesi di un danno ambientale riconducibile a sistemi di intelligenza artificiale, ma fatica anche a offrire strumenti concettuali idonei a qualificare la natura della responsabilità che ne deriverebbe. Ciò rende evidente come la questione non sia meramente applicativa, ma investa il piano stesso della costruzione dogmatica delle categorie giuridiche.
In primo luogo, occorre interrogarsi sulla natura della responsabilità che verrebbe in rilievo in presenza di un danno ambientale riconducibile allo sviluppo o all'utilizzo di sistemi di intelligenza artificiale. Tale operazione si rivela particolarmente complessa, poiché, come già osservato, non è chiaro neanche in via generale quale tipo di responsabilità possa essere configurata in relazione ai danni prodotti dall'IA. Il campo della responsabilità giuridica connessa all'intelligenza artificiale si presenta, allo stato attuale, come un vero e proprio terreno minato, caratterizzato dall'assenza di certezze e dalla proliferazione di ipotesi teoriche non ancora consolidate.

---

di ratifica. Affinché la Convenzione entri in vigore, occorre la ratifica da parte di almeno cinque Stati, di cui almeno tre membri del Consiglio d'Europa. Resta tuttavia auspicabile che il trattato venga ratificato e attuato, atteso che la cooperazione internazionale risulta indispensabile per affrontare, efficacemente, le questioni ambientali derivanti dall'IA.

[53] Direttiva 2004/35/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 aprile 2004, *sulla responsabilità ambientale in relazione alla prevenzione e alla riparazione del danno ambientale*, come modificata da successive direttive, da ultimo nel testo consolidato al 26 giugno 2019.

La responsabilità oggettiva da prodotto difettoso, spesso richiamata per disciplinare le ipotesi di danni prodotti da intelligenza artificiale[54], risulta inadeguata rispetto al danno ambientale che qui si intende esaminare, il quale presenta caratteristiche del tutto peculiari.
Il danno ambientale, infatti, non è riconducibile a una lesione puntuale e individualizzata. Esso si configura, innanzitutto, come un danno indivisibile, che colpisce la collettività nel suo complesso, lede un interesse che appartiene a tutti e si proietta anche sulle generazioni future. Allo stesso tempo, esso assume una dimensione individuale, incidendo sul diritto soggettivo del singolo a vivere in un ambiente salubre.[55]
Questa natura plurima e stratificata del danno ambientale mette in crisi le categorie giuridiche tradizionali, che tendono a operare una distinzione netta tra danno individuale e danno collettivo. Nel caso dell'intelligenza artificiale, tali distinzioni appaiono sempre più inadeguate a fronte di esternalità ambientali diffuse, cumulative e spesso irreversibili. Ne consegue l'assenza di una categoria giuridica capace di far fronte in modo soddisfacente al fenomeno.
Queste difficoltà assumono oggi una rilevanza crescente proprio in ragione dell'evoluzione del diritto ambientale. La tutela dell'ambiente sta progressivamente perdendo la sua esclusiva connotazione di principio generale per assumere quella di diritto umano soggettivo, e ciò comporta una maggiore e diversa attenzione nei confronti delle forme di danno che ne compromettono l'effettivo godimento.
Infatti, se in passato si è dibattuto a lungo a livello sovranazionale dell'esistenza di un diritto soggettivo a un ambiente salubre, oggi tale affermazione appare sempre più consolidata.[56]
Un passaggio cruciale in questa traiettoria evolutiva è rappresentato dal recente Parere consultivo della Corte internazionale di giustizia del 23 luglio 2025, che ha contribuito in modo significativo a rafforzare la qualificazione del diritto a un ambiente sano come diritto umano soggettivo.[57]
Per lungo tempo, infatti, l'ambiente è stato concepito come bene pubblico collettivo e la tutela ambientale come un obiettivo di interesse generale, piuttosto che come una posizione giuridica soggettiva autonoma. Il diritto del singolo a un ambiente sano ha faticato a imporsi come tale anche in ragione del fatto che non è espressamente previsto nei principali strumenti di protezione dei diritti umani, quali la Dichiarazione universale dei diritti dell'uomo, la Convenzione europea dei diritti dell'uomo e la Carta dei diritti fondamentali dell'Unione europea.
Oggi, dopo oltre quarant'anni di dibattito dottrinale e giurisprudenziale, sembra si stia definendo un mutamento di paradigma, soprattutto grazie allo sviluppo progressivo del diritto ad opera dalla Corte internazionale di giustizia e di altre giurisdizioni sovranazionali. In particolare, la giurisprudenza della Corte europea dei diritti dell'uomo[58] e quella della Corte

