

TECNOLOGIA E TUTELA DELL'AMBIENTE: IL CONTRIBUTO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE NEL CONTRASTO AI REATI AMBIENTALI TRA ATTUALITA' E SVILUPPI FUTURI

*Technology and environmental protection: the contribution of artificial intelligence to combating
environmental crime: current trends and future developments*

ROBERTO COLUCCIELLO *

Abstract [It]: Il progressivo sviluppo delle tecnologie digitali e, in particolare, dell'intelligenza artificiale sta determinando profonde trasformazioni anche nelle strategie di prevenzione, accertamento e contrasto della criminalità ambientale. Il presente contributo analizza le potenzialità applicative dell'IA quale strumento tecnologico al servizio della tutela del bene giuridico ambiente, muovendo dall'evoluzione dell'informatica ambientale e dalla crescente centralità dei dati nei sistemi di *governance* e controllo del territorio. Particolare attenzione è dedicata all'impiego di algoritmi di *machine learning*, modelli predittivi, reti neurali, sistemi di videosorveglianza intelligente e tecnologie geospaziali per il monitoraggio degli ecosistemi, l'individuazione delle condotte illecite e l'analisi preventiva del rischio ambientale. L'indagine prende inoltre in esame alcune significative esperienze applicative, con specifico riferimento ai progetti Perivallon e Savager, evidenziando il contributo che l'integrazione tra intelligenza artificiale, big data, immagini satellitari e sistemi automatizzati di analisi può offrire alle autorità pubbliche e agli organi investigativi. Alla luce della più recente evoluzione normativa europea, il contributo sostiene la necessità di sviluppare un modello di *governance* dell'intelligenza artificiale capace di coniugare efficacia investigativa, prevenzione dei crimini ambientali, trasparenza tecnologica e tutela dei diritti fondamentali. In tale prospettiva, l'IA può rappresentare uno strumento strategico per la costruzione di un sistema avanzato di giustizia ambientale, purché il suo impiego sia inserito in un quadro normativo, istituzionale ed etico coerente con i principi dello Stato di diritto e con gli obiettivi europei di sostenibilità e transizione ecologica.

Abstract [En]: *The progressive development of digital technologies and, in particular, artificial intelligence is bringing about profound changes in strategies for preventing, detecting and combating environmental crime. This paper analyses the potential applications of AI as a technological tool for the protection of the environment as a legally protected interest, starting from the evolution of environmental informatics and the growing importance of data in governance and territorial monitoring systems. Particular attention is devoted to the use of machine learning algorithms, predictive models, neural networks, intelligent video surveillance systems and geospatial technologies for ecosystem monitoring, the detection of unlawful conduct and the preventive analysis of environmental risks. The study also examines significant practical experiences, with specific reference to the Perivallon and Savager projects, highlighting the contribution that the integration of artificial intelligence, big data, satellite imagery and automated analytical systems can provide to public authorities and investigative bodies. In light of the most recent developments in European legislation, the paper argues for the development of an artificial intelligence governance model capable of combining investigative effectiveness, the prevention of environmental crime, technological transparency and the protection of fundamental rights. From this perspective, AI can represent a strategic tool for building an advanced system of environmental justice, provided that its use is embedded within a regulatory, institutional and ethical framework consistent with the principles of the rule of law and with European objectives concerning sustainability and the ecological transition.*

SOMMARIO: 1. Premessa generale - 2. Trasformazione digitale e governo dell'ambiente - 3. Sviluppo concettuale e progresso dell'IA - 4. Reati ambientali e vulnerabilità del sistema di tutela - 5. Strumenti tecnologici per il contrasto agli illeciti ambientali - 6. L'IA come leva operativa di contrasto - 7. Analisi predittiva, apprendimento automatico e trattamento avanzato dei dati ambientali - 8. Esperienze applicative e buone pratiche in ambito europeo e nazionale; casi Perivallon e Savager - 9. Questioni aperte, in particolare diritti, dati, responsabilità e trasparenza algoritmica - 10. Scenari evolutive dell'IA nella giustizia ambientale europea - 11. Considerazioni conclusive.

1. Premessa generale

Quando si parla di intelligenza artificiale (IA)¹ non si può non pensare agli enormi progressi che le tecnologie informatiche hanno compiuto negli ultimi vent'anni. I computer sono, oggi, in grado di svolgere compiti sempre più complessi ed eccellono in tutta una serie di attività che prima erano impensabili per le macchine.

L'intelligenza artificiale occupa una parte della ricerca informatica e racchiude molte branche di studi sui sistemi intelligenti, ognuno dedicato a un particolare aspetto del comportamento umano. I programmi di IA usano in genere lo stesso linguaggio dei sistemi convenzionali, ma con una logica diversa, finalizzata a progettare macchine che siano in grado di pensare come gli esseri umani².

Il campo dell'intelligenza artificiale riguarda, quindi, quei sistemi programmati in modo tale da tenere dei comportamenti intelligenti. Comportamenti che coinvolgono, a loro volta, capacità quali il ragionamento, l'apprendimento, la comunicazione e l'azione in ambienti complessi³.

I diversi sistemi di IA non sono dunque tutti uguali: essi si distinguono in base al loro livello di autodeterminazione. Le criticità più rilevanti emergono, chiaramente, con quei sistemi che generano autonomamente risultati attraverso processi non sempre comprensibili per l'essere umano⁴.

Il Regolamento europeo sull'intelligenza artificiale n. 1689/2024 prevede una classificazione dei sistemi di IA in macroaree di rischio - minimo, elevato e inaccettabile - stabilendo, per ciascuna categoria, specifici obblighi normativi; maggiore è il rischio, maggiori sono le responsabilità che gravano sul soggetto che si avvale dei sistemi di intelligenza artificiale, producendoli o utilizzandoli.

I rischi alti sono ammessi solo nel rispetto di stringenti adempimenti, mentre i rischi inaccettabili sono sempre vietati, e viene anche prevista una specifica disciplina per i sistemi di IA che presentano rischi di trasparenza.

Con questo regolamento si intende, da un lato, favorire lo sviluppo delle nuove tecnologie legate all'intelligenza artificiale; dall'altro, garantire la tutela dei diritti fondamentali e degli interessi coinvolti dall'utilizzo dell'IA.

¹ * Ufficiale del Corpo delle Capitanerie di Porto, Cultore della materia presso il Dipartimento delle Scienze Economiche, Aziendali, Giuridiche e Sociologiche dell'Università degli Studi "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara.

Il termine è stato coniato dallo scienziato John McCarthy dell'Università di Stanford, organizzatore del primo evento su questo tema: il Darmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence del 1956.

² Cfr. DOUGLAS R., *Artificial Intelligence*, Beverly Hills (CA), 2018, pagg. 10 ss.

³ Cfr. NILSSON N.J., *Intelligenza artificiale*, Milano, 2002, pag. 21.

⁴ Cfr. CIMINI S., *La responsabilità civile e amministrativa di fronte alle sfide dell'intelligenza artificiale*, in *Ceridap*, Rivista interdisciplinare sul diritto delle amministrazioni pubbliche, fascicolo 1/2026, pag. 35.

L'approccio è basato sul rischio con una regolamentazione tesa alla sua riduzione. Il tema risarcitorio, invece, non è stato affrontato da questo regolamento⁵.

Queste caratteristiche proprie dell'intelligenza artificiale alimentano attualmente il dibattito sulla possibilità che queste nuove tecnologie *smart* possano diventare utili strumenti per la protezione dell'ambiente e la conservazione delle risorse naturali⁶.

