

ecoscienza

SOSTENIBILITÀ E CONTROLLO AMBIENTALE

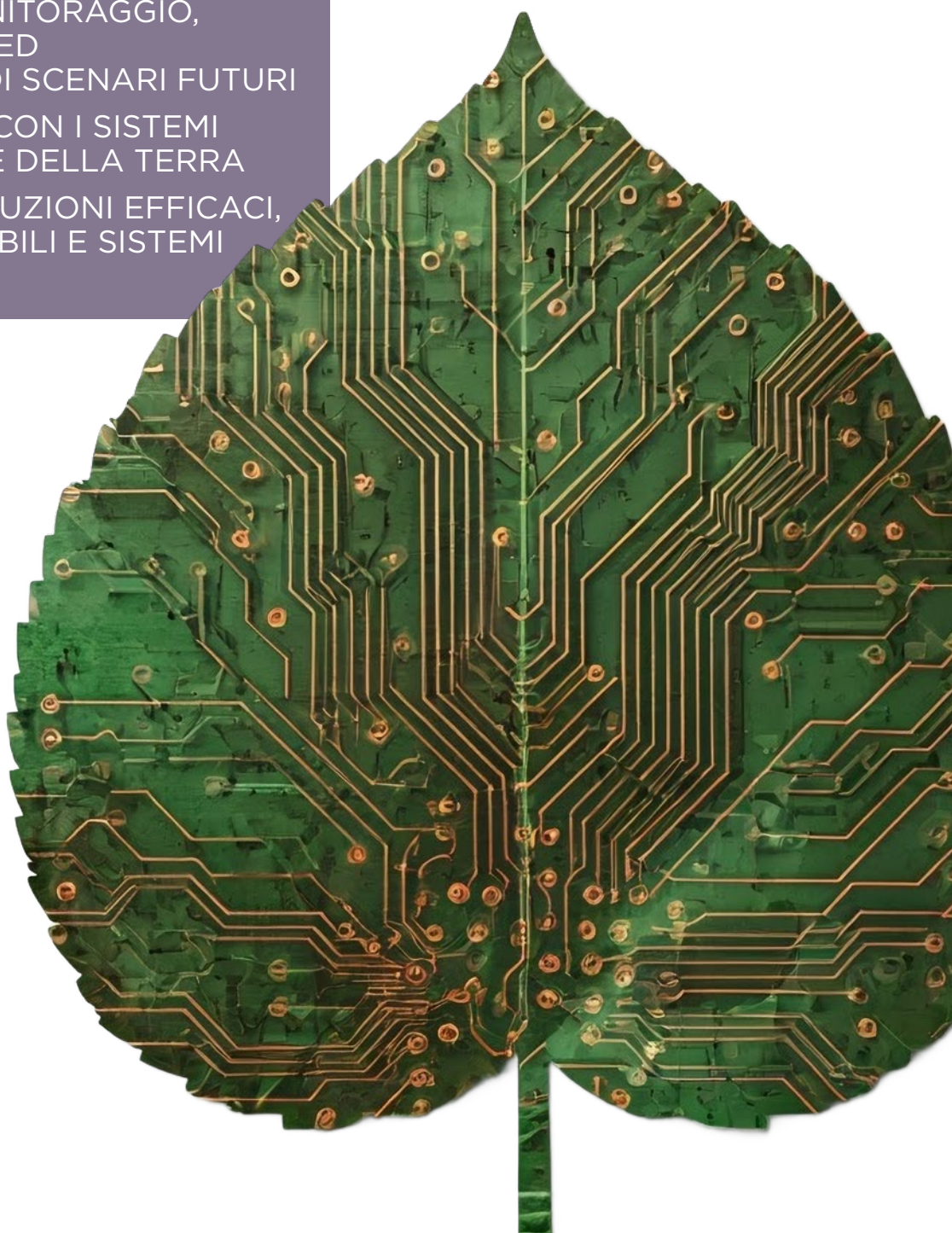
Rivista di Arpae
Agenzia regionale
prevenzione, ambiente ed energia
dell'Emilia-Romagna
N° 4, ottobre 2024, anno XV

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER L'AMBIENTE

LE GRANDI POTENZIALITÀ PER
CONTROLLO, MONITORAGGIO,
ANALISI DEI DATI ED
ELABORAZIONE DI SCENARI FUTURI

L'INTEGRAZIONE CON I SISTEMI
DI OSSERVAZIONE DELLA TERRA

LE SFIDE PER SOLUZIONI EFFICACI,
RISPOSTE AFFIDABILI E SISTEMI
EQUI E INCLUSIVI





Raccontare l'ambiente attraverso le parole più significative, spesso ritenute poco comprensibili e chiare. Termini scientifici che, invece di suscitare resistenze, prendono vita e costituiscono il punto di partenza per la narrazione di storie ambientali quotidiane e di attualità.

I podcast sono disponibili **gratuitamente sulle principali piattaforme audio** (Spotify, Spreaker, Apple Podcasts, Google Podcasts) e sul **canale YouTube di Arpae**.

Ogni puntata affronta un tema ambientale, nella convinzione che anche argomenti complessi possano essere spiegati in maniera semplice ma rigorosa.

Episodi già disponibili:



INTELLIGENZA ARTIFICIALE E CONTROLLO AMBIENTALE

Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale (Ia) ha guadagnato terreno in molti settori, e il controllo e monitoraggio ambientale non fa eccezione. Le tecnologie Ia, come l'apprendimento automatico e l'analisi dei dati, offrono opportunità straordinarie per migliorare l'efficienza e l'efficacia delle Agenzie ambientali nel monitoraggio della qualità dell'aria, dell'acqua e della biodiversità. Tuttavia, con queste potenzialità emergono anche rischi significativi che richiedono attenzione e gestione.

Le Agenzie ambientali possono beneficiare enormemente dall'uso dell'Ia in diversi modi. In primo luogo, l'Ia consente una raccolta e analisi dei dati più efficiente. Queste agenzie devono gestire enormi volumi di dati provenienti da sensori, satelliti e report locali, e l'Ia può automatizzare gran parte di questo processo, permettendo una valutazione più rapida e accurata delle condizioni ambientali. Algoritmi di *machine learning* possono identificare modelli e tendenze nei dati, facilitando così una comprensione più profonda delle problematiche in atto.

Un altro vantaggio significativo dell'Ia è la sua capacità di predire eventi ambientali avversi. Attraverso modelli predittivi, le Agenzie possono anticipare fenomeni come alluvioni o incendi,

consentendo una risposta tempestiva e una pianificazione più efficace. Questi strumenti possono contribuire a ridurre i danni ambientali e a migliorare la gestione delle risorse naturali.

In aggiunta, l'Ia consente un monitoraggio continuo delle condizioni ambientali, migliorando la capacità di rilevare anomalie e violazioni delle normative. Questo approccio proattivo favorisce non solo la conformità alle leggi ambientali, ma ottimizza anche l'uso delle risorse, riducendo costi e sprechi. Inoltre, l'Ia può migliorare la comunicazione dei dati ambientali al pubblico e alle parti interessate. Attraverso visualizzazioni interattive e reportistica automatizzata, le Agenzie possono rendere le informazioni più accessibili e comprensibili, aumentando la consapevolezza pubblica sulle problematiche ambientali.

Tuttavia, nonostante i benefici, l'integrazione dell'Ia nel monitoraggio ambientale presenta anche rischi e sfide che non possono essere trascurati. Gli algoritmi di Ia dipendono dai dati con cui vengono addestrati e, se questi dati contengono bias o informazioni incomplete, i risultati possono risultare fuorvianti. Questo è particolarmente critico nel campo ambientale, dove decisioni errate possono avere conseguenze devastanti. Inoltre, l'uso di

tecnologie di monitoraggio avanzate può sollevare preoccupazioni sulla privacy, spingendo le Agenzie a bilanciare la necessità di monitorare l'ambiente con i diritti dei cittadini, evitando pratiche di sorveglianza invasive.

L'implementazione di sistemi di Ia richiede anche investimenti significativi in tecnologia e formazione, e non tutte le Agenzie ambientali dispongono delle risorse necessarie per adottare e mantenere queste tecnologie in modo efficace. Infine, la dipendenza dall'Ia solleva interrogativi su affidabilità e responsabilità. In caso di errori o malfunzionamenti, chi è responsabile? È fondamentale stabilire chiare linee guida per l'uso dell'Ia, garantendo che ci sia sempre un intervento umano nella decisione finale.

In sintesi, l'intelligenza artificiale offre alle Agenzie ambientali un potente strumento per migliorare il monitoraggio e la gestione ambientale. I benefici in termini di efficienza, previsione e comunicazione sono significativi e possono contribuire a una maggiore protezione dell'ambiente. Tuttavia, è fondamentale affrontare i rischi e le sfide associate a queste tecnologie con una visione critica e responsabile. Solo così si potrà realizzare il pieno potenziale dell'Ia per un futuro più sostenibile e resiliente.

Il testo riportato sopra non è stato redatto da un autore umano. È il risultato di un prompt inserito sulla versione gratuita di ChatGpt (lo strumento di intelligenza artificiale generativa sviluppato da OpenAi): "Scrivi un editoriale di circa 3000 caratteri su potenzialità e rischi dell'uso dell'intelligenza artificiale nel campo del controllo e monitoraggio ambientale. Evidenzia quali sono i benefici per le Agenzie ambientali".

Trattando il tema dell'intelligenza artificiale in questo numero di Ecoscienza, ci è sembrato interessante fare questo esperimento. Il risultato è per certi versi sorprendente e testimonia l'evoluzione di questo tipo di strumenti in relativamente poco tempo: il testo prodotto è ben strutturato, con un linguaggio adeguato, una serie di argomentazioni credibili e senza errori grossolani come talvolta avviene (le cosiddette "allucinazioni" dei sistemi di Ia). Allo stesso tempo, il testo non brilla di originalità e non propone riflessioni particolarmente stimolanti: la mancanza di originalità era prevedibile e il risultato potrebbe sicuramente essere migliorato dando indicazioni più dettagliate o qualche input più preciso.