[54] V. F. Mercurio, *La responsabilità extracontrattuale per i danni cagionati da un sistema di Intelligenza Artificiale*, cit., 289 ss.
[55] C. Finocchiaro, *Intelligenza e transizione ambientale*, cit., 100. In proposito, cfr. anche V. Grado, Il *diritto umano universale a un ambiente sano*, in *Ordine internazionale e diritti umani* (*OIDU*), 2023; P. Mascaro, *Il diritto a un ambiente salubre nella giurisprudenza della Corte europea dei diritti dell'uomo*, in *Diritto e giurisprudenza agraria, alimentare e dell'ambiente - DGA (on-line),* 2023; D. Pauciulo, *Il diritto umano a un ambiente salubre nella Risoluzione 76/300 dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite*, in *Rivista di Diritto Internazionale*, 2022, pp. 1118-1125; F.E. Celentano, *L'ambiente sano come diritto dell'uomo. Il ruolo dei sistemi regionali di garanzia*, Napoli, 2024.
[56] E. Picozza, *La necessità della ricomposizione di saperi per affrontare la crisi ambientale*, cit., 15 ss.; D. L. Petrucci, *La tutela del diritto dell'individuo a un ambiente salubre nell'era dell'IA*, cit., 1330 ss.
[57] Corte int. giust., Parere consultivo del 23 luglio 2025, *Obblighi degli Stati in relazione al cambiamento climatico*.
[58] La Corte EDU, a partire dai casi *Lopez Ostra v. Spagna* e *Tatar v. Romania* relativi all'inquinamento e alla protezione ambientale, ha tentato di ovviare a questo *vulnus* normativo interpretando l'art. 8 CEDU (diritto alla vita privata e familiare) in modo da includervi la protezione contro gravi danni ambientali (inquinamento, rumore, rifiuti tossici). Sul punto, si v. P. Mascaro, *Il diritto a un ambiente salubre nella giurisprudenza della Corte*

interamericana dei diritti umani[59] hanno contribuito a delineare in modo sempre più chiaro la correlazione tra diritti umani e ambiente, rafforzando l'idea che la tutela ambientale non possa più essere relegata a un piano meramente programmatico.

D'altro canto, oltre alla Corte internazionale di giustizia, anche altri organi delle Nazioni Unite hanno contribuito allo sviluppo progressivo del diritto ambientale in tal senso.[60] Il sopra richiamato parere del 2025, infatti, si colloca in una traiettoria già avviata dal Consiglio per i diritti umani delle Nazioni Unite con la risoluzione n. 48/13 del 2021[61] e dall'Assemblea Generale con la risoluzione n. 76/300 del 28 luglio 2022[62], che hanno affermato l'esistenza di un diritto umano a un ambiente sano come diritto autonomo, in quanto prerequisito per il godimento di altri diritti fondamentali, quali il diritto alla vita, alla salute e al benessere.[63]

Dal canto suo, la Corte internazionale di giustizia, nella sua recente *Advisory opinion*, ha ribadito l'esistenza di obblighi giuridici vincolanti in capo agli Stati volti a prevenire danni climatici significativi. Tali obblighi, ha chiarito, non discendono esclusivamente dalle convenzioni internazionali in materia ambientale, ma trovano fondamento anche nel diritto internazionale consuetudinario e nel nucleo essenziale dei diritti umani.[64] Particolarmente rilevante è l'affermazione secondo cui non solo la violazione o l'inadempimento di tali obblighi può integrare un illecito internazionale, ma anche la mera inazione, ossia la mancata adozione delle misure dovute quando sussista un obbligo di prevenzione.[65]

Pur trattandosi di uno strumento privo di forza giuridica vincolante, il Parere della Corte ha rappresentato un momento simbolico e politico di primaria importanza nel processo di affermazione del diritto a un ambiente salubre. Esso corrobora la tesi del rafforzamento del diritto umano soggettivo all'ambiente sano e contribuisce a delineare un quadro nel quale tale diritto potrebbe svolgere un ruolo propulsivo nella formalizzazione di una responsabilità ambientale connessa allo sviluppo dell'intelligenza artificiale.