Posto ciò, questo lavoro intende avere - allo stesso tempo - l'ambizione e l'umiltà di contribuire alla comprensione circa l'utilizzo efficace della tecnologia, in questo caso l'IA, per contrastare condotte *contra legem* nei confronti del bene giuridico ambiente.

Dopo una breve introduzione, e dopo aver compreso il concetto di crimine ambientale, verrà descritta l'efficacia dell'IA quale mezzo di contrasto ai crimini ambientali, e un accenno a taluni progetti istituzionali di natura nazionale e comunitaria.

2. Trasformazione digitale e governo dell'ambiente

I temi dell'ambiente e dello sviluppo sostenibile, che mira a soddisfare le esigenze attuali senza compromettere quelle delle generazioni future, rappresentano il fulcro della nuova e più attuale governance pubblica globale, da tempo all'attenzione dell'Unione europea e del legislatore nazionale.

Nelle diverse direttive emanate che oggi si sostanziano nel c.d. *Green New Deal*, l'Europa ha espressamente riconosciuto le potenzialità insite nelle nuove tecnologie capaci di creare sinergie tra tutela dell'ambiente e crescita economica⁷.

Quando si parla di nuove tecnologie in relazione all'ambiente occorre, però, operare preliminarmente una distinzione. Gli strumenti a disposizione del settore sono molti e assolvono funzioni diverse.

Da un lato, si trovano le tecnologie c.d. ambientali, che comprendono tutte le tecnologie il cui utilizzo risulta meno dannoso dal punto di vista ambientale rispetto alle alternative praticabili, sia come tecnologie singole, che come sistemi totali che raggruppano il *know-how*, procedure, beni e servizi, apparecchiature e procedure organizzative e di gestione. È il caso, ad esempio, delle tecnologie per il risparmio energetico.

Dall'altro lato, vi sono le tecnologie dell'informazione e della comunicazione che sono alla base del funzionamento di molti sistemi e processi e che, essendo in continua evoluzione, stanno favorendo l'avvento di nuove applicazioni, che già cominciano a prendere forme ben precise⁸.

La caratteristica di maggior rilievo delle tecnologie ICT risiede nella capacità di raccogliere, elaborare e conservare quantità enormi di dati e di trasformarli in informazioni.

⁵ Cfr. CIMINI S., op. cit., pag. 35.

⁶ Cfr. D'AVANZO W., *Le applicazioni dell'intelligenza artificiale a tutela dell'ambiente*, in Rivista "Diritto e Giurisprudenza Agraria Alimentare e dell'Ambiente", 2/2019, pag. 1.

⁷ Cfr. D'AVANZO W., *Riflessioni di informatica giuridica per l'ambiente. Digitalizzazione pubblica e applicazioni di intelligenza artificiale*, in Open Journal of Humanities Electronic Scientific Journal in Open Access, Vol. 7, 2021, pag. 4.

⁸ Fra gli altri documenti comunitari che, per primi, hanno affrontato il problema della gestione delle nuove tecnologie per la tutela dell'ambiente, si citano: Commissione europea 2004: 2-3 e 7. In tema di tecnologie ambientali si veda, anche, il rapporto della Commissione europea 2002; la Comunicazione della Commissione europea 2003; nonché la decisione del Parlamento e del Consiglio 1600/2002/CE che ha dettato il sesto programma comunitario di azione in materia di ambiente. Dal 2010, la Commissione europea ha adottato la strategia Europa 2020, fondata sulla c.d. ecoinnovazione, finalizzata a favorire una crescita sostenibile e l'avvento di una nuova economia circolare, che integrata nel *Green Deal* dovrà favorire la transizione verde della zona euro entro il 2050.

L'elemento centrale della rivoluzione digitale sono, quindi, le informazioni, quale elemento imprescindibile di efficienza tecnologica.

La disponibilità dei dati e l'avvento di tecnologie sempre più all'avanguardia in grado di processarli mediante algoritmi predittivi, su cui si fonda la logica del *machine learning*, se combinate fra loro e utilizzate attraverso l'applicazione di elementi intelligenti, hanno potenzialità illimitate.

Questa rivoluzione digitale, fondata sul concetto di *big data*, utilizza gli strumenti tecnologici più all'avanguardia, quali l'intelligenza artificiale o l'internet delle cose, per raccogliere ed elaborare i dati digitali, conservarli in archivi distribuiti e trasformarli in informazioni, sulla base delle quali prendere decisioni⁹.

La digitalizzazione delle informazioni nel complesso contesto del settore pubblico ambientale deve, quindi, mirare a porre in essere due categorie di azioni: una prima finalizzata al miglioramento del controllo complessivo del sistema e della *governance* ambientale del territorio; e una seconda finalizzata al miglioramento dell'efficienza economico-ambientale dei cicli di gestione delle risorse.

Lo scopo dell'introduzione ed implementazione delle nuove tecnologie nel settore ambientale è, quindi, duplice e mira a perseguire sia la riduzione dell'impatto delle attività umane sull'ecosistema naturale sia una migliore e più efficiente gestione dell'ambiente attraverso la disponibilità delle informazioni e la semplificazione organizzativa delle imprese e delle pubbliche amministrazioni.

Nel settore pubblico, in particolare, la transizione digitale del settore ambiente rappresenta un campo di applicazione nuovo, fortemente innovativo e molto vasto, di specifico interesse per l'informatica giuridica, al pari della digitalizzazione della sanità, dell'istruzione, del lavoro, della giustizia.

Tanto più urgente se si considera che la crisi globale legata alla pandemia da Co-vid-19 ha accelerato la prospettiva di adeguamento degli Stati comunitari verso la svolta c.d. *green*, finalizzata al raggiungimento degli obiettivi internazionali di tutela ambientale e di risanamento delle economie.

3. Sviluppo concettuale e progresso dell'intelligenza artificiale

Attribuire un significato al termine "intelligenza artificiale" può risultare un compito particolarmente complesso tenuto conto della velocità con cui il progresso tecnologico muta in questo ambito.

I "sistemi intelligenti" erano definiti come strumenti capaci di eseguire compiti normalmente associati all'intelligenza umana¹⁰.

L'agente di intelligenza artificiale veniva quindi inteso, in questo primo momento, come una macchina capace di emulare in parte l'agire umano.

Tuttavia, questo parallelismo è stato da subito scoraggiato proprio per le pericolose implicazioni logiche cui avrebbe condotto: già Alan Turing, nel celebre saggio "*Computing Machinery and Intelligence*"¹¹, affermava che il concetto di "intelligenza" negli anni successivi sarebbe stato inevitabilmente modellato e adattato per ricomprendere forme di intelligenza diverse e nuove, come quelle degli agenti artificiali.

In tali circostanze risulta utile l'utilizzo di sistemi di intelligenza artificiale in quanto supportano notevolmente il lavoro delle forze dell'ordine, i quali, grazie al *data mining* permettono di elaborare dati

⁹ Cfr. D'AVANZO W., op. cit., pag. 6.

¹⁰ Cfr. GABBRIELLI M., *Dalla logica al deep learning: una breve riflessione sull'intelligenza artificiale*, in XXVI lezioni di diritto dell'intelligenza artificiale a cura di U. RUFFOLO, Torino, Giappichelli, 2020, pag.21.

¹¹ Vds. A.M. TURING, *Computing machinery and intelligence*, Mind, 59 (1950) 433-460. Traduzione italiana in: V. Somenzi, R. Cordeschi, *La filosofia degli automi. Origini dell'intelligenza artificiale*, Paolo Boringhieri, Torino, 1986.

e ricavarne informazioni riconoscendo, allo stesso tempo, i *pattern* all'interno di essi, effettuando il lavoro in una velocità tale che permette di prevenire, effettivamente, la commissione dei reati. È evidente come l'utilizzo di tali sistemi intelligenti possa implicare una lesione dei diritti fondamentali della persona.