In ogni caso, non sorprende che anche nel campo della comunicazione scientifica si stia diffondendo questo tipo di strumenti: un testo come questo, redatto in pochi secondi, può essere una buona base di partenza per un articolo o una presentazione. Non da solo e non senza una buona dose di conoscenze pregresse e di ragionamento per fornire un contributo che non sia banale e semplicemente compilativo, ma si tratta comunque di un supporto che può trovare una certa utilità e non può mancare di suscitare domande e dibattiti.

Questo per quanto riguarda il campo della redazione di testi. Per un primo sguardo alle prospettive dell'utilizzo dell'intelligenza artificiale e dell'apprendimento automatico in campo ambientale, vi invitiamo invece a leggere i contributi (umani) che seguono. Si tratta di alcune riflessioni preliminari sulle potenzialità molto interessanti delle nuove tecnologie, in parte già esistenti e applicate per una più agevole elaborazione delle sempre crescenti quantità di dati a disposizione, in parte ancora da sviluppare e testare.

Stefano Folli, direttore responsabile di Ecoscienza

L'INTELLIGENZA
ARTIFICIALE
PER L'AMBIENTE

LE GRANDI POTENZIALITÀ PER
CONTROLLO, MONITORAGGIO
ANALISI DEI DATI ED
ELABORAZIONE DI SCENARI FUTURI
L'INTEGRAZIONE CON I SISTEMI
DI OSSERVAZIONE DELLA TERRA
LE SFIDE PER SOLUZIONI EFFICACI,
RESPONDE AFFIDABILI E SISTEMI
FOI E INCLUSIVI



Rivista di Arpae Numero 4 • Anno XV
Agenzia regionale Ottobre 2024
prevenzione, ambiente ed
energia dell'Emilia-Romagna

arpae
agenzia
prevenzione
ambiente energia
emilia-romagna

DIRETTORE DIRETTORE RESPONSABILE
Giuseppe Bortone Stefano Follì

Segreteria: In redazione:
Ecoscienza, redazione Daniela Merli
Via Po, 5 40139 - Bologna Barbara Galzigna
Tel 051 6223887
ecoscienza@arpae.it

COMITATO EDITORIALE
Coordinatore
Eriberto De' Munari
Paola Angelini
Raffaella Angelini
Giuseppe Battarino
Vito Belladonna

Stampa
Premiato stabilimento
tipografico dei comuni
Santa Sofia (FC)

Registrazione Trib. di Bologna
n. 7988 del 27-08-2009

Francesco Bertolini
Gianfranco Bologna
Giuseppe Bortone
Roberto Coizet
Nicola Dall'Olio
Paolo Ferrecchi
Matteo Mascia
Michele Munafò
Giancarlo Naldi
Giorgio Pineschi
Attilio Raimondi
Karl Ludwig Schibel
Andrea Segrè
Stefano Tibaldi
Alessandra Vaccari



Tutti gli articoli, se non altrimenti specificato,
sono rilasciati con licenza Creative Commons
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Chiuso in redazione: 24/10/2024

Stampa su carta
Cocoon Offset



RICICLATO
Carta prodotta da
materiale riciclato
FSC® C107186

SOMMARIO

- 3 Editoriale
**Intelligenza artificiale
e controllo ambientale**

Intelligenza artificiale

- 6 **L'intelligenza artificiale
per il sistema Italia**
Mario Nobile
- 8 **L'intelligenza artificiale
per il futuro sostenibile**
Carmine Dodaro, Fabrizio Lo Scudo,
Marco Maratea
- 10 **Supercalcolo, IA
e sostenibilità ambientale**
Matteo Angelinelli
- 12 **Le capacità trasformative
dell'IA su vita e lavoro**
Claudio Becchetti
- 14 **Intelligenza blu per
le aree marino-costiere**
Elisa Furlan, Federica Zennaro, Angelica Bianconi,
Christian Simeoni, Elena Allegri, Vuong Pham, Maria
Katherina Dal Barco, Silvia Torresan, Andrea Critto
- 16 **L'osservazione della Terra
in continua evoluzione**
Fabio Del Frate
- 18 **Tecnologie di avanguardia
per la gestione dell'ambiente**
Sabrina Ricci
- 21 **Obiettivo dati ambientali
più accessibili a tutti**
Guido Scatena, Simona Ciattoni
- 24 **Monitoraggio dell'ambiente
tramite il programma Iride**
Luca Congedo, Michele Munafò, Andrea Taramelli
- 26 **L'IA per il monitoraggio
del territorio**
Giulia Cecili
- 29 **Le prospettive dell'IA
in meteorologia**
Thomas Gastaldo, Carlo Cacciamani,
Alessandra De Savino
- 32 **L'utilizzo del machine learning
in meteorologia**
Intervista a Florence Rabier a cura dell'Ecmwf

- 34 **Unu-AI e la leadership
nell'IA etica e inclusiva**
Tshilidzi Marwala

- 36 **L'innovazione sociale
al servizio della comunità**
Roberto Righetti

- 38 **Intelligenza artificiale
e comunicazione scientifica**
Luca Carra, Sergio Cima

- 40 **Snpa e l'uso dei droni
per il monitoraggio ambientale**
Serena Geraldini, Umberto Morra di Cella,
Alessandro Loda, Antonio Iengo, Roberto Greco,
Antonella Zanella, Gianluca Ragone

- 44 **Droni e ambiente: le attività
messe in campo da Arpae**
Francesca Di Nicola, Daniele Chinè Milieri,
Adele Lo Monaco

Attualità

- 47 **Sostenibilità per la salute
e l'ambiente nei porti italiani**
Alessandra Fabri, Ivano Iavarone

- 50 **Metafore e modelli
per il cambiamento sostenibile**
Paolo Tamburini

- 52 **Il piano di comunicazione
per la narrazione ambientale**
Stefano Martello

Rubriche

- 54 **Eco-logos**
La matrice indigena e la normativa
ambientale biocentrica
Federica Falancia

- 56 **Legislazione news**
57 **Osservatorio ecreati**
58 **Mediateca**



DA NUOVE INTELLIGENZE, NUOVE RESPONSABILITÀ

Le potenzialità dell'intelligenza artificiale per il controllo ambientale

In un'intervista al *New York Times*, Geoffrey Hinton ha detto che i chatbot "sono piuttosto spaventosi" e se anche un premio Nobel per la fisica ha paura dell'intelligenza artificiale, ce ne sarebbe abbastanza per chiudere questo numero qui e darsela a gambe levate.

Ma nonostante i dubbi, i timori e le incertezze, le tante vie dell'intelligenza artificiale sono già in costruzione e hanno già disvelato nuove possibilità e migliorato tecniche e conoscenze.

Le prossime pagine raccontano di come l'Ia stia ad esempio contribuendo a migliorare la qualità della sempre crescente quantità di dati per il monitoraggio, per la ricerca e il controllo ambientale o alle azioni per ottimizzare l'uso dell'energia e dell'acqua, per ridurre l'inquinamento nelle città e prevedere eventi meteo e climatici estremi.

Nuove frontiere si aprono ed emerge la necessità di accompagnarne lo sviluppo con responsabilità e con una grande

attenzione alla comunità, all'etica e all'equità. Così come è sempre più lampante che non basta un'iperspecializzazione e che occorrono, invece, un approccio e una conoscenza interdisciplinari, frutto di collaborazioni e confronto costante tra tutte le scienze e le discipline sociali, politiche, giuridiche e informatiche, perché si sviluppi un'intelligenza artificiale al servizio del bene comune e utile alla transizione ecologica.

E poi c'è il grande tema del *know-how*: come ottenere e usare informazioni non solo più accurate e tempestive, ma anche standardizzate, integrate e usabili; l'addestramento degli algoritmi; la formazione continua che deve coinvolgere sia chi lavora con l'Ia (dal personale e tecnici specializzati, ai giornalisti e comunicatori, ai decisori politici) sia chi è destinato a esserne influenzato (i cittadini e, in particolari, i giovani, che vivranno i prossimi anni in un mondo con molte più potenzialità, ma anche con maggiori complessità e rischi).
(BG)

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER IL SISTEMA ITALIA

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE È UN'IMPORTANTE OPPORTUNITÀ PER RAFFORZARE LA COMPETITIVITÀ, PROMUOVERE L'INNOVAZIONE E MIGLIORARE LA QUALITÀ DEI SERVIZI OFFERTI. NODI CRUCIALI PER IL SUCCESSO SONO LA QUALITÀ DEI DATI, LA PRESENZA DI ELEVATE COMPETENZE, LA RICERCA AVANZATA E UNA BUONA STRATEGIA DI CONTROLLO E GOVERNO.

L'intelligenza artificiale rappresenta un'importante opportunità per rafforzare la competitività e promuovere l'innovazione in diversi settori della società, migliorando l'efficienza e la qualità dei servizi offerti e stimolando la crescita economica. Grazie alla capacità di elaborazione di grandi quantità di dati, all'individuazione di pattern e alle previsioni di trend, offre strumenti innovativi per affrontare le sfide sempre più complesse del nostro tempo.

Come ogni innovazione, sono diversi gli aspetti che entrano in gioco e che non possiamo non considerare, come evidenziato dal vivace dibattito che si registra a livello globale.

Nell'ambito della digitalizzazione l'Italia ha compiuto progressi significativi, anche grazie agli ingenti fondi del Pnrr destinati alla transizione digitale. Ne sono prova alcuni numeri: quasi 39 milioni di Spid attivi, oltre 47 milioni di Cie e più di 16 milioni di caselle di posta elettronica certificata attive.