---

europea dei diritti dell'uomo, in *Diritto e giurisprudenza agraria, alimentare e dell'ambiente - DGA* (on-line), n. 4, 2023, 1. Per la giurisprudenza della Corte EDU si v. Corte EDU, sent. 9 dicembre 1994, ric. n. 16798/90, *López Ostra c. Spagna*, § 51; Corte EDU; sent. 19 febbraio 1998, ric. n. 14967/89, *Guerra e altri c. Italia*, §§ 58-60; Corte EDU (GC), sent. 30 novembre 2004, ric. n. 48939/99, *Öneryildiz c. Turchia*, § 87; Corte EDU, sent. 27 gennaio 2009, ric. n. 67021/01, *Tătar c. Romania*, § 107; Corte EDU, sent. 24 gennaio 2019, ricc. nn. 54414/13 e 54264/15, *Cordella e altri c. Italia*, § 51.

[59] La Corte interamericana dei diritti umani ha riconosciuto espressamente il diritto a un ambiente sano come diritto umano autonomo, dotato di efficacia *erga omnes*, con l'opinione consultiva OC-23/17 del 15 novembre 2017. Tale impostazione è stata poi ribadita in sede contenziosa, con la sentenza *Habitantes de La Oroya vs. Perú*, del 27 novembre 2023.

[60] A livello sovranazionale si è molto discusso dell'esistenza di un diritto soggettivo a un ambiente salubre. Sulla scia della risoluzione n. 48/13 del Consiglio per i Diritti Umani dell'ONU del 2021 (UN Doc. A/HRC/RES/48/13) con la quale è stata riconosciuta formalmente l'esistenza di un diritto umano a un ambiente pulito, sano e sostenibile, la risoluzione n. 76/300 ha rappresentato un punto di svolta nel procedimento di affermazione del diritto stesso, rilevando che «the right to a clean, healthy and sustainable environment is related to other rights and existing international law».

[61] Human Rights Council, *Resolution* n. 48/13 – 2021, UN Doc. A/HRC/RES/48/13.

[62] General Assembly, *Resolution 76/300*, *The human rights to a clean, healthy and sustainable environment*, UN Doc. A/RES/76/300, 1 August 2022.

[63] Nella sua pronuncia del 23 luglio 2025, emessa nell'ambito della richiesta sul contenuto e sulla portata degli obblighi degli Stati in relazione al cambiamento climatico, la Corte internazionale di giustizia ha affermato in modo esplicito che *«the human right to a clean, healthy and sustainable environment is essential for the enjoyment of other human rights»,* chiarendo così, a livello universale, che un ambiente pulito, sano e sostenibile costituisce una precondizione necessaria per l'effettivo godimento di altri diritti umani fondamentali, tra cui il diritto alla vita e alla salute.

[64] Corte int. di giustizia, Parere consultivo del 23 luglio 2025, *Obblighi degli Stati in relazione al cambiamento climatico*, cap. IV, sez. *c*, 84.

[65] *Ivi*, cap. V, 116.

In tale prospettiva, merita di essere richiamata la *Dichiarazione europea sui diritti e i principi digitali per il decennio digitale*[66], adottata nel 2022, che, pur configurandosi come uno strumento di *soft law*, contiene indicazioni di particolare rilievo sul rapporto tra tecnologie digitali e sostenibilità ambientale. In particolare, i punti 23[67] e 24[68] del capitolo VI, rubricato *Sostenibilità*, affermano la necessità che lo sviluppo e l'utilizzo delle tecnologie digitali avvengano in modo da non arrecare danno all'ambiente, imponendo altresì che il loro impatto ambientale sia prevedibile, trasparente e conoscibile dagli operatori e dagli utenti. Tali enunciazioni, pur non traducendosi in obblighi giuridici immediatamente azionabili, contribuiscono a delineare un orientamento politico-normativo dell'Unione volto a integrare la dimensione ambientale nella *governance* del digitale.