L'interesse della comunità scientifica per l'IA si è moltiplicato nel tempo, probabilmente grazie al continuo e significativo progresso scientifico, che ha alimentato un fermento verso lo studio delle sue potenzialità¹².

La maturità tecnologica raggiunta nella capacità di analisi in *real-time* ed in tempi brevi, poi, sia nel calcolo computazionale, sia nell'osservazione di enormi quantità di dati di qualsiasi forma, alimenta la capacità di calcolo o di conoscenza di dati astratti, soprattutto delle differenti forme di intelligenza riconosciute dalla teoria di Gardner¹³, che vanno dall'intelligenza spaziale a quella sociale, da quella cinestetica a quella introspettiva.

La gamma delle potenziali applicazioni dell'IA - che nei settori scientifici ha raggiunto risultati impensabili solo pochi anni fa - pone all'attenzione dell'uomo di scienze la ricerca del sistema virtuale per portare a termine una operazione umana; pone al giurista la ricerca dei modi di acquisizione di prove, ad esempio, e il sondaggio per forme di giustizia predittiva compatibili con i diritti fondamentali della persona; e pone al filosofo il dubbio di fondo, che non riguarda solo le scienze umanistiche, perché lo interroga sull'etica del virtuale, sul valore "esistenziale" della AI nei settori più delicati in cui essa è chiamata ad agire¹⁴.

4. Reati ambientali e vulnerabilità del sistema di tutela

Il diritto ambientale si contraddistingue per essere, ancora oggi, costituito da numerose norme di vario rango e provenienza tra loro non organicamente riunite, che si sono succedute nel corso degli anni ed "affastellate" senza una chiara visione di insieme, nate dalla necessità di dare attuazione a direttive comunitarie oppure dall'esigenza di dare una risposta efficace a fronte di condotte gravemente lesive dell'ambiente, in assenza di norme punitive connotate dalla necessaria tipicità e specialità¹⁵.

L'unico testo organico è costituito dal decreto legislativo 152/2006 (TUA) che contiene unitariamente, ma in modo non completo, la disciplina in materia di rifiuti, acqua, suolo, aria; tuttavia, sono tuttora vigenti ulteriori discipline che regolamentano i suddetti settori specifici.

Una significativa novità normativa è costituita dalla legge costituzionale n. 1/22 che ha dato espresso rilievo costituzionale alla tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi, anche nell'interesse delle future generazioni, interpolando gli articoli 9 e 41 della Costituzione¹⁶.

¹² Cfr. URICCHIO A.F., RICCIO G., RUFFOLO U., *Intelligenza Artificiale tra etica e diritti. Prime riflessioni a seguito del libro bianco dell'Unione europea*. Bari, 2020, pag.

¹³ Detta teoria è in realtà meglio definita la teoria delle intelligenze multiple, proposta dallo psicologo Howard Gardner, che afferma che l'intelligenza non è una singola capacità unitaria (come misurato dal QI), ma si manifesta in diverse forme distinte e indipendenti. Gardner ha identificato inizialmente sette, poi estese a nove intelligenze, tra cui quella logico-matematica, linguistica, spaziale, corporeo-cinestetica, musicale, interpersonale, intrapersonale e naturalistica, alle quali si è aggiunta più tardi l'intelligenza esistenziale. Questa teoria ha rivoluzionato il concetto tradizionale di intelligenza, promuovendo una visione più ampia e inclusiva dell'intelligenza umana e influenzando significativamente l'educazione e la valutazione delle capacità individuali.

¹⁴ Medicina; clinica; scienze prioritarie in cui l'applicazione dell'AI si presenta ad alto rischio.

¹⁵ Cfr. AFFINITO R., *La contaminazione dei siti e gli illeciti in materia di discariche*, in *Criminalità Informatica e Intelligenza Artificiale*, Quaderno della Rivista Trimestrale della Scuola di Perfezionamento per le Forze di Polizia, II/2022, pag. 271.

Nella loro attuale formulazione tali disposizioni pongono un limite alla iniziativa economico privata prevedendo che essa non possa svolgersi “in modo da recare danno alla salute, all’ambiente, alla sicurezza, alla libertà, alla dignità umana”.

L’articolo 41 prevede che la legge determini i programmi e i controlli opportuni perché l’attività economica pubblica e privata possa essere indirizzata e coordinata “a fini sociali e ambientali”.

La materia ambientale, comunque, è in gran parte modellata dal formante comunitario, le direttive della Unione europea in uno con le sentenze della Corte di giustizia europea plasmano la materia; nel corso degli anni sono stati enucleati principi internazionalmente condivisi, recepiti nel diritto positivo dei diversi Paesi della Unione europea e sui quali si fonda la politica comunitaria. Si tratta dei seguenti principi:

a) “Chi inquina paga - ma se ripara paga meno”, secondo il quale ogni fenomeno di inquinamento causato dall’uomo costituisce un deterioramento dell’ambiente che, non potendo essere economicamente valutabile in maniera corrispondente al reale danno, è stimato quanto meno pari alla spesa che occorre per il ripristino dello status quo ante o alla perdita di valore che il bene subisce. Ne sono espressione tutte quelle norme contenute nel testo unico ambiente in materia di tutela risarcitoria contenuta nella parte sesta a partire dagli articoli 299 e ss. del TUA e del codice penale, che impongono al responsabile della condotta illecita obblighi di bonifica e di ripristino ambientale (in particolare, vds. articolo 257 TUA, in materia di bonifica dei siti inquinati, e articolo 452-duodecies c.p.);

b) lo “sviluppo sostenibile” è principio a fondamento della politica ambientale, ad esso fanno riferimento gli articoli 9 e 41 della Costituzione e l’articolo 3-quater del Testo unico ambiente, secondo cui lo sviluppo che venga incontro a bisogni del presente non deve compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni;

c) “il principio di prevenzione” che trova il suo riferimento normativo sempre nell’articolo 3-ter del TUA ed in diverse disposizioni in materia di bonifica. Esso deve essere osservato dagli enti pubblici preposte al rilascio della autorizzazione ed è finalizzato ad evitare i danni sin dall’origine, concretizzandosi in una previa valutazione dell’impatto sull’ambiente che potrebbero avere i progetti da autorizzare. È principio cui deve ispirarsi in particolar modo la pubblica amministrazione quando il rischio per l’ambiente sia scientificamente prevedibile e prevenibile con i mezzi della tecnologia, ed impone alle imprese di adottare tutte le precauzioni necessarie per impedire la concretizzazione di quel rischio secondo le BAT di settore (cioè le migliori tecniche disponibili a costi sostenibili - best available techniques);

d) “il principio di precauzione” opera ad un livello ancora più anticipato rispetto a quello di prevenzione, in quanto comporta l’adozione di misure cautelative per impedire o arginare il realizzarsi di danni ambientali che pur possibili non sono prevedibili: ad esso fa riferimento l’articolo 301 del TUA.

La direttiva UE 2024/1203 del Parlamento europeo e del Consiglio in materia di tutela penale dell’ambiente dell’11 aprile 2024 è stata pubblicata nella Gazzetta ufficiale dell’Unione europea il 30 aprile 2024, e sostituisce le precedenti direttive 2008/99/CE e 2009/123/CE, ed entrerà in vigore il ventesimo giorno successivo alla pubblicazione nella Gazzetta ufficiale dell’Unione europea e, per

¹⁶ Cfr. ARCONZO G., *La tutela dei beni ambientali nella prospettiva intergenerazionale: il rilievo costituzionale dello sviluppo sostenibile alla luce della riforma degli articoli 9 e 41 della Costituzione*, in P. PANTALONE (cur.), *Doveri intergenerazionali e tutela dell’ambiente. Sviluppi, sfide e prospettive per Stati, imprese e individui*, in *Il diritto dell’economia* (Atti del Convegno svoltosi presso l’Università degli Studi di Milano - 7 ottobre 2021), pagg. 158 ss.

espressa previsione dell'art. 28 (Recepimento), gli Stati membri dovranno mettere in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla presente direttiva entro il 21 maggio 2026.