Con riferimento all'intelligenza artificiale, questa ha avuto un forte impatto sull'organizzazione dei processi delle aziende del settore privato e delle pubbliche amministrazioni. L'Italia

sta facendo progressi significativi nell'adozione dell'Ia, ma ci sono ancora aree in cui è necessario migliorare.

Innanzitutto, un aspetto fondamentale riguarda la qualità del dato. Nella cosiddetta *data economy*, dove la quantità crescente di dati e le relative informazioni rappresentano la risorsa più importante, garantirne la qualità risulta un presupposto cruciale per poterne sfruttare appieno le potenzialità. I dataset definiscono sia la qualità sia l'efficacia dei modelli di intelligenza artificiale, ed è quindi necessario assicurarsi che siano accurati, completi e ben strutturati. L'utilizzo di dati non corretti può avere numerose conseguenze negative, specialmente nei casi in cui gli output dei sistemi di Ia vengano utilizzati per prendere decisioni critiche. Pensiamo, per esempio, ai dati utilizzati per il monitoraggio ambientale in tempo reale che, grazie a modelli di apprendimento in sistemi di Ia, possono prevedere eventi naturali come alluvioni, frane e incendi boschivi con maggiore accuratezza, permettendoci di mettere in atto misure preventive ed eventualmente di emergenza più efficaci.

Disporre di dataset di alta qualità è,

quindi, fondamentale per utilizzare modelli precisi, garantire risultati affidabili e prendere decisioni informate. Per raggiungere questo obiettivo è necessario realizzare una chiara *data governance*, con una particolare attenzione anche ai temi della privacy e della sicurezza informatica.

Un secondo fattore chiave è rappresentato dalle competenze, uno degli ambiti in cui il nostro Paese deve lavorare maggiormente per allinearsi agli Stati più avanzati. L'ultima rilevazione Istat, per esempio, ha evidenziato come nel 2023 solo il 45,9% degli adulti sia in possesso di competenze digitali adeguate. Il nostro obiettivo non è solo quello di riuscire ad avere personale altamente specializzato nella produzione e gestione di tecnologie, ma di investire sia nell'alta formazione sia in forme più immediate di informazione/formazione, rivolte a tutte le fasce della popolazione, per rendere le persone consapevoli della tecnologia che stanno utilizzando. Differente è, invece, la situazione della ricerca scientifica italiana, estremamente vivace, dinamica e di riconosciuto valore internazionale. La *Strategia italiana per l'Italia per l'intelligenza artificiale 2024-2026*, redatta da un comitato di esperti e recentemente

presentata da Agid e dal Dipartimento per la trasformazione digitale, le dedica ampio spazio e individua diverse iniziative per contribuire all'aumento delle competenze nel nostro Paese.

Si parte da un aumento degli investimenti, con un focus particolare su partenariati pubblico-privati, collaborazioni tra università, centri di ricerca e imprese, finanziamento di progetti per attrarre talenti e offrire opportunità di sviluppo professionale; e si prosegue sulla formazione, promuovendo percorsi di *reskilling* e *upskilling* dedicati ai lavoratori sia pubblici che privati.

Competenze ed efficacia tecnologica, da soli, però, non bastano se non si ha una buona strategia che possa governarli. I sistemi di intelligenza artificiale possono avere diverse forme e architetture, per esempio essere centralizzati, decentralizzati, proprietari, *open source*. Risulta quindi necessario definire regole chiare in merito all'affidabilità di questi modelli al fine di garantirne la trasparenza e il rispetto dei diritti fondamentali dei cittadini nonché delle informazioni sensibili delle imprese. Questo non significa dover conoscere nel dettaglio gli algoritmi, quanto invece riuscire a tracciare il processo che porta da determinati input a determinati output, specialmente in ambiti sensibili come quello della salute. Molti modelli vengono definiti *black box* in quanto il loro output risulta imprevedibile anche ai loro stessi sviluppatori. Per ovviare a queste eventualità, l'utilizzo di strumenti e meccanismi di controllo e di *accountability*, come previsti dall'art. 9 della Convenzione quadro del Consiglio d'Europa sull'intelligenza artificiale, possono contribuire a rendere i modelli di Ia più trasparenti e affidabili, elemento cruciale per un loro utilizzo etico, responsabile e sicuro.

Infine, l'Italia, insieme agli altri Stati membri dell'Ue, deve creare un ecosistema fertile per imprese e startup, con l'obiettivo di sviluppare modelli e sistemi di Ia innovativi: non possiamo essere solo un Paese di grandi consumatori di Ia, ma dobbiamo rapidamente diventare un Paese in grado di realizzare applicazioni che avranno ricadute positive sul tessuto sociale, produttivo e imprenditoriale.

Investire sulla qualità del dato, sulle competenze e sulle applicazioni permetterà di iniziare ad aggredire la catena del valore dell'intelligenza

AGID E I PROGETTI PNRR

AGID | Agenzia per l'Italia Digitale

Agid è soggetto attuatore di iniziative e progetti del Piano nazionale di ripresa e resilienza dedicati alla digitalizzazione e alla transizione digitale. Inoltre, svolge anche funzione di supporto tecnico e informativo per l'attuazione di alcuni interventi e programmi. Il 27% delle risorse totali del Pnrr sono dedicate alla transizione digitale: da un lato sono previsti interventi per le infrastrutture digitali e la connettività a banda ultra larga, dall'altro quelli volti a trasformare e innovare la pubblica amministrazione in chiave digitale.

Nell'ambito del Pnrr, Agid è soggetto attuatore di queste misure di digitalizzazione:

- la misura 1.3.2 dedicata allo Sportello digitale unico (*single digital gateway*): con un investimento di 90 milioni di euro, ha lo scopo di rispondere alle esigenze di incrementare la mobilità dei cittadini e delle imprese tra Paesi europei, è un incentivo alla modernizzazione e alla semplificazione dei servizi e delle procedure amministrative della pubblica amministrazione e allo sviluppo di strategie di *e-government* tese a migliorare i rapporti con gli utenti
- la misura 1.4.2 sull'accessibilità dei servizi pubblici digitali (*citizen inclusion*): l'investimento pari a 80 milioni di euro ha come obiettivo il miglioramento dell'accessibilità dei servizi pubblici digitali per tutti i cittadini, anche in linea con quanto previsto dalla direttiva europea 2016/2102 e dalla legge 4/2004.

Oltre alle misure di cui è soggetto attuatore, Agid svolge supporto nell'ambito delle seguenti misure:

- Inad, Indice nazionale dei domicili digitali
- Suap&Sue (Sportello unico per le attività produttive e per l'edilizia)
- Sistema di certificazione dell'identità digitale dei beni culturali.

artificiale, che in questo momento è caratterizzata da un mercato *winner-takes-all*, dove i primi ad arrivare conquistano la maggiore fetta di mercato e la tempestività risulta un fattore determinante. La Commissione europea, consapevole di questa dinamica, ha di recente lanciato una *call* per la creazione di fabbriche di intelligenza artificiale, con il fine di stimolare il mercato e incentivare l'innovazione, supportando le giovani imprese tramite finanziamenti e risorse. Le fabbriche di intelligenza artificiale saranno create attorno alla rete di supercomputer europei ad alte prestazioni (EuroHpc) e saranno messe a disposizione di startup, industria e ricercatori. L'obiettivo è creare un ecosistema competitivo e dinamico, capace di competere a livello globale e di posizionare l'Europa come leader nel settore dell'Ia.

L'intelligenza artificiale può apportare un contributo significativo anche alla pubblica amministrazione, migliorando i processi, aumentando l'efficienza dei servizi e ottimizzando l'uso delle risorse pubbliche, ad esempio, automatizzando compiti ripetitivi e liberando risorse. A questo proposito, Agid ha introdotto per la prima volta nel *Piano triennale*

per l'informatica nella Pa 2024-2026 una sezione dedicata all'intelligenza artificiale, fornendo indicazioni e principi generali che dovranno essere adottati dalle amministrazioni e declinati in fase di applicazione, tenendo in considerazione lo scenario in rapida evoluzione. Agid ha anche avviato una prima mappatura delle *best practice* di alcune amministrazioni, mettendole a disposizione delle altre 23 mila Pa, in modo da condividere processi e soluzioni, e ne sta avviando una seconda, più dettagliata, per raccogliere informazioni sugli ulteriori progetti che utilizzano tecnologie di Ia, sia attualmente in uso che in fase di sviluppo, in modo da replicare i casi di successo ed evitare quelli problematici.

Solo attraverso un approccio integrato e coordinato, l'Italia potrà sfruttare appieno le opportunità offerte dall'intelligenza artificiale, posizionandosi tra i leader di questo settore strategico e garantendo al contempo benefici per cittadini e imprese.

Mario Nobile

Direttore generale,
Agenzia per l'Italia digitale (Agid)

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER IL FUTURO SOSTENIBILE

È CRUCIALE PROMUOVERE LO SVILUPPO DI MODELLI DI IA AFFIDABILI, TRASPARENTI E RISPONDENTI AI PRINCIPI DI RESPONSABILITÀ SOCIALE E SOSTENIBILITÀ. LE NUOVE TECNOLOGIE POSSONO ESSERE IN GRADO DI OTTIMIZZARE L'USO DELL'ENERGIA, DEFINIRE AZIONI PER RIDURRE L'INQUINAMENTO E PREVEDERE EVENTI CLIMATICI ESTREMI.

L'intelligenza artificiale (Ia) è una delle principali tecnologie in grado di cambiare in modo drastico la nostra società.

La capacità dei sistemi di Ia di analizzare in modo rapido enormi quantità di dati e di automatizzare diversi processi umani mostra caratteristiche potenzialmente rivoluzionarie in diversi ambiti nel settore pubblico e privato.

Per quanto riguarda l'Italia, che ha una lunga tradizione industriale e manifatturiera, l'integrazione delle tecniche principali di Ia rappresenta una sfida fondamentale per rafforzare la competitività economica e migliorare la qualità della vita.