Alcuni studiosi[69] ritengono che, dalle dichiarazioni contenute nel capitolo VI, stia progressivamente emergendo un *principio di sostenibilità dei prodotti e dei servizi digitali*.[70] La graduale affermazione di tale principio rappresenta un passaggio necessario per l'effettiva realizzazione del diritto a un ambiente sano[71] e per il rafforzamento della disciplina di tutela ecologica.

Stando a quanto specificato dallo *Special Rapporteur of the Human Rights Council*[72], il diritto ad un ambiente salubre presenterebbe tanto una dimensione concreta, che si sostanzierebbe nel diritto dell'individuo a vivere in un ambiente che non sia pericoloso per la propria salute, quanto una dimensione procedurale, che richiederebbe la garanzia di adeguati livelli di informazione, trasparenza e partecipazione della società civile rispetto agli effetti ambientali delle tecnologie, consentendo agli utenti e agli operatori di compiere scelte consapevoli. In tal senso, sostengono gli autori, il *principio di sostenibilità digitale* costituisce uno strumento per la concretizzazione di un più ampio diritto ad un ambiente sano, nella misura in cui impone di individuare le modalità attraverso cui le tecnologie digitali devono essere progettate, utilizzate e governate al fine di evitare impatti ambientali significativi.

---

[66] Dichiarazione europea sui diritti e i principi digitali per il decennio digitale (2023/C 23/01).

[67] Dichiarazione europea sui diritti e i principi digitali per il decennio digitale (2023/C 23/01), cap. VI - *Sostenibilità*, punto 23 «Per evitare danni significativi all'ambiente, e al fine di promuovere l'economia circolare, i prodotti e i servizi digitali dovrebbero essere progettati, prodotti, utilizzati, riparati, riciclati e smaltiti in modo da attenuare il loro impatto negativo sull'ambiente e sulla società ed evitare l'obsolescenza prematura.».

[68] Dichiarazione europea sui diritti e i principi digitali per il decennio digitale (2023/C 23/01), cap. VI - *Sostenibilità*, punto 24 «Ogni persona dovrebbe avere accesso a informazioni precise e di facile comprensione sull'impatto ambientale e sul consumo energetico dei prodotti e dei servizi digitali, nonché sulla loro riparabilità e sul loro ciclo di vita, in modo da essere in grado di compiere scelte responsabili.».

[69] Cfr. A. Perez Victorio, E. Celeste, A. Quintavalla, *Greening AI?*, cit., ove gli Autori sostengono che dalle dichiarazioni contenute nel capitolo VI della Dichiarazione europea sui diritti e i principi digitali stia progressivamente emergendo un principio di sostenibilità dei prodotti e dei servizi digitali. Si v., altresì, P. De Pasquale, *Sostenibilità e trasformazione digitale*, cit., 91, la quale, pur non riferendosi espressamente al *principio di sostenibilità dei prodotti e dei servizi digitali*, evidenzia la necessità di qualificare la sostenibilità non come mero obiettivo settoriale, bensì come un principio trasversale destinato a orientare complessivamente l'azione dell'Unione europea.

[70] *«The focus, […], is on the emergence of a new principle of sustainable digital products and services. The article questions the extent to which this principle may contribute effectively to the greening of the digital sector and, specifically, AI technologies. The potential impact of such a soft-law principle is also considered, highlighting its potential to inspire hard law at both the EU and the Member State level as well as to pave the way for progressive judicial decisions on the environmental effects of AI technologies».*

[71] «*Still, it can be argued that the principle of sustainable digital products and services is necessary for the creation of a healthy environment, and it might be seen as a specific articulation of the corresponding right. […] The principle of sustainable digital products and services is thus an instrument for the implementation of the broader right to a healthy environment: it indicates how digital technologies should be designed and used and what information should be made available to users if they are to make greener and better-informed choices».*

[72] Cfr. Human Rights Council, *Report of the Special Rapporteur on the issue of human rights obligations relating to the enjoyment of a safe, clean, healthy and sustainable environment*, UN doc. 2018, A/73/188.