Nel corso degli anni sono state numerose e significative le attività di polizia giudiziaria incentrate sulla scorretta gestione o sui traffici di rifiuti.

La sicurezza ambientale risulta di estrema attualità e di notevole importanza anche per il buon andamento della vita quotidiana delle città, nonché tema rilevante nell'ottica dell'attuazione delle pratiche dell'economia circolare e dei fondi messi a disposizione per la transizione ecologica dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza¹⁷.

Le problematiche relative ai rifiuti sono caratterizzate da una trasversalità operativa e rappresentano spesso un vulnus in tutto il territorio nazionale, con proiezione criminale all'estero.

Infatti sono quotidiane e molteplici le segnalazioni e gli interventi delle forze dell'ordine relativi a sequestri di siti di discariche abusive, aziende che non gestiscono correttamente i rifiuti, spedizioni transfrontaliere criminali, mezzi che trasportano rifiuti non correttamente identificati, incendi in siti di discarica o di raccolta, o di capannoni abbandonati contenenti depositi illegali di rifiuti.

Le indagini, che su tutto il territorio nazionale rilevano un'incidenza elevata dei reati ambientali, suggerirebbero di porre in essere attività di prevenzione e contrasto da svolgersi con personale altamente specializzato, approfonditamente edotto sia riguardo la normativa ambientale che i fenomeni corruttivi, per sviluppare maggiore consapevolezza dei sempre più significativi ed evidenti interessi da parte della criminalità organizzata verso il settore ambientale.

La corruzione, infatti, è in grado di insinuarsi già nelle prime fasi delle procedure di gara, consentendo una più facile capacità di infiltrazione anche nelle successive esecuzioni degli appalti, con particolare riferimento a subappalti e subcontratti.

5. Strumenti tecnologici per il contrasto agli illeciti ambientali

La complessità crescente dei fenomeni criminali ambientali richiede un'evoluzione delle tecniche investigative e degli strumenti di contrasto, affinché l'intervento penalistico risulti non solo simbolico, ma effettivamente dissuasivo e operativo.

L'ambiente costituisce un bene giuridico dalla struttura diffusa e collettiva, per cui è essenziale dotarsi di mezzi in grado di superare le tradizionali difficoltà probatorie¹⁸.

In questo scenario si inserisce l'impiego di tecnologie avanzate, già previste in ambito processuale penale per altri settori (*cybercrime*, terrorismo, criminalità organizzata), ma ora sempre più rilevanti anche nel campo dei reati ambientali.

Tecniche come la videosorveglianza intelligente, i sistemi GIS (*Geographic Information System*), i droni dotati di sensori, le reti IoT (*Internet of Things*) per il monitoraggio dei parametri ambientali e i software di correlazione dati, rappresentano strumenti potenzialmente decisivi nella lotta contro le condotte illecite a danno dell'ambiente¹⁹.

¹⁷ Cfr. SOMALVICO E., *Gli strumenti di intelligence per il contrasto ai crimini ambientali*, in CISINT - Centro Italiano di Strategia e Intelligence, Unimarconi, Roma, n. 02/2024, pag. 4.

¹⁸ Cfr. TERESI C., *L'AI ACT nell'ottica del processual-penalista: uno sguardo preliminare*, in Rivista penale Diritto e Procedura., 2024.

¹⁹ Cfr. UMMARINO A., *L'utilizzo degli strumenti GIS e delle tecniche di "Crime mapping" per la programmazione dei servizi di vigilanza ambientale*, in Rivista Diritto all'Ambiente, 2021.

Tuttavia, l'efficacia operativa di tali strumenti dipende dalla capacità dell'ordinamento giuridico di disciplinarne adeguatamente l'utilizzo, nel rispetto dei principi costituzionali di legalità, proporzionalità e tutela dei diritti fondamentali.

L'intervento della tecnologia, infatti, non può sostituire le garanzie del giusto processo, ma deve piuttosto integrarsi in un quadro normativo coerente, che consenta l'ammissione della prova tecnologica e la sua valorizzazione nel procedimento penale²⁰.

La transizione verso un sistema di *enforcement* tecnologico impone inoltre un aggiornamento delle competenze degli operatori del diritto, della magistratura e delle forze di polizia ambientale, affinché siano in grado di utilizzare criticamente e consapevolmente gli strumenti offerti dall'innovazione digitale²¹.

In relazione al contesto ambientale, l'IA si presenta come un potente strumento in grado di analizzare, interpretare e correlare una mole crescente di dati provenienti da fonti eterogenee (sensori ambientali, satelliti, dispositivi IoT, open data, banche dati pubbliche)²².

La sua applicazione consente, ad esempio, di rilevare in tempo reale sversamenti illeciti, monitorare la qualità dell'aria, predire il rischio di incendi boschivi, individuare aree sospette di disboscamento o inquinamento tramite immagini satellitari²³.

L'impiego dell'intelligenza artificiale nella sorveglianza ambientale si configura oggi come uno dei principali strumenti per il contrasto alle attività illecite a danno dell'ecosistema.

In particolare, l'IA consente di elaborare immagini satellitari, video di sorveglianza, dati provenienti da sensori e altri input digitali al fine di rilevare situazioni anomale o sospette, con elevato grado di precisione e tempestività.

Tra le applicazioni più diffuse si segnalano i sistemi di videosorveglianza intelligenti, capaci di riconoscere comportamenti anomali nei pressi di aree protette o impianti industriali, nonché i software in grado di mappare in tempo reale variazioni nella qualità dell'aria o dell'acqua, individuando così potenziali fonti di inquinamento²⁴.

Un ruolo di rilievo è svolto dalle tecnologie geospaziali integrate con modelli di *deep learning*, che permettono di analizzare sequenze di immagini satellitari per identificare cambiamenti nell'uso del suolo, deforestazioni non autorizzate, scarichi abusivi o movimenti di mezzi sospetti in aree remote²⁵.

Tali strumenti si rivelano fondamentali per supportare le autorità preposte al controllo del territorio, riducendo i tempi di intervento e aumentando l'efficacia dell'azione preventiva.

Non mancano tuttavia profili problematici legati all'utilizzo massivo di dati personali e alla sorveglianza pervasiva, che impongono una rigorosa disciplina giuridica fondata sui principi di necessità, proporzionalità e minimizzazione dei dati, come previsto dal Regolamento (UE) 2016/679²⁶ e dalla Carta dei diritti fondamentali dell'Unione europea.

²⁰ Cfr. CANESTRARI S., *La prova scientifica nel processo penale: validità e limiti*, Giuffrè, Milano, 2018.

²¹ Cfr. CESARI C., *L'impatto delle nuove tecnologie sulla giustizia penale - un orizzonte denso di incognite*, in Rev. Bras. De Direito Processual penal 2019.

²² Cfr. D'AVANZO W., *Algoritmi, smart cities, metaversi. Etica ambientale ed etica digitale per lo sviluppo sostenibile*, in Rivista DGA, n. 2, 2024.

²³ Cfr. BOTTA G., *Intelligenza artificiale e monitoraggio dei sistemi naturali: alcuni spunti di riflessione per una prospettiva giuridica*, in Rivista Il Diritto dell'economia n.3, 2022.