Tuttavia, questi obiettivi devono essere raggiunti attraverso una visione *human-centered* dell'Ia, che sia al servizio del benessere delle persone e della società e che rivolga una particolare attenzione agli aspetti etici. Infatti, la tecnologia non

deve essere neutra, ma espressamente orientata verso un miglioramento delle condizioni sociali e ambientali, nel rispetto della privacy e dei diritti delle persone. Per queste ragioni è cruciale promuovere lo sviluppo e l'adozione di modelli di Ia che siano affidabili e trasparenti e che rispondano ai principi europei di responsabilità sociale e sostenibilità.

Nel contesto attuale, quindi, l'obiettivo è quello di migliorare la competitività delle imprese e di rendere più efficienti i servizi pubblici affrontando, allo stesso tempo, sfide sociali di grande rilevanza. In particolare, l'Ia dovrà essere utilizzata per tutelare i diritti delle generazioni future, contribuendo a un modello di sviluppo che preservi il patrimonio naturale e culturale italiano e che contribuisca al raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile promossi dall'Agenda 2030 delle Nazioni unite.

La visione strategica nazionale

Nel documento programmatico *Strategia italiana per l'intelligenza artificiale 2024-2026*¹, si è delineata una strategia che mira a rendere l'Italia tra i principali leader europei nel campo dell'Ia e che individua quattro aree strategiche:

- ricerca, attraverso la promozione di investimenti in ricerca di base e applicata e la collaborazione tra aziende e centri di ricerca
- pubblica amministrazione, in cui l'Ia dovrà essere utilizzata per migliorare l'efficienza amministrativa
- imprese, attraverso la definizione di attività volte ad aumentare lo sviluppo e l'utilizzo di soluzioni di Ia per migliorare i processi esistenti e per creare nuove opportunità di crescita
- formazione, attraverso gli incentivi agli insegnamenti universitari e ai percorsi



interdisciplinari, al potenziamento di percorsi tecnici come il dottorato nazionale in Intelligenza artificiale e la promozione di corsi di formazione rivolti all'intera cittadinanza e ai diversi settori produttivi per l'acquisizione delle nuove competenze e il potenziamento di quelle esistenti.

Queste azioni strategiche si collocano all'interno di un quadro più ampio di azioni sostenibili e devono, di conseguenza, valutare alcuni fattori interconnessi tra cui i temi relativi all'ambiente e alla sostenibilità.

L'intelligenza artificiale al servizio dell'ambiente

Le tecnologie di Ia moderne possono contribuire a migliorare la gestione delle risorse naturali ed essere strumenti efficaci alla lotta al cambiamento climatico. I possibili campi di applicazione sono numerosi. Infatti, attraverso l'analisi automatica dei dati e le tecnologie di ragionamento automatico, l'Ia può essere in grado di ottimizzare l'uso dell'energia, anche dando priorità all'utilizzo di fonti di energia rinnovabile, come il solare e l'eolico, di definire azioni per ridurre i tassi di inquinamento e di prevedere eventi climatici estremi. Inoltre, tali sistemi possono contribuire anche alla gestione sostenibile dei rifiuti e delle risorse idriche. Negli ultimi anni, in linea con gli obiettivi del *green deal* europeo, l'Italia sta promuovendo la transizione verso un sistema energetico basato su fonti rinnovabili. Si può facilitare questa transizione attraverso la gestione intelligente delle reti energetiche, che permette di creare un equilibrio tra la domanda e l'offerta di energia in modo da ridurre gli sprechi e migliorare l'efficienza. Un altro settore molto importante è quello della mobilità sostenibile. L'Ia, infatti, può ottimizzare i trasporti pubblici, riducendo in tal modo il traffico, e migliorare quelli commerciali dal punto di vista logistico, diminuendo nettamente le emissioni dei gas serra. Per quanto riguarda il settore agricolo, l'Ia consente di ridurre l'impatto ambientale dell'agricoltura intensiva ottimizzando l'utilizzo di acqua e fertilizzanti.

Il programma di ricerca e innovazione Tech4You

Tech4You (*Technologies for climate change adaptation and quality of life improvement*)² è un programma di ricerca



FOTO: ESCHENZWEIG - WIKIMEDIA - CC BY-SA 4.0

e innovazione che propone la creazione di un ecosistema per l'innovazione composto da università, centri di ricerca, aziende private ed enti pubblici del Sud Italia. Il programma, finanziato dal *Next generation Eu* - Pnrr, ha come obiettivo lo sviluppo di tecnologie per l'adattamento alla crisi climatica.

In questo contesto, abbiamo intrapreso diverse attività che utilizzano tecniche di Ia per il raggiungimento degli obiettivi ambientali.

La prima attività è nell'ambito dei veicoli autonomi connessi, che hanno le potenzialità per definire un cambio radicale nella mobilità urbana e nel controllo del traffico.

Infatti, l'integrazione della connettività e delle capacità di guida autonoma nei veicoli dovrebbe portare significativi benefici, come la riduzione degli incidenti, la diminuzione delle emissioni e il risparmio di tempo. Inoltre, questi veicoli offrono la possibilità di utilizzare l'Ia per supportare i controllori del traffico urbano in modi innovativi. Ad esempio, i controllori possono raccogliere e gestire informazioni in tempo reale sui flussi di veicoli presenti in una determinata area controllata e possono influenzare direttamente il traffico indicando ai veicoli il percorso migliore da seguire per raggiungere la loro destinazione. Tale percorso può essere scelto in base a diversi criteri, come il tempo di percorrenza, la riduzione delle emissioni o la minimizzazione del rischio di incidenti.

La stima del rischio dipende da molteplici fattori, come il meteo, la scarsa illuminazione, l'ora del giorno, il numero di incroci e le caratteristiche delle strade. Questi fattori, uniti all'elevato numero di veicoli all'interno dell'area, possono aumentare il rischio di incidenti e compromettere la sicurezza dei passeggeri.

In questo contesto abbiamo introdotto un framework basato su Ia³ per gestire in modo automatico il percorso ottimale dei veicoli all'interno di un'area di controllo, utilizzando un approccio che permette di ridurre i tempi di percorrenza e di minimizzare i rischi di incidenti.

La seconda attività è nel contesto delle comunità energetiche, con l'obiettivo di promuovere l'autoproduzione di energia da fonti rinnovabili. In particolare è stato sviluppato un sistema in due fasi, finalizzato a massimizzare il consumo interno dell'energia generata e a ottimizzare lo scambio con la rete nazionale, tenendo conto delle fluttuazioni dei prezzi energetici. Nella prima fase, aggregando dati storici e ambientali, due modelli di Ia stimano rispettivamente la produzione di energia elettrica tramite pannelli fotovoltaici e il consumo complessivo della comunità. Le previsioni generate vengono poi processate da un algoritmo che massimizza l'autoconsumo.

Carmine Dodaro, Fabrizio Lo Scudo, Marco Maratea

Dipartimento di Matematica e Informatica, Università della Calabria

NOTE

¹ www.agid.gov.it/sites/agid/files/2024-07/Strategia_italiana_per_l_Intelligenza_artificiale_2024-2026.pdf

² www.tech4youcarl.it

³ Cardellini M., Dodaro C., Maratea M., Vallati M., 2023, "A framework for risk-aware routing of connected vehicles via artificial intelligence", *Ieee 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (Itsc)*, Bilbao, Spain, 2023, pp. 5008-5013, doi: 10.1109/ITSC57777.2023.10422165

SUPERCALCOLO, IA E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PUÒ ESSERE USATA SIA PER MIGLIORARE L'EFFICIENZA E LA SOSTENIBILITÀ DELLE CITTÀ SIA PER SALVAGUARDARE L'AMBIENTE NATURALE. CINECA COLLABORA AI PROGETTI ARBÖRIA, SUL VERDE URBANO, E WEATHER4ENERGY, CHE STUDIA GLI IMPATTI DEI FENOMENI METEOROLOGICI SULLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA.

Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale (Ia) ha dimostrato un enorme potenziale in una moltitudine di settori, tra i quali uno dei più promettenti è sicuramente quello della gestione dell'ambiente naturale e urbano. Grazie alla capacità di analizzare grandi quantità di dati in tempo reale, l'Ia può diventare uno strumento fondamentale per prevenire disastri ambientali, monitorare il cambiamento climatico e ottimizzare l'utilizzo delle risorse naturali [1]. Una delle applicazioni dell'intelligenza artificiale in questo ambito è la creazione di *digital twin* delle città, modelli virtuali che riproducono fedelmente lo sviluppo e le dinamiche urbane, con un approccio che sta rivoluzionando il modo in cui monitoriamo e gestiamo lo spazio pubblico [2]. Oltre a permettere di tenere traccia delle modifiche strutturali, facilitando una gestione più sostenibile delle città, i gemelli digitali aiutano anche i decisori a prevedere l'effetto delle possibili scelte, fornendo simulazioni reali degli impatti delle modifiche proposte. In campo ambientale, l'Ia può predire con grande precisione eventi come frane, inondazioni e incendi, permettendo così di intervenire tempestivamente e prevenire danni ingenti [3]. Monitorando l'utilizzo delle risorse, come l'acqua e l'energia, l'Ia può ottimizzare i consumi, riducendo sprechi e contribuendo alla sostenibilità a lungo termine. Allo stesso tempo, grazie agli algoritmi specifici, si possono analizzare immagini satellitari o da droni per rilevare cambiamenti nel territorio, come deforestazioni illegali, espansioni urbane incontrollate e altre attività umane che possono compromettere l'equilibrio ambientale. In questo contesto, Cineca ha in corso diverse collaborazioni e partecipa a diversi progetti che, combinando innovazione tecnologica e potenza di calcolo, stanno dimostrando l'importanza dell'impiego dell'intelligenza artificiale per migliorare il modo in cui viviamo e gestiamo le