Il consolidamento di tale principio potrebbe, dunque, orientare l'azione normativa e regolatoria dell'Unione verso una futura disciplina della responsabilità ambientale da intelligenza artificiale.
In questa prospettiva di rafforzata attenzione alla dimensione ambientale, appare legittimo interrogarsi sulla possibilità che la profonda evoluzione che sta interessando la disciplina ambientale sovranazionale possa fungere da spinta propulsiva verso una regolamentazione più incisiva delle conseguenze ecologiche dell'intelligenza artificiale.
Da un punto di vista più operativo, da un lato emerge la necessità di creare una categoria di responsabilità *ad hoc*, capace di formalizzare l'applicazione del principio "chi inquina paga" anche allo sviluppo e all'impiego dei sistemi di IA a dimensione transnazionale; dall'altro, occorrerebbe introdurre obblighi giuridici stringenti in capo alle imprese che sviluppano e utilizzano sistemi di intelligenza artificiale. Sarebbe altresì auspicabile l'introduzione di obblighi preventivi anche in capo agli Stati, chiamati a esercitare un controllo effettivo sulle attività delle proprie aziende. Ciò incentiverebbe l'adozione di *standard* di sicurezza e sostenibilità più elevati, promuovendo controlli rigorosi e una maggiore responsabilizzazione degli attori coinvolti. Vieppiù, l'imposizione di valutazioni di impatto ambientale *ex ante*, specificamente calibrate sulle tecnologie di intelligenza artificiale, appare l'unico modello regolatorio idoneo al conseguimento di vantaggi effettivi in termini ambientali. Diversamente, una regolazione esclusivamente *ex post*, basata su richiami o sull'erogazione di sanzioni, multe o ammende a posteriori, risulterebbe largamente inefficace, in quanto il danno ambientale, una volta prodotto, non è – nella maggior parte dei casi – riassorbibile o reversibile.[73]

6. Considerazioni conclusive e prospettive future. Dall'analisi condotta emerge con chiarezza l'inadeguatezza dell'attuale quadro regolatorio nel garantire una reale integrazione tra sviluppo dell'intelligenza artificiale e tutela dell'ambiente.[74] Nonostante i ripetuti richiami alla sostenibilità e alla necessità di una transizione "gemella", digitale ed ecologica, il diritto positivo continua a trattare le due dimensioni come ambiti solo parzialmente comunicanti, affidando il coordinamento a strumenti frammentari, *soft* o meramente programmatici. In assenza di un disegno normativo coerente, il rischio è che la transizione digitale proceda a un ritmo incompatibile con gli obiettivi di protezione ambientale, aggravando il depauperamento delle risorse e accelerando dinamiche di danno ecologico difficilmente reversibili.
Affinché la *twin transition* possa tradursi in un processo effettivo e non restare un obiettivo retorico, appare necessario, in primo luogo, un coordinamento strutturale tra le norme che disciplinano lo sviluppo e l'impiego dei sistemi di intelligenza artificiale e gli obblighi ambientali già vigenti. Tale coordinamento non può limitarsi a generici richiami alla sostenibilità, ma deve tradursi nell'introduzione di obblighi ambientali specifici a carico degli attori che sviluppano e utilizzano sistemi di IA, in particolare delle grandi imprese tecnologiche, la cui attività incide in modo significativo sull'ecosistema globale.
In quest'ottica, il progressivo rafforzamento del diritto umano soggettivo a un ambiente salubre assume una rilevanza decisiva.[75] Se il mutamento di paradigma da interesse collettivo a diritto individuale dovesse consolidarsi in maniera definitiva e generalmente condivisa, le conseguenze sul piano giuridico sarebbero profonde. I danni ecologici non verrebbero più

[73] Sul punto cfr. C. Di Francesco Maesa, *Economia circolare e IA*, cit., 10 ss.
[74] M. C. Gaeta, *Intelligenza artificiale sostenibile*, cit., 170; R. RAMAN et al., *Green and sustainable AI research: an integrated thematic and topic modeling analysis*, in *Journal of Big Data*, 2024; C. Di Francesco Maesa, *Economia circolare e IA*, cit., 16; L. Ruggeri, *Ambiente e tecnologie*, cit., 10.
[75] D. L. Petrucci, *La tutela del diritto dell'individuo a un ambiente salubre nell'era dell'IA*, cit., 1332.

qualificati esclusivamente come lesioni all'ecosistema in senso astratto, ma come violazioni dirette di una posizione giuridica soggettiva azionabile in giudizio. Ne deriverebbe un cambiamento radicale nel modo di concepire la responsabilità ambientale: le attività altamente inquinanti, comprese quelle legate allo sviluppo e all'addestramento dei sistemi di intelligenza artificiale, non lederebbero più "soltanto" interessi diffusi, ma diritti umani individuali, con la conseguente possibilità di attivare meccanismi di tutela giurisdizionale effettivi.