²⁴ Cfr. BOTTA G., op. cit.

²⁵ Cfr. COZZI P., *Intelligenza artificiale e giustizia ambientale nell'era geologica dell'Antropocene*, in Rivista Tech4Future, 2024.

²⁶ GDPR.

Inoltre, l'affidamento crescente a sistemi automatizzati pone interrogativi circa la responsabilità per eventuali malfunzionamenti o false segnalazioni, rendendo imprescindibile la presenza di un controllo umano significativo (*human oversight*) e di meccanismi di auditabilità dei processi decisionali algoritmici.

6. L'IA come leva operativa di contrasto

La progressiva trasformazione tecnologica della società contemporanea ha inciso profondamente non soltanto sulle modalità di produzione, organizzazione e circolazione delle informazioni, ma anche sulle forme attraverso le quali vengono commessi, individuati e contrastati i fenomeni criminali.

Nel settore ambientale, l'intelligenza artificiale si presenta come uno strumento particolarmente incisivo, poiché consente di analizzare, interpretare e mettere in relazione una massa crescente di dati provenienti da fonti eterogenee, quali sensori ambientali, satelliti, dispositivi IoT, open data e banche dati pubbliche.

Il fenomeno assume una particolare rilevanza nel settore della tutela penale dell'ambiente. La criminalità ambientale, infatti, presenta caratteristiche che rendono particolarmente complessa l'attività di accertamento e repressione²⁷.

La frequente dimensione transnazionale delle condotte, l'elevata capacità organizzativa dei soggetti coinvolti, la dispersione territoriale delle attività illecite, la complessità tecnica degli accertamenti e la difficoltà di individuare tempestivamente il momento consumativo del reato costituiscono soltanto alcuni degli elementi che caratterizzano il moderno fenomeno degli *environmental crimes*²⁸.

Posto ciò, l'IA può essere impiegata per rilevare in tempo reale sversamenti illeciti, controllare la qualità dell'aria, prevedere il rischio di incendi boschivi e individuare aree sospette di disboscamento o di inquinamento mediante immagini satellitari.

L'utilizzo dell'IA nella sorveglianza ambientale costituisce ormai uno dei principali ambiti applicativi nel contrasto alle attività illecite a danno dell'ecosistema.

Questi sistemi permettono di elaborare immagini satellitari, flussi video, dati sensoriali e altri input digitali, così da segnalare anomalie o situazioni sospette con un elevato livello di accuratezza e tempestività.

Tra gli impieghi più significativi rientrano i sistemi di videosorveglianza intelligente, capaci di riconoscere comportamenti anomali nei pressi di aree protette o impianti industriali, e i *software* che monitorano in tempo reale la qualità dell'aria e dell'acqua, consentendo di individuare possibili fonti di inquinamento.

Un ruolo particolarmente rilevante è inoltre svolto dalle tecnologie geospaziali integrate con modelli di *deep learning*, che consentono di analizzare sequenze di immagini satellitari per identificare mutamenti nell'uso del suolo, deforestazioni non autorizzate, scarichi abusivi o movimenti sospetti di mezzi in zone isolate.

Tali applicazioni rafforzano le capacità delle autorità preposte al controllo del territorio, riducendo i tempi di intervento e migliorando l'efficacia dell'azione preventiva.

L'impiego di questi strumenti, però, non è esente da criticità. L'uso massivo di dati personali e il rischio di una sorveglianza pervasiva richiedono una disciplina rigorosa fondata sui principi di necessità, proporzionalità e minimizzazione del dato, secondo quanto previsto dal Regolamento (UE) 2016/679.

²⁷ Cfr. COLUCCIello R., *Green criminology and green crime*, in Rivista giuridica Cammino Diritto, 2023, pag. 5.

²⁸ Cfr. L. WHITE, *Environmental Crime and Collaborative State Intervention*, in Current Issues in Criminal Justice, 2010, pp. 29 ss.

A ciò si aggiunge il problema della responsabilità per errori, malfunzionamenti o false segnalazioni, che rende imprescindibile il mantenimento di un controllo umano effettivo e di adeguati meccanismi di auditabilità dei processi decisionali algoritmici.

In questa prospettiva, l'IA può risultare uno strumento particolarmente efficace solo se inserita in un assetto normativo e istituzionale capace di orientarne l'uso in modo controllato, trasparente e giuridicamente sostenibile.

7. Analisi predittiva, apprendimento automatico e trattamento avanzato dei dati ambientali

L'utilizzo del *machine learning* e dei modelli predittivi rappresenta uno degli ambiti più promettenti dell'applicazione dell'intelligenza artificiale alla tutela ambientale.

I sistemi di apprendimento automatico sono in grado di elaborare grandi quantità di dati storici e in tempo reale, per identificare schemi ricorrenti, anomalie e correlazioni significative tra variabili ambientali, consentendo così di anticipare eventi potenzialmente dannosi.

Tali strumenti trovano applicazione nella previsione di fenomeni naturali estremi (esondazioni, incendi, frane), nella valutazione del rischio industriale e nella gestione del ciclo dei rifiuti.

Ad esempio, modelli predittivi alimentati da dati meteorologici, topografici e climatici possono stimare con buona precisione le probabilità di innesco e propagazione di incendi boschivi, permettendo alle autorità di predisporre piani di intervento preventivo²⁹.

Nel contesto della criminalità ambientale, l'analisi predittiva può essere impiegata per individuare aree geografiche ad alto rischio di reati ecologici, sulla base di indicatori statistici e ambientali (presenza di attività industriali ad alto impatto, precedenti penali, zone di smaltimento rifiuti, prossimità a riserve naturali). Ciò consente una razionalizzazione delle risorse investigative e l'adozione di strategie di sorveglianza più efficaci³⁰.

Il vantaggio competitivo dei modelli di machine learning rispetto agli approcci tradizionali risiede nella loro capacità di apprendere e migliorare nel tempo, ottimizzando le previsioni sulla base di nuovi dati e aggiornando i parametri senza intervento umano diretto.

Tuttavia, l'opacità dei processi decisionali (c.d. *black box*) pone rilevanti problemi di verificabilità, accountability e trasparenza, specie se tali sistemi vengono utilizzati nell'ambito di decisioni pubbliche o procedimenti giudiziari³¹.

Per questo motivo, la dottrina insiste sulla necessità di sviluppare modelli interpretabili (*explainable AI*), nonché di prevedere audit periodici e protocolli di validazione scientifica che garantiscano l'affidabilità e la conformità giuridica degli algoritmi impiegati nella governance ambientale³².

Le reti neurali artificiali rappresentano una delle espressioni più avanzate dell'intelligenza artificiale, essendo capaci di apprendere autonomamente attraverso l'elaborazione multilivello di dati complessi. In ambito ambientale, esse consentono una modellazione accurata dei fenomeni naturali e antropici, migliorando la capacità di previsione e la precisione delle analisi³³.

²⁹ Cfr. MELIOTA G., *Intelligenza Artificiale e Giustizia predittiva*, in Rivista di diritto del risparmio, fasc. 2, 2022.

³⁰ Cfr. DE LUCA A., *Machine learning e decisioni pubbliche in materia ambientale*, in Diritto e Innovazione, 2022.

³¹ Cfr. CAMISA F., *Ambiente e tecnologia: l'interconnessione tra le transizioni gemelle*, in Rivista Federalismi, 2024.

³² Cfr. ZENO-ZENCOVICH V., *Comparative legal systems. A short and illustrated introduction*, Roma, 2019.

³³ Cfr. POLI F., *Reti neurali e ambiente: modelli e applicazioni*, in Diritto e Scienza dei dati, 2022.