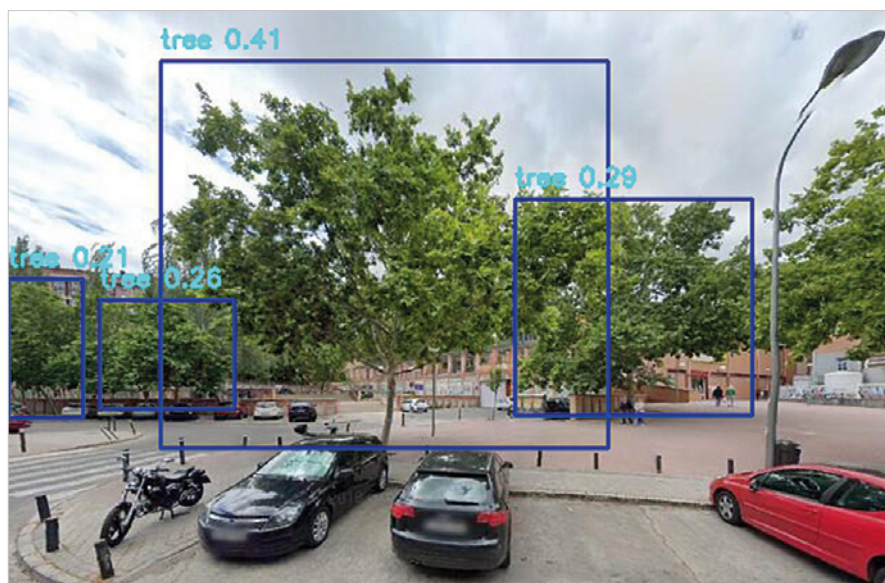


FIG. 1 IMMAGINE SCARICATA DA GOOGLE STREET VIEW E PROCESSATA ALL'INTERNO DEL PROGETTO ARBÖRIA. Gli algoritmi utilizzati permettono un'identificazione automatica degli alberi presenti nell'immagine. I riquadri blu rappresentano i limiti spaziali identificati dall'algoritmo, mentre le scritte azzurre riportano l'oggetto identificato (in questo caso alberi) e la probabilità espressa in decimali che questi oggetti siano effettivamente quelli richiesti in fase di definizione dell'algoritmo.

nostre città e l'ambiente che le circonda. Tra questi rientrano in particolare due progetti. Il primo è Arböria, dove il focus è il verde urbano e che ha visto la sua conclusione alla fine del 2023; il secondo è Weather4Energy, progetto nazionale che vede impegnati diversi partner e il cui scopo è quello di studiare gli impatti che i fenomeni meteorologici possono avere sulla produzione di energia elettrica da fonti sostenibili e su infrastrutture chiave come autostrade e rete elettrica.

Il progetto Arböria, esperimento spagnolo proposto da Föra - *Forest technologies*, sviluppato in collaborazione con Cineca e Ceader e finanziato grazie al progetto europeo Euhubs4data, si propone di migliorare la gestione delle aree verdi urbane utilizzando dati aperti e tecnologie avanzate. Lo scopo principale è quello di identificare e localizzare gli alberi in ambiente urbano tramite l'uso di dati Lidar, immagini aeree a colori Rgb e infrarossi e Google street view. L'obiettivo finale è ottenere una classificazione e una

mappatura delle specie arboree, il tutto cercando di automatizzare il più possibile l'intero processo. La mappatura degli alberi presenti in contesti urbani viene svolta utilizzando osservazioni Lidar [4], le quali misurano la distanza dagli oggetti attraverso impulsi laser e generano una nuvola di punti con coordinate tridimensionali. Le immagini aeree e a livello stradale, come quelle di Google street view [5], sono invece utilizzate per migliorare la precisione della localizzazione degli alberi (figura 1). Infine, immagini multispettrali, come quelle all'infrarosso, sono impiegate per classificare la vegetazione e integrare le informazioni raccolte. Questi dati vengono elaborati attraverso algoritmi di *computer vision* e *deep learning*, come le reti neurali convoluzionali [6], allo scopo di automatizzare la rilevazione e l'estrazione delle metriche valutative. I risultati del progetto evidenziano l'efficacia di queste tecnologie nel mappare e classificare gli alberi urbani, come dimostrato anche da un esperimento

condotto sulla città spagnola di Pamplona che ha ridotto del 7,24% le false rilevazioni nella mappatura, migliorando quindi la precisione di rilevazione degli alberi. Inoltre, per quanto riguarda la classificazione delle specie, nell'ambito del progetto è stato creato un dataset di oltre 22.000 immagini utilizzato per allenare un modello di intelligenza artificiale in grado di identificare automaticamente diverse specie arboree [4].

In conclusione, Arböria rappresenta una soluzione efficace automatizzata per l'inventario degli alberi in contesti urbani, capace di fornire dati accurati e aggiornati in modo efficiente. Sono già allo studio possibili estensioni di questo progetto, con l'obiettivo di migliorare ulteriormente la precisione e la capacità di classificazione degli alberi, permettendo quindi un risparmio economico e fornendo un utile supporto alle amministrazioni che si troveranno a dover programmare la gestione del verde pubblico in un prossimo futuro.

Weather4Energy (al quale collaborano Autostrade, Cnr, Cineca, Enea, Eni, Engineering, Ifab, Illumia, Politecnico di Bari, Terna e Università di Firenze) nasce dalla necessità di affrontare le sfide poste dalla crescente dipendenza dell'Italia dalle energie rinnovabili, come l'energia solare, eolica e idroelettrica, che rappresentano circa il 40% della capacità installata complessivamente nel Paese. Queste fonti di energia sono intrinsecamente volatili, poiché dipendono dalle condizioni meteorologiche a breve e lungo termine, e ciò ha un impatto significativo sull'infrastruttura energetica.

Gli obiettivi del progetto sono duplici: da un lato, migliorare la capacità di previsione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili; dall'altro, simulare i rischi futuri per l'infrastruttura autostradale e per la catena di approvvigionamento energetico a causa del cambiamento climatico e dei fenomeni estremi a esso collegati.

Le tecnologie chiave utilizzate sono molteplici e includono approcci propri delle scienze meteorologiche e nuovi approcci legati allo sviluppo dell'intelligenza artificiale. In particolare, dal punto di vista della modellazione meteorologica si stanno usando modelli di previsione numerica, come il modello Cosmo [8] e il modello Moloch [9], che forniscono previsioni a breve termine con una risoluzione spaziale fino a 1,5 km (figura 2).

Successivamente, le previsioni di questi modelli vengono combinate con modelli climatici a lungo termine per proiettare

scenari di rischio idrogeologico e impatti sulle infrastrutture sotto analisi. Uno degli elementi più innovativi del progetto è l'uso di tecniche di *machine learning* e intelligenza artificiale per migliorare la precisione delle previsioni meteorologiche a breve termine e poter quindi avere un risultato migliore quando si usano queste previsioni come input per modelli a più ampio respiro temporale.

A oggi il progetto è a metà della sua vita, ma i primi risultati mostrano chiaramente come gli approcci innovativi che sono in fase di sviluppo in questo progetto consentono di avere previsioni più dettagliate e accurate, aspetti che permetteranno una migliore gestione delle infrastrutture chiave interessate e che consentiranno anche di contrastare alcuni degli effetti che il cambiamento climatico avrà su queste infrastrutture.

L'intelligenza artificiale sta rapidamente diventando un alleato fondamentale nella lotta contro i cambiamenti climatici e nella gestione delle risorse urbane e ambientali. I progetti in corso stanno già dimostrando come l'ia possa essere impiegata non solo per migliorare l'efficienza e la sostenibilità delle città, ma anche per salvaguardare l'ambiente naturale. Man mano che queste tecnologie evolvono, il loro impatto positivo sull'ambiente e sulle nostre vite è via via sempre più evidente, segnando un passo importante verso un futuro più sostenibile.

Matteo Angelinelli

Hpc data engineer, Data management and analytics Hpc, Cineca

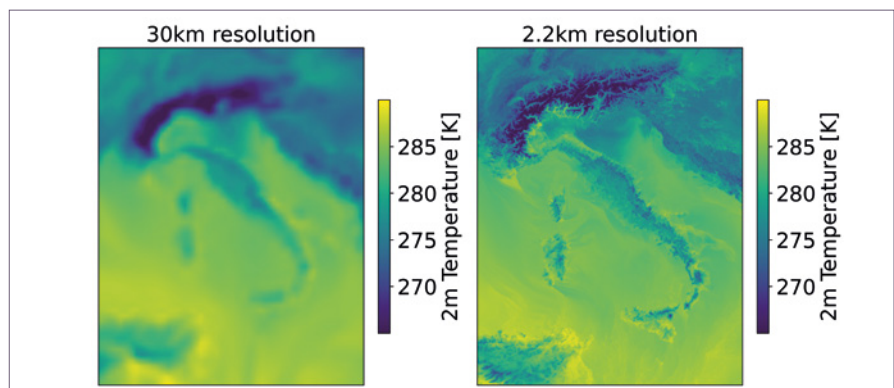


FIG. 2 IMMAGINE PRODOTTA ALL'INTERNO DEL PROGETTO WEATHER4ENERGY

Previsioni meteorologiche per lo stesso istante temporale per la temperatura a 2 m da suolo (variabile standard delle analisi meteorologiche ed espressa in gradi Kelvin) ottenute con un modello globale la cui risoluzione è 30 km per ogni pixel a sinistra e la stessa grandezza ottenuta con il modello Cosmo la cui risoluzione spaziale è 2,2 km a destra.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Rapinel S., Hubert-Moy L., Clément B., "Special Issue on earth observation for habitat mapping and biodiversity monitoring", 2015, *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 37, 56.
- [2] "Bologna avrà un gemello digitale", sito web del Comune di Bologna, www.comune.bologna.it/notizie/gemello-digitale
- [3] Nasa and Ibm openly release geospatial AI foundation model for Nasa Earth observation data, sito web di Earth Data - Nasa, www.earthdata.nasa.gov/news/impact-ibm-hls-foundation-model
- [4] Calvert J.G., *Pure and applied chemistry*, 1990, 62, 2167.
- [5] Angelov D., Dulong C., Filip D. et al., 2010, "Google Street View: Capturing the world at street level", *Ieee - Computer*, 2010, 43, 32.
- [6] Albawi S., Mohammed T. A., Al-Zawi S., "Understanding of a convolutional neural network", in *2017 International conference on engineering and technology (Icet) - Ieee*, 2017, 1-6.
- [7] Angelinelli M., Barrer C., García Pascual B., Pedrazzi G., "Arböria: An open-data-based urban tree inventory tree solution improved by AI optimization", 2024, in prep.
- [8] Cosmo 2l model setup, Arpa, 2020, <https://www.cosmo-model.org/content/tasks/operational/cosmo/arpa-simc/default.htm>
- [9] Mariani S., Casaioli M., Coraci E., Malguzzi P., "A new high-resolution Bolam-Moloch suite for the Simm forecasting system: assessment over two HyMeX intense observation periods", 2015, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 1-24, <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1-2015>