In tale prospettiva, si rende sempre più urgente la definizione di una forma di responsabilità specifica per il danno ambientale da intelligenza artificiale. Le categorie giuridiche tradizionali si mostrano infatti inadeguate a fronte di danni diffusi, cumulativi, indiretti e transnazionali, come quelli generati dalle esternalità ambientali dell'IA. L'introduzione di un regime di responsabilità *ad hoc* consentirebbe non solo di colmare un vuoto di tutela, ma anche di applicare in modo coerente il principio "chi inquina paga" allo sviluppo tecnologico, internalizzando i costi ambientali che oggi restano in larga parte non contabilizzati.

D'altro canto, la difficoltà tecnica di quantificare l'impatto ecologico dell'IA e di attribuire porzioni di danno a specifiche imprese o a determinati Stati non può giustificare l'inerzia normativa. Al contrario, essa impone l'adozione di obblighi rafforzati di *disclosure* ambientale e di rendicontazione, nonché lo sviluppo di metodologie comuni di misurazione, capaci di rendere comparabili i dati e di garantire un controllo effettivo e condiviso sulle attività delle imprese tecnologiche.

Appare, dunque, auspicabile l'adozione di un regolamento europeo *ad hoc* dedicato al danno ambientale da intelligenza artificiale, che disciplini in modo organico i profili di responsabilità e vincoli l'attività delle imprese di IA al rispetto di stringenti requisiti di *compliance* ecologica.

Idealmente, una convenzione sovranazionale rappresenterebbe lo strumento più idoneo a fronteggiare un fenomeno intrinsecamente globale; tuttavia, l'attuale contesto geopolitico rende tale prospettiva difficilmente realizzabile nel breve periodo.[76]

In questo scenario, spetta all'Unione europea assumere un ruolo di guida, colmando il vuoto regolatorio e offrendo un modello normativo avanzato, coerente con la propria tradizione di tutela ambientale e di protezione dei diritti fondamentali.

Il progressivo affermarsi di un diritto all'ambiente salubre, affiancato anche dal recente parere della Corte, fornisce un substrato giuridico solido sul quale costruire questa evoluzione normativa.

È auspicabile che tale base venga valorizzata dagli organismi sovranazionali, e in particolare dall'Unione europea, al fine di regolamentare le applicazioni dell'intelligenza artificiale che contribuiscono ad accrescere e ad accelerare il danno ecologico, delineando obblighi chiari e profili di responsabilità effettivi in caso di mancata conformità.

Solo in questo modo sarà possibile garantire che, nell'era della crisi ecologica globale, l'evoluzione tecnologica proceda all'interno di un perimetro normativo ed etico capace di tutelare i diritti fondamentali, *in primis* il diritto dell'individuo a vivere in un ambiente sano.

Abstract. Il contributo analizza il rapporto tra intelligenza artificiale e tutela dell'ambiente, mettendo in luce le esternalità ambientali generate dallo sviluppo e dall'impiego dei sistemi di IA e le lacune dell'attuale quadro normativo europeo e internazionale. Muovendo dal progressivo riconoscimento del diritto umano a un ambiente salubre, il lavoro sostiene la necessità di configurare una specifica categoria di danno ambientale riconducibile

[76] M. Merler, *I costi ambientali dell'intelligenza artificiale*, cit., 613.

all'intelligenza artificiale e di rafforzare gli strumenti giuridici di prevenzione, trasparenza e responsabilità.

Abstract. This article examines the relationship between artificial intelligence and environmental protection, highlighting the environmental externalities generated by the development and deployment of AI systems and the shortcomings of the current European and international legal framework. Building on the growing recognition of the human right to a healthy environment, it argues for the recognition of a specific category of AI-related environmental damage and for strengthening legal mechanisms of prevention, transparency and accountability.

Parole chiave. intelligenza artificiale – danno ambientale – diritto all'ambiente salubre.

Key words. artificial intelligence – environmental damage – right to a healthy environment.