Le reti neurali convoluzionali (CNN) vengono comunemente impiegate per l'elaborazione di immagini satellitari e termografiche, favorendo l'identificazione automatizzata di discariche abusive, cambiamenti sospetti nell'uso del suolo, deforestazioni non autorizzate o attività estrattive illecite.

Le reti neurali ricorrenti (RNN), invece, sono particolarmente adatte all'analisi temporale di dati ambientali, come le serie storiche di inquinanti atmosferici o i cicli stagionali delle precipitazioni³⁴.

Tali tecnologie trovano applicazione anche nella gestione delle emergenze ambientali, attraverso l'analisi predittiva del comportamento dei contaminanti, la simulazione di scenari di rischio e la pianificazione ottimizzata delle risorse.

Inoltre, l'analisi automatizzata dei dati provenienti da sensori e stazioni di monitoraggio consente un controllo in tempo reale degli ecosistemi e una rapida identificazione degli scostamenti dai parametri di normalità.

Uno dei principali vantaggi delle reti neurali risiede nella capacità di apprendere da dati non strutturati e di adattarsi a nuovi contesti operativi. Tuttavia, la loro natura opaca solleva interrogativi in merito alla tracciabilità del processo decisionale, alla possibilità di errori sistemici e alla replicabilità dei risultati, soprattutto in ambito giudiziario.

Per garantire un utilizzo conforme ai principi di legalità e trasparenza, è necessario che i sistemi basati su reti neurali siano sottoposti a processi di validazione indipendente, audit algoritmici e regole chiare di *accountability*.

La ricerca giuridica e informatica dovrà dunque convergere verso lo sviluppo di soluzioni tecniche ed etiche condivise, che rendano l'intelligenza artificiale non solo efficace, ma anche giuridicamente sostenibile nel contrasto alla criminalità ambientale.

Le nuove tecnologie stanno favorendo inoltre lo sviluppo di forme di "polizia predittiva", fondate sull'utilizzo di algoritmi e sistemi di intelligenza artificiale diretti a prevedere fenomeni criminali e situazioni di rischio³⁵.

Tale trasformazione tecnologica produce inevitabili conseguenze sull'organizzazione amministrativa. La tutela di beni giuridici fondamentali, come l'ambiente, assume sempre più una dimensione multilivello, nella quale operano soggetti nazionali, europei e sovranazionali, come Europol, Frontex e l'Agenzia per la cybersicurezza nazionale.

8. Esperienze applicative e buone pratiche in ambito europeo e nazionale: casi Perivallon e Savager

La criminalità ambientale, e in particolare la criminalità ambientale organizzata che circonda lo smaltimento, il traffico e/o il commercio illegale di diversi tipi di rifiuti e refrigeranti, provoca danni significativi all'ambiente, al clima e alla salute delle persone, oltre a violare la legislazione vigente e i regolamenti ambientali.

Individuare e prevenire tali crimini ambientali è particolarmente complesso a causa dell'ampia gamma di rifiuti oggetto di scarico, traffico e/o commercio illegale, della necessità di prendere in considerazione e correlare informazioni e prove provenienti da fonti eterogenee, delle numerose autorità coinvolte nella lotta a questo tipo di reati e dalla loro natura transfrontaliera, nonché dallo sfruttamento di attività legali da parte degli attori criminali che operano in quest'area.

³⁴ Cfr. MARTUCCI E., *Deep learning per l'analisi ambientale: stato dell'arte e prospettive*, in *Giur. Amb.*, 2023.

³⁵ Cfr. CIMINI S., *Le nuove frontiere della tutela della sicurezza pubblica*, in *Giornale di diritto amministrativo*, n. 3/2026, pag. 279.

L'efficacia dell'intelligenza artificiale nel contrasto ai crimini ambientali trova conferma anche nei progetti sperimentali e operativi promossi a livello europeo e nazionale.

Tali iniziative rappresentano un banco di prova concreto per testare le potenzialità e i limiti delle tecnologie intelligenti applicate alla tutela dell'ambiente.

Un esempio rilevante a livello europeo è rappresentato dal progetto *Perivallon*³⁶, finanziato dal programma *Horizon Europe*, il cui obiettivo è lo sviluppo di una piattaforma di intelligenza artificiale per il monitoraggio ambientale avanzato, attraverso l'integrazione di dati satellitari, sensori multispettrali e modelli predittivi.

Il sistema è progettato per assistere le autorità pubbliche nella rilevazione precoce di crimini ambientali come deforestazione illegale, scarichi industriali abusivi e traffico transfrontaliero di rifiuti pericolosi.

In particolare, *Perivallon* mira a fornire un quadro di intelligence più completo e completo sulla criminalità organizzata ambientale e a sviluppare strumenti e soluzioni efficaci ed efficienti per rilevare e prevenire tali tipologie di attività criminali e per valutarne l'impatto ambientale, basandosi su tecnologie di intelligence geospaziale, telerilevamento, scansione, monitoraggio online, analisi, correlazione, valutazione del rischio e analisi predittiva, sfruttando i più recenti progressi dell'Intelligenza Artificiale nei campi della visione artificiale e dell'analisi multimodale.

Di conseguenza, si otterranno processi e metodologie di indagine migliorati grazie alle capacità fornite dagli strumenti e dalle soluzioni sviluppati e alle informazioni ottenute tramite un apposito Osservatorio sulla Criminalità Ambientale³⁷, nonché un incremento della cooperazione internazionale tramite il miglioramento della condivisione dei dati reso possibile dalle tecnologie sviluppate e raccomandazioni di policy finalizzate a definire regolamentazioni più efficaci.

In Italia si segnala invece il progetto *Savager*³⁸, sviluppato in collaborazione tra università, centri di ricerca e forze dell'ordine³⁹, che si avvale di algoritmi di machine learning per l'analisi di big data ambientali, con particolare attenzione al contrasto del traffico illecito di rifiuti e delle discariche abusive⁴⁰.

Il progetto prevede anche l'utilizzo di droni autonomi dotati di sensori intelligenti per la sorveglianza aerea delle aree sensibili.

Questi casi di studio dimostrano l'importanza della cooperazione interdisciplinare tra attori pubblici, privati e accademici, nonché la necessità di prevedere un quadro normativo chiaro per l'impiego delle nuove tecnologie in ambito ambientale, affinché l'innovazione non comprometta le garanzie fondamentali dello Stato di diritto⁴¹.

Le *best practices* emerse da tali esperienze suggeriscono che l'intelligenza artificiale può essere realmente efficace se integrata in un ecosistema istituzionale ben progettato, trasparente e dotato di meccanismi di controllo e valutazione costante⁴².

³⁶ *Protecting the European territory from organised environmental crime through intelligent threat detectiontools.*

³⁷ <https://perivallon-he.eu/>.

³⁸ Acronimo di Sorveglianza Avanzata Gestione Rifiuti.

³⁹ In particolare tra Regione Lombardia, Arpa Lombardia, Politecnico di Milano e Comando dei Carabinieri per la Tutela dell'Ambiente e la Transizione Ecologica.

⁴⁰ <https://www.snpambiente.it/2020/12/04/ia-nel-progetto-savager-collaborazione-tra-arpa-lombardia-e-politecnico-di-milano/>.

⁴¹ Ministero della Transizione Ecologica, Report sul Progetto SAVAGER, 2022.

⁴² Cfr. RICCI S., *Tecnologie di avanguardia per la gestione dell'ambiente*, in *Ecoscienza*, n. 4, 2024.

È auspicabile, in tal senso, una standardizzazione europea delle tecnologie AI impiegate nel contrasto ai reati ambientali, sulla base di criteri condivisi di efficacia, legalità e rispetto dei diritti fondamentali.