LE CAPACITÀ TRASFORMATIVE DELL'IA SU VITA E LAVORO

L'IMPATTO INNOVATIVO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE SI ESTENDERÀ A MOLTI SETTORI, TRA CUI L'AMBIENTE: STRATEGIE DI CONSERVAZIONE DELLA BIODIVERSITÀ, MIGLIORE GESTIONE DELLE RETI ENERGETICHE, OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE SONO SOLO ALCUNE DELLE APPLICAZIONI IPOTIZZABILI, TRA TANTE POSSIBILITÀ OGGI ANCORA INESPLORATE.

L'intelligenza artificiale (Ia) è destinata a rivoluzionare il nostro modo di vivere e lavorare; secondo Gartner¹, l'Ia avrà un impatto paragonabile a quello di internet e del world wide web².

L'effetto di tale tecnologia può essere paragonato a un sasso lanciato in un lago: non è tanto il "rumore" iniziale di ChatGpt a fare la differenza, quanto le onde che si propagano e creano effetti di primo e secondo ordine.

Entro il 2025 l'Ia sarà un partner virtuale dei lavoratori nel 90% delle organizzazioni³ ed entro il 2030 l'80% delle persone interagirà quotidianamente con smart robot⁴.

Questo impatto si estende a tutti i settori, inclusa l'area ambientale. In questo contesto, l'Ia può esercitare un'influenza rilevante in diverse aree⁵.

Esaminando per esempio la biodiversità, l'Ia può collegare dati provenienti da diverse fonti, come immagini satellitari, dati climatici e attività industriali, per fornire una visione chiara della perdita di biodiversità e delle possibili azioni di risposta. Questo aiuta a progettare interventi per favorire la biodiversità e sviluppare strategie di conservazione mirate, come l'identificazione di luoghi ottimali per i corridoi faunistici o la lotta al bracconaggio illegale⁶.

Nell'ambito dell'energia, l'Ia può migliorare la trasparenza e la verifica dei crediti di carbonio, rendendo questi mercati più affidabili. L'Ia può anche ottimizzare la gestione energetica, migliorando l'efficienza delle reti e riducendo gli sprechi. Ad esempio, può prevedere i picchi di domanda energetica e ottimizzare la distribuzione delle risorse, contribuendo a ridurre le emissioni di carbonio.

Entro il 2028, il 25% delle aziende globali, inclusi i membri del Ftse 100 e del Fortune 500, utilizzerà l'Ia per



ottimizzare i percorsi di riduzione delle emissioni verso la completa neutralità carbonica.

L'Ia può migliorare la trasparenza e la responsabilità delle organizzazioni, riducendo il rischio di *greenwashing* e aumentando la fiducia degli *stakeholder*. Attraverso una migliore modellazione dei dati, è possibile semplificare i processi di reporting e verificare obiettivi e target di sostenibilità. Secondo una recente analisi, entro il 2025, il 40% delle grandi organizzazioni utilizzerà l'Ia per migliorare la sostenibilità e ridurre l'impatto ambientale.

Nella pianificazione urbana, questa tecnologia può offrire un valido supporto prevedendo tendenze future, ottimizzando l'uso delle risorse e simulando scenari per comprendere meglio i rischi e le opportunità. Gli strumenti basati sulla intelligenza artificiale possono combinare dati multistrutturati provenienti da fonti governative con analisi geospaziali e requisiti ambientali per creare piani

urbani più sostenibili e resilienti. Inoltre, l'Ia può aiutare a progettare città più verdi, identificando le aree migliori per la piantumazione di alberi e la creazione di spazi verdi, contribuendo a migliorare la qualità dell'aria e a ridurre l'effetto isola di calore⁷.

Nella gestione delle risorse idriche si prevede un aumento della diffusione di questa tecnologia del 30% nei prossimi cinque anni, contribuendo a minimizzare le perdite e a migliorare l'efficienza nell'uso delle risorse idriche. La capacità dell'Ia di analizzare grandi quantità di dati in tempo reale può aiutare a monitorare il consumo dell'acqua permettendo interventi tempestivi e mirati⁸.

Queste aree evidenziate definiscono solo alcune applicazioni ipotizzabili a oggi. Il vero impatto si manifesterà attraverso le applicazioni "trasformative", ossia attraverso attività attualmente non realizzabili che l'Ia abiliterà.

Per comprendere appieno il potenziale dell'intelligenza artificiale, è utile suddividere le attività umane in tre categorie. La prima area comprende le attività in cui l'Ia, dimostrando una maggiore efficacia rispetto agli esseri umani, porta alla progressiva eliminazione di specifici lavori. Un esempio storico può essere trovato negli anni '90, quando le attività di dattilografia sono state sostituite dall'uso dei pc. Oggi e in prospettiva possiamo considerare in questa area le attività di creazione di contenuti di base, le traduzioni, le analisi dei dati o la revisione e correzione di testi.

La seconda categoria comprende le attività che possono essere eseguite più rapidamente e con maggiore qualità grazie all'Ia. Un esempio rilevante è rappresentato dalle attività di analisi e creazione di elaborati, come per esempio nel caso delle ricerche in campo ambientale. In questi casi, l'intelligenza artificiale amplifica le capacità umane, consentendo risultati più rapidi e accurati. Infine, la terza categoria riguarda le attività trasformatrici, che promettono di avere l'impatto più significativo. Le applicazioni trasformatrici dell'Ia apriranno nuove possibilità, rendendo fattibili compiti fino a oggi considerati irrealizzabili.

Un esempio molto recente di tecnologia trasformatrice è rappresentato dagli strumenti basati sull'intelligenza artificiale generativa, che dialogano con modalità difficilmente distinguibili da quelle umane, grazie alle loro capacità empatiche e alla velocità nelle risposte. Questi assistenti virtuali, alimentati da dati provenienti da tutto il web e in grado di rispondere nello stesso dialogo in decine di lingue diverse, sono già disponibili sui nostri dispositivi mobili. In base ai test effettuati su *benchmark* ed esami universitari, la loro capacità di rispondere in modo accurato e informato è oggi paragonabile a quella di persone con un dottorato di ricerca. Fino a qualche mese fa, il loro livello non superava quello degli studenti del primo anno di università. Questa velocità di miglioramento fa prospettare in futuro ulteriori notevoli applicazioni in tutti i settori. Negli anni '90, l'avvento di pc e internet ha fatto intuire enormi potenzialità ma difficilmente si potevano immaginare la creazione di società come Amazon, Google e Facebook, che oggi valgono oltre cinque trilioni di dollari e hanno trasformato il nostro modo di vivere e lavorare. Come allora, anche oggi, possiamo solo intuire e sperimentare usi

promettenti dell'Ia per l'ambiente per avere il massimo dell'impatto. In tale contesto, si prevede che entro il 2036, la tecnologia dell'Ia genererà oltre mezzo miliardo di nuovi posti di lavoro netti⁹.

Le innovazioni associate alla Ia, pur nelle loro evidenti criticità, non solo miglioreranno la nostra efficienza, ma apriranno anche nuove frontiere di opportunità. Tuttavia, è necessaria una postura proattiva, monitorando costantemente il panorama tecnologico per introdurre nuove modalità per avvantaggiarsi di queste innovazioni. A differenza del passato, dove i salti tecnologici avvenivano in anni, oggi le innovazioni si susseguono a ritmi di mesi o settimane, rendendo rapidamente obsolete alcune attività umane, ma aprendo significative nuove opportunità. In conclusione, mentre le applicazioni attuali dell'Ia possono già avere un impatto significativo in diversi settori come per esempio nell'ambiente, il vero potenziale risiede nelle sue capacità trasformatrici. Queste innovazioni non solo miglioreranno la nostra efficienza, ma apriranno anche nuove frontiere di

possibilità, ridefinendo il modo in cui affrontiamo problemi complessi e attività quotidiane.

Claudio Becchetti

Gartner

NOTE

¹ Gartner è una società di ricerca fondata nel 1979 con circa 5,9 miliardi di dollari di fatturato.

² Gartner, *7 disruptions to help prioritize digital innovation, 2023-2028*, Nov. 2023.

³ Gartner, *Defining AI and setting realistic expectations*, April 2024.

⁴ Gartner, *Emerging technologies: AI roadmap for smart robots*, Oct. 2023.

⁵ Gartner, *9 environmental implications of generative AI*, Oct. 2023.

⁶ Gartner, *Quick answer: how can AI address biodiversity loss?*, Oct. 2023.

⁷ Gartner, *Hype cycle for environmental sustainability*, 2024.

⁸ Gartner, *Use-case prism for sustainability and ESG*, July 2022.

⁹ Gartner, *The future of AI: reshaping society*, May 2023.

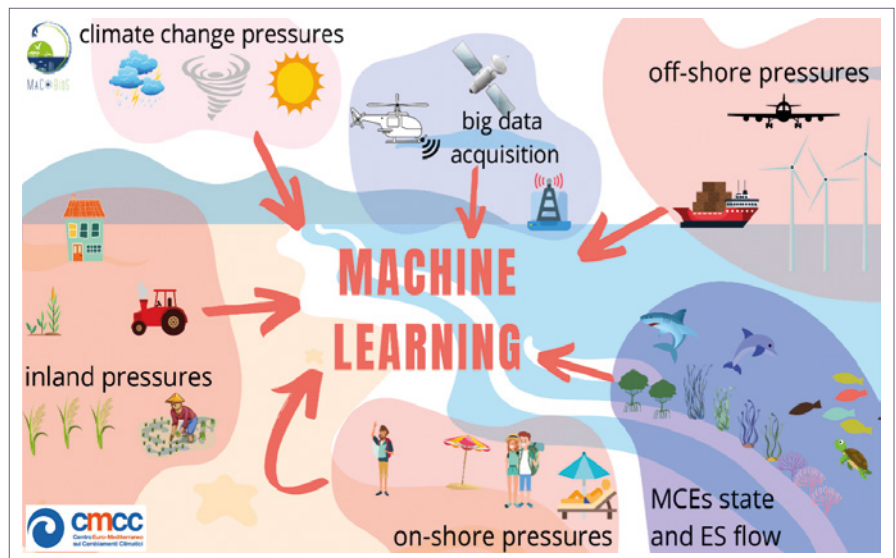


INTELLIGENZA ARTIFICIALE

INTELLIGENZA BLU PER LE AREE MARINO-COSTIERE

L'UTILIZZO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE E DEL MACHINE LEARNING PER L'ANALISI DEI BIG DATA OFFRE SOLUZIONI PROMETTENTI PER LA GESTIONE INTEGRATA DEI RISCHI IN CAMPO AMBIENTALE. ALCUNI PROGETTI HANNO EVIDENZIATO LE POTENZIALITÀ NELLA VALUTAZIONE DI IMPATTI E MISURE DI ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO PER GLI ECOSISTEMI MARINI.

Nell'era dei *big data*, la produzione e sviluppo di informazioni sta crescendo quotidianamente a un ritmo esponenziale, aumentando in volume, velocità e varietà, trasformando settori chiave, inclusi quelli ambientali legati alla gestione e utilizzo degli ecosistemi marino-costieri. Attraverso satelliti, telerilevamento aereo, stazioni di monitoraggio, navi e boe, i dati ambientali vengono raccolti in modo continuo, fornendo elementi essenziali per una gestione efficace delle risorse marine e per interventi di protezione costiera. Questi dati non solo supportano la tutela ambientale, ma alimentano anche lo sviluppo di attività economiche come la pesca e il turismo, contribuendo alla crescita sostenibile delle economie costiere.



Gestione dei rischi e uso del machine learning

Gli ecosistemi marini e costieri, che includono habitat fondamentali come barriere coralline, mangrovie e praterie di fanerogame, sono sempre più minacciati dal cambiamento climatico e dalle attività antropiche. Il riscaldamento globale sta alterando le tendenze di temperatura e i livelli di ossigeno dei mari, intensificando gli eventi meteorologici estremi e aumentando i rischi per diversi sistemi e settori. Questi cambiamenti minacciano gli ecosistemi marini nella loro capacità di fornire servizi ecosistemici, fra i quali la regolazione del clima, la protezione dall'erosione costiera, la conservazione della biodiversità e la produzione alimentare. Di fronte a tale minaccia, la gestione dei rischi rappresenta una sfida cruciale per la comunità scientifica. Tale sfida è resa ancora più ardua dalla complessità di questi ecosistemi e delle loro dinamiche, che rendono difficile identificare gli impatti e le aree critiche, nonché comprendere le

sinergie tra le diverse pressioni, con effetti potenzialmente negativi sia sul breve sia sul lungo termine. Per affrontare queste sfide, è fondamentale sfruttare al meglio le informazioni disponibili e, in questo contesto, l'analisi dei *big data* mediante tecniche innovative legate all'intelligenza artificiale (Ia), come il *machine learning* (ML), stanno emergendo come soluzioni promettenti.

Gli algoritmi di ML sono infatti in grado di processare grandi quantità di dati ambientali e climatici, districando al contempo schemi complessi che i metodi statistici e deterministici tradizionali non sono in grado di risolvere. Il ML consente una caratterizzazione affidabile dei sistemi ambientali, integrando diverse fonti di dati e considerando una vasta gamma di fattori di stress, pericolo e vulnerabilità (climatici, ambientali, economici, sociali e demografici). Grazie a questi progressi, è stato rivoluzionato il modo di comprendere i sistemi marino costieri, migliorando la modellazione ecologica, nonché la valutazione di scenari multi-rischio legati al cambiamento climatico e il coerente sviluppo di strategie di adattamento e mitigazione.

La necessaria collaborazione per migliorare la resilienza

La comunità scientifica concorda sul fatto che l'analisi dei *big data* ambientali, climatici, meteorologici e socioeconomici tramite il ML offra un enorme potenziale per risolvere problemi concreti, aprendo nuove prospettive nella gestione dei rischi climatici e delle loro interazioni con i sistemi socio-ecologici. Fondamentale, per affrontare a un alto livello di modellazione e capacità computazionale le sfide legate agli ecosistemi marino costieri, è la collaborazione internazionale e interdisciplinare, capace di coinvolgere istituti di ricerca, enti e organizzazioni governative e non, nonché il settore privato.

Un esempio di cooperazione di successo è il progetto europeo Macobios (<https://macobios.eu>), nel quale, i numerosi dati disponibili per l'osservazione e il monitoraggio ambientale (primi fra tutti quelli forniti dai diversi servizi Copernicus) sono stati alla base dello sviluppo di modelli avanzati di ML. Attraverso tali modelli è stato possibile valutare la risposta degli

ecosistemi marino costieri agli impatti cumulativi indotti dall'azione sinergica fra attività umane e cambiamento climatico. Nello specifico, in un contesto di analisi multi-scenario, tali modelli hanno permesso di simulare e valutare la risposta degli ecosistemi rispetto a diversi contesti multi-rischio, esplorando scenari *what-if* (potenziali) rappresentativi di diverse condizioni climatiche e strategie di gestione. Questi scenari, che includono mappe dettagliate (sia a scala locale sia eco-regionale) e metriche di rischio, facilitano l'identificazione delle aree e degli ecosistemi maggiormente a rischio, offrendo nuove prospettive per l'elaborazione di piani di protezione e ripristino capaci di migliorare, al contempo, la resilienza di questi alle sfide climatiche future.

Nuovi strumenti per affrontare le fragilità

Un altro esempio efficace di collaborazione è il progetto Interreg AdriaClim (<https://programming14-20.italy-croatia.eu/web/adriacim>), nel quale diversi metodi di MI sono stati testati per offrire ai decisori politici strumenti innovativi per la valutazione ambientale e multi-rischio nelle aree costiere. Queste aree, caratterizzate da alta densità di popolazione, attività economiche interconnesse ed ecosistemi fragili, risultano particolarmente vulnerabili all'aumento degli eventi estremi legati ai cambiamenti climatici. Considerata la complessità di tali interazioni, l'implementazione di metodologie di MI è risultata particolarmente

efficace nell'identificare, per i comuni costieri della regione Veneto, i fattori che storicamente hanno generato tali rischi, sia individualmente che in combinazione ad altri fattori di esposizione e vulnerabilità. Sono state così evidenziate le peculiarità territoriali capaci di amplificare gli effetti di eventi meteorologici estremi, fornendo un valido supporto nello sviluppo di sistemi di allerta e piani di adattamento efficaci.

Parallelamente, nel progetto Myriad-Eu (www.myriadproject.eu) questi modelli sono stati ulteriormente avanzati per stimare i rischi legati agli eventi meteorologici estremi rispetto a diversi scenari di cambiamento climatico. Questa stima, espressa come frequenza annuale di eventi futuri e relativi impatti, è stata sviluppata considerando proiezioni future dei principali fattori responsabili dei rischi costieri in Veneto (livello del mare, precipitazione e vento). In linea con le recenti linee guida scientifiche a livello internazionale (Sesto rapporto dell'Ipcc, *Intergovernmental Panel on Climate Change*), si è rilevata cruciale l'analisi multi-rischio che, prendendo in considerazione la combinazione di molteplici fattori, amplificati dal cambiamento climatico, ha fornito una visione più approfondita di come tali cambiamenti peggioreranno gli impatti previsti nei prossimi decenni lungo le coste del Veneto.

Un potenziale in crescita

Attraverso questi tre progetti e i rispettivi sviluppi modellistici, è stato possibile

avanzare significativamente nella comprensione delle dinamiche degli ecosistemi marino-costieri, migliorando la capacità di valutare i rischi climatici e di fornire strumenti innovativi per l'adattamento e la mitigazione degli impatti del cambiamento climatico, sia a livello locale sia regionale. La sempre più crescente disponibilità di dati ambientali in tempo reale (satelliti, droni), e con copertura geografica e granularità sempre maggiore, offre nuove opportunità per avanzare e replicare gli approcci e le tecniche di Ia fino a ora sperimentate in altri contesti. Questo processo potrà essere ulteriormente accelerato grazie alle ottimizzazioni del MI nei sistemi di raccolta ed elaborazione dei dati. La combinazione di *big data* e algoritmi avanzati, unitamente ai dati raccolti sul campo per il processo di validazione, offre un notevole potenziale per una valutazione e gestione integrata dei rischi nel breve, medio e lungo termine. Questo approccio sostiene al contempo una progressiva trasformazione nelle modalità di pianificazione e implementazione di strategie e piani di adattamento, consentendo una gestione delle risorse marine e costiere più efficace e basata su scenari climatici sempre più affidabili.