9. Questioni aperte: diritti, dati, responsabilità e trasparenza algoritmica

L'impiego dell'intelligenza artificiale nel contrasto ai crimini ambientali, pur offrendo opportunità significative, solleva una serie di criticità giuridiche che non possono essere trascurate.

La più evidente concerne la compatibilità tra l'uso delle tecnologie intelligenti e i diritti fondamentali garantiti dalle carte costituzionali e sovranazionali.

In primo luogo, l'utilizzo di sistemi di sorveglianza automatizzata e di raccolta massiva di dati ambientali e personali comporta il rischio di violazione del diritto alla privacy e alla protezione dei dati personali, disciplinato in Europa dal GDPR⁴³.

La raccolta e l'elaborazione di tali dati devono avvenire nel rispetto dei principi di liceità, correttezza, trasparenza, minimizzazione e limitazione della conservazione, con particolare attenzione alle categorie particolari di dati e ai diritti degli interessati.

Un primo nodo riguarda la qualità e l'affidabilità dei dati utilizzati per addestrare gli algoritmi. La presenza di dataset incompleti, distorti o non aggiornati può compromettere l'efficacia dei sistemi predittivi e generare discriminazioni, falsi positivi o errori sistemici che incidono negativamente sull'azione penale².

Da ciò discende l'esigenza di definire standard rigorosi in materia di data governance, trasparenza dei flussi informativi e controllo della filiera dei dati⁴⁴.

Un secondo profilo critico riguarda la trasparenza e l'intelligibilità degli algoritmi. Spesso i sistemi di intelligenza artificiale - in particolare quelli basati su *deep learning* - operano come "scatole nere" (*black box*), rendendo difficile per gli utenti e per le autorità giudiziarie comprendere il processo decisionale sottostante.

Ciò mina i principi di prevedibilità e controllabilità dell'azione amministrativa e giurisdizionale, fondamentali in uno Stato di diritto⁴⁵.

Un ulteriore aspetto problematico attiene alla distribuzione della responsabilità in caso di errori, discriminazioni algoritmiche o malfunzionamenti. L'attribuzione della responsabilità penale, civile o amministrativa in ambito IA è ancora oggetto di dibattito dottrinale e giurisprudenziale. In mancanza di norme specifiche, si rischia un vuoto di tutela, specie quando il sistema agisce in modo autonomo e non controllato da operatori umani⁴⁶.

In realtà in dottrina sono state azzardate diverse tesi. C'è chi osserva che la responsabilità contrattuale, disciplinata dagli artt. 1218 e seguenti c.c., sia più adatta a rappresentare le peculiarità del rischio derivante dai sistemi di intelligenza artificiale rispetto al regime aquiliano, precisando che, in base a un'esegesi evolutiva condotta in una prospettiva prettamente tecnologica, tale impostazione si presterebbe alla costruzione di un impianto risarcitorio potenzialmente altrettanto automatico⁴⁷.

⁴³ Regolamento (UE) 2016/679.

⁴⁴ Cfr. TROMBELLÀ D., *Decisioni algoritmiche e discriminazioni: lo stato dell'arte*, in Rivista di Diritto dei Media, 2024.

⁴⁵ Cfr. DE MINICO G., *Giustizia e Intelligenza Artificiale: un equilibrio mutevole*, in Rivista AIC, n. 2, 2024.

⁴⁶ Cfr. SASSI S., *Gli algoritmi nelle decisioni pubbliche tra trasparenza e responsabilità*, in Analisi Giuridica dell'Economia, fasc. 1, 2019.

⁴⁷ Cfr. C. FERRARI, *Esecuzione del contratto e intelligenza artificiale*, in deiustitia.it, 2024, par. 2.

Altri puntualizzano che la responsabilità contrattuale potrebbe soccorrere solo laddove sussista effettivamente una relazione tra il fornitore del servizio di intelligenza artificiale e l'utilizzatore⁴⁸.

Alcuni ipotizzano l'applicazione dell'art. 1228 c.c., in materia di responsabilità per il fatto dell'ausiliario, assumendo che si possa configurare una relazione terzo (i.e. sistema di intelligenza artificiale) - debitore (i.e. soggetto che ne fa uso per fornire un prodotto od un servizio), relazione appunto richiesta dall'art. 1228 c.c.

Gli orientamenti maggioritari in dottrina tendono però a ricondurre la responsabilità derivante dall'impiego dell'intelligenza artificiale nell'ambito della responsabilità extracontrattuale⁴⁹.

In particolare, si ritiene, in un'ottica di distribuzione del rischio, che il regime di responsabilità aquiliana che più si adatta al fenomeno è quello più rigoroso della responsabilità oggettiva.

Infine, vi è il tema del controllo pubblico e della supervisione dei sistemi intelligenti. Il principio dell'*human oversight*, già previsto dalla proposta di Regolamento europeo sull'IA⁵⁰, impone che le decisioni automatizzate siano sempre soggette a verifica da parte di soggetti umani qualificati, con possibilità di intervento correttivo.

Ciò implica la necessità di formare adeguatamente i funzionari pubblici e i magistrati, affinché siano in grado di comprendere e valutare criticamente l'operato delle tecnologie impiegate.

Occorre inoltre interrogarsi sui potenziali effetti di una delega eccessiva all'automazione nel settore della giustizia penale ambientale.

Il rischio è quello di una tecnocrazia repressiva, in cui le decisioni giuridiche siano de facto orientate da criteri probabilistici, anziché da valutazioni umane fondate su principi costituzionali, equità e discrezionalità interpretativa⁵¹.

In sintesi, l'impiego dell'IA nella repressione dei crimini ambientali deve essere accompagnato da un solido impianto regolatorio, che bilanci l'efficienza tecnologica con la tutela dei diritti fondamentali, garantendo trasparenza, responsabilità e controllo democratico.

10. Scenari evolutivi dell'IA nella giustizia ambientale europea

L'impiego dell'intelligenza artificiale nella tutela ambientale si inserisce a pieno titolo nel quadro delle politiche europee orientate alla sostenibilità e alla transizione ecologica.

La convergenza tra transizione verde e transizione digitale rappresenta, infatti, uno degli assi strategici fondamentali dell'azione dell'Unione europea, nella consapevolezza che il raggiungimento degli obiettivi climatici e ambientali richieda non soltanto interventi normativi e politiche economiche adeguate, ma anche l'impiego di strumenti tecnologici avanzati capaci di migliorare la conoscenza dei fenomeni ambientali, la prevenzione dei rischi, l'individuazione delle condotte illecite e l'effettività delle attività di controllo e repressione.

Il *Green Deal* europeo, presentato dalla Commissione nel dicembre 2019, rappresenta il pilastro strategico dell'Unione per raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, promuovendo un uso più

⁴⁸ Cfr. MARINO D., *Che responsabilità civile per l'uso di strumenti di intelligenza artificiale?*, in Dirittoaldigitale.com, 23 marzo 2023; e sullo stesso argomento ACETO DI CAPRIGLIA S., *Intelligenza artificiale: una sfida globale tra rischi, prospettive e responsabilità. Le soluzioni assunte dai governi unionale, statunitense e sinico. Uno studio comparato*, in federalismi.it, 2024, 10.

⁴⁹ Cfr. CIMINI S., op. cit. pag. 41.

⁵⁰ AI Act.

⁵¹ Cfr. MANES V., *L'oracolo algoritmico e la giustizia penale: al bivio tra tecnologia e tecnocrazia*, in Rivista Discrimen, 2020.

efficiente delle risorse naturali e una riduzione drastica dell'impatto ambientale delle attività antropiche.

La strategia europea non si esaurisce, tuttavia, nella riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, ma coinvolge una pluralità di settori strettamente interconnessi: dalla protezione della biodiversità all'economia circolare, dalla prevenzione dell'inquinamento alla tutela delle acque e degli ecosistemi marini, dalla mobilità sostenibile alla trasformazione dei sistemi produttivi ed energetici.

L'elaborazione automatizzata di enormi quantità di dati, l'utilizzo di immagini satellitari, l'impiego di sistemi di telerilevamento, sensori, droni e piattaforme digitali integrate consentono di individuare anomalie, prevedere situazioni di rischio e rilevare fenomeni illeciti con una rapidità e una capacità di analisi difficilmente raggiungibili attraverso i soli strumenti tradizionali.

L'intelligenza artificiale può, pertanto, rappresentare un importante strumento di supporto per le autorità amministrative, gli organi di vigilanza, le forze di polizia e le autorità giudiziarie impegnate nella prevenzione e nel contrasto della criminalità ambientale. Attraverso sistemi algoritmici adeguatamente progettati e sottoposti a un effettivo controllo umano è possibile, ad esempio, analizzare le trasformazioni del territorio, individuare fenomeni di deforestazione o abusivismo edilizio, monitorare gli scarichi nelle acque, ricostruire le rotte dei traffici illeciti di rifiuti, identificare comportamenti anomali delle navi e rilevare attività di pesca illegale.

La prospettiva futura, tuttavia, non può essere limitata alla mera dimensione repressiva. L'impiego dell'intelligenza artificiale apre scenari particolarmente significativi anche rispetto alla costruzione di un modello più avanzato di giustizia ambientale.

Il concetto di "*environmental justice*", infatti, non si limita alla repressione dei crimini ambientali, ma include anche il diritto delle comunità a vivere in un ambiente salubre, a essere informate, consultate e coinvolte nei processi decisionali che riguardano il territorio e la salute pubblica.

In questa prospettiva, le tecnologie di intelligenza artificiale potrebbero contribuire alla progressiva costruzione di una giustizia ambientale maggiormente accessibile, preventiva e partecipativa. L'analisi automatizzata dei dati ambientali potrebbe, ad esempio, consentire di individuare precocemente le aree territoriali maggiormente esposte ai rischi derivanti dall'inquinamento industriale, dalla gestione illecita dei rifiuti o dagli effetti dei cambiamenti climatici.

La disponibilità e la corretta elaborazione di tali informazioni potrebbero migliorare la capacità delle amministrazioni pubbliche di programmare gli interventi, distribuire le risorse e individuare le situazioni nelle quali le conseguenze del degrado ambientale ricadono in misura sproporzionata sulle comunità socialmente ed economicamente più vulnerabili.

L'adozione dell'AI *Act* da parte delle istituzioni europee, attualmente in fase avanzata, costituirà un momento fondamentale per definire i limiti e le opportunità dell'intelligenza artificiale nei settori ad alto rischio, tra cui quello ambientale⁵².

Il regolamento prevede, tra l'altro, obblighi specifici in materia di sicurezza, trasparenza, documentazione tecnica, gestione del rischio e supervisione umana, con l'obiettivo di costruire un ecosistema europeo affidabile e sicuro per lo sviluppo dell'IA.

L'utilizzo delle tecnologie algoritmiche comporta, tuttavia, anche rilevanti criticità. L'efficienza tecnologica non può trasformarsi in una progressiva sostituzione della decisione umana, né può giustificare forme di automatizzazione incompatibili con i principi dello Stato di diritto. L'opacità dei

⁵² Cfr. FIMIANI P.-SGORBATI G., *Intelligenza artificiale ed illeciti ambientali*, in Rete Ambiente-Osservatorio Normativa ambientale, 2025.

sistemi algoritmici, il rischio di discriminazioni derivanti da dati incompleti o non rappresentativi, la difficoltà di individuare le responsabilità connesse all'utilizzo dei sistemi automatizzati e la possibile compressione dei diritti di partecipazione e difesa impongono l'elaborazione di adeguate garanzie normative.

In prospettiva, è auspicabile che le tecnologie intelligenti siano integrate in una strategia di *governance* ambientale multilivello, fondata sui principi di legalità, trasparenza, equità intergenerazionale e coesione sociale.

Le potenzialità dell'IA potranno così essere pienamente valorizzate per promuovere una giustizia ambientale sostanziale, in grado di ridurre le disuguaglianze, proteggere i beni comuni e rafforzare la resilienza dei sistemi naturali e delle comunità umane.

Solo un approccio olistico e partecipato alla transizione digitale e verde consentirà di realizzare gli obiettivi del *Green Deal*, coniugando innovazione, diritti e sostenibilità.

11. Considerazioni conclusive

L'analisi condotta nel presente contributo ha evidenziato come l'intelligenza artificiale rappresenti uno strumento di grande rilievo per il contrasto ai crimini ambientali, offrendo soluzioni avanzate per il monitoraggio, la prevenzione e la repressione delle condotte illecite.

Le potenzialità applicative dell'IA si estendono dalla sorveglianza territoriale tramite immagini satellitari all'elaborazione di modelli predittivi, fino all'utilizzo di reti neurali per l'analisi automatizzata di dati ambientali complessi.

Tuttavia, tali prospettive devono essere accompagnate da una riflessione critica sul piano normativo, etico e istituzionale.

L'intelligenza artificiale non può essere considerata una panacea, bensì uno strumento che necessita di regole chiare, garanzie adeguate e un controllo umano costante.

La protezione dei dati personali, la trasparenza degli algoritmi, la responsabilità delle decisioni automatizzate e la tutela dei diritti fondamentali devono essere al centro di ogni politica pubblica che intenda impiegare tecnologie intelligenti nel campo ambientale.

L'evoluzione del diritto penale ambientale, alla luce dei più recenti strumenti normativi europei (come la proposta di nuova direttiva sui reati ambientali e l'*AI Act*), impone un ripensamento delle categorie giuridiche tradizionali, nonché una maggiore apertura interdisciplinare tra giuristi, ingegneri, informatici e decisori pubblici⁵³.

Questa prospettiva, basata anche sulla presa d'atto di quanto sta avvenendo praticamente in ogni altro campo delle attività umane, è ineludibile. Essa deve essere di conseguenza adeguatamente gestita, a partire dalla consapevolezza degli aspetti critici connessi all'impiego di sistemi di IA e dalla conoscenza ed implementazione degli aspetti abilitanti per l'uso di tali sistemi.

L'affidabilità di un sistema di IA, concetto complesso condizionato da numerosi fattori, è comunque un fattore critico, da gestire con adeguata attenzione, visto il potenziale impatto di decisioni errate assunte tramite IA.

Gli aspetti fondamentali dell'analisi svolta in questo studio, riassunti in queste conclusioni, portano a individuare aree di lavoro che si ritiene opportuno attivare al più presto, per favorire l'adozione, in

⁵³ Cfr. PAULESU P.P., *Intelligenza artificiale e giustizia penale. Una lettura attraverso i principi*, in *Archivio Penale*, n. 1, 2022.

Italia, di sistemi di sistemi di IA nel campo della assicurazione della conformità e della giurisdizione anche penale dell'ambiente, nel rispetto degli aspetti etici e tecnici presidiati dall'*AI Act*.

In definitiva, la sfida sarà quella di costruire una *governance* dell'intelligenza artificiale orientata alla giustizia ambientale, che sia al tempo stesso efficace e rispettosa dello Stato di diritto.

Solo attraverso un approccio integrato e multidimensionale sarà possibile coniugare innovazione tecnologica, tutela dell'ambiente e salvaguardia dei diritti fondamentali in una prospettiva di sostenibilità autentica e duratura.