Elisa Furlan, Federica Zennaro, Angelica Bianconi, Christian Simeoni, Elena Allegri, Vuong Pham, Maria Katherina Dal Barco, Silvia Torresan, Andrea Critto

Centro euro-mediterraneo sui cambiamenti climatici (Cmcc)



L'OSSERVAZIONE DELLA TERRA IN CONTINUA EVOLUZIONE

IL MONITORAGGIO DEL PIANETA DELLO SPAZIO HA VISTO GRANDI TRASFORMAZIONI TECNOLOGICHE, FORNENDO UNA MOLE SEMPRE CRESCENTE DI DATI E IMMAGINI. LO SVILUPPO DI TECNICHE BASATE SULL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE HA POTENZIATO LA CAPACITÀ DI INTERPRETAZIONE. È FONDAMENTALE UN CORRETTO ADDESTRAMENTO DEI MODELLI.

Per Osservazione della Terra (Ot) solitamente si intende il monitoraggio del nostro pianeta dallo spazio. Qui orbitano ormai decine di satelliti con a bordo sensori di diverso tipo che registrano informazioni sulla molteplicità di variabili che caratterizzano i nostri ecosistemi. L'Ot è basata su sistemi molto complessi dal punto vista sia hardware sia software. Ne consegue quindi che i suoi 50 anni e oltre di storia sono caratterizzati da un'evoluzione che ha seguito quella di un'epoca a sua volta segnata da grandi trasformazioni tecnologiche. Le linee di innovazione attraverso le quali l'Ot si è man mano sviluppata riguardano molteplici aspetti che proveremo qui a illustrare in maniera sintetica. Possiamo distinguere due principali categorie: quella rivolta alla generazione del dato informativo, che molto spesso prende la forma di un'immagine, e quella riguardante la sua elaborazione.

Una sempre maggiore risoluzione spaziale e temporale

Partendo dalla prima va premesso che nell'Ot il cuore dell'informazione scaturisce da un'interazione fisica: tra un'onda elettromagnetica e un oggetto, o una superficie, o anche un volume di interesse. Più onde elettromagnetiche con differenti lunghezze d'onda riusciamo a inserire nel processo –tecnicamente questa caratteristica viene detta risoluzione spettrale – più informazioni avremo. La missione italiana iperspettrale Prisma, con un satellite ormai in orbita da 5 anni, riesce a coinvolgere ben 240 onde elettromagnetiche fornendo immagini con pixel di dimensione pari a 30 m. Questa ultima dimensione, che prende il nome di risoluzione spaziale, è il livello di dettaglio che l'immagine riesce a restituire, ed è stato di fatto un altro aspetto in cui la tecnologia ha compiuto

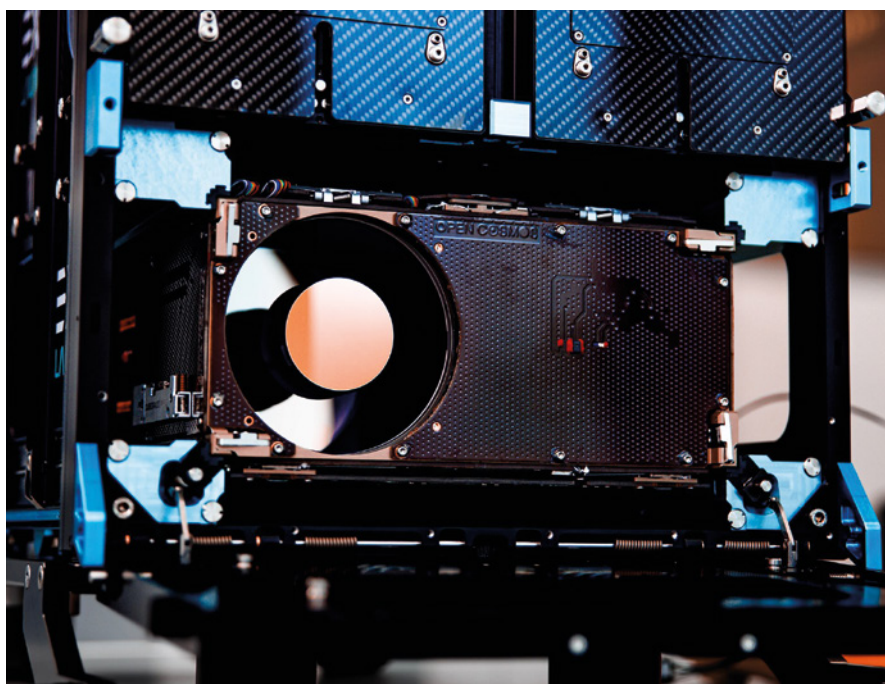


FOTO: OPEN COSMOS

1

enormi progressi, arrivando a immagini satellitari con risoluzioni spaziali anche inferiori ai 50 cm.

C'è un'altra "risoluzione" che caratterizza l'innovazione nell'Ot: quella temporale, cioè la frequenza con la quale un satellite osserva la stessa area di interesse.

Va a questo proposito precisato che le più importanti missioni dell'Ot, in primis quelle del programma europeo Copernicus, sono caratterizzate da satelliti con orbite polari, cioè che devono attraversare i poli. Tale attraversamento tipicamente limita la risoluzione temporale. Per migliorare questo aspetto ci si rivolge allora sempre più al concetto di costellazione, ossia il lancio in orbita di più satelliti con lo stesso sensore in modo da aumentare i passaggi sulla medesima area.

Oltre che dal programma Copernicus, l'approccio basato su costellazione, con vantaggi in termini di costi, rischi, tempi di sviluppo, è di fatto stato adottato dalle ultime più importanti missioni italiane

di Ot: Cosmo-SkyMed e Iride, nonché da aziende protagoniste del mercato in grado ormai di fornire immagini su zone di particolare interesse su base quotidiana e a un dettaglio spaziale molto alto.

L'interpretazione automatica dei dati

Se passiamo a considerare gli aspetti innovativi riguardanti l'elaborazione del dato, in particolare l'attività finalizzata soprattutto a estrarne informazioni di carattere applicativo, dobbiamo innanzitutto prendere atto del fatto che, proprio per le motivazioni descritte in precedenza, cioè sensori più sofisticati, maggior numero di satelliti in orbita, la quantità di dati e di immagini sui cui lavorare è aumentata esponenzialmente. Impossibile gestire questo flusso di dati solamente guardando le immagini con tecniche di fotointerpretazione.

Si è reso quindi sempre più necessario ricorrere a metodi di interpretazione automatica, ma non solo, è emersa anche l'esigenza di sistemi in cui la velocità di esecuzione fosse adeguatamente alta. Per quest'ultimo aspetto, un ruolo particolarmente importante è stato svolto dai sistemi di *cloud computing*, l'elaborazione quindi è ormai in diversi casi delocalizzata su piattaforme remote molto potenti.

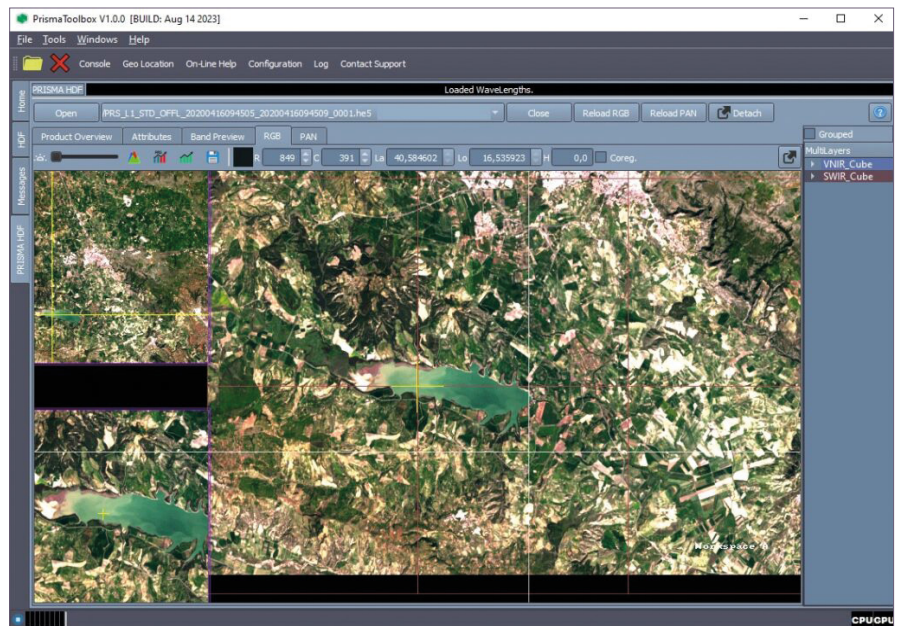
L'impatto dell'intelligenza artificiale

Invece per quanto riguarda il processo di estrazione dell'informazione, è inevitabile considerare l'impatto generato dall'evoluzione di tecniche basate su intelligenza artificiale (Ia) che hanno visto nell'Ot uno dei più fertili domini applicativi.

In realtà le prime applicazioni significative di Ia ai dati di Ot risalgono all'ultima decade dello scorso secolo [1]. In particolare già allora questi algoritmi sembravano avere interessanti potenzialità nel rintracciare relazioni nascoste nella profondità dei dati, risolvendo problemi di stima altrimenti di difficile soluzione.

Il parallelo incremento della disponibilità di immagini e delle capacità computazionali ha poi sempre più favorito l'incontro tra queste due tecnologie, tanto è vero che l'acronimo Ai4Eo (*Artificial intelligence for Earth observation*) è quanto mai attuale e indicativo di future prospettive. Una macchina sofisticata ha tuttavia bisogno di un bravo pilota e i sistemi di Ia sono guidati dai dati (*data-driven*). La qualità dei dati di addestramento è quindi alla base di un buon sistema di Ia per Ot. Anche la quantità di dati disponibile è fondamentale, soprattutto se vogliamo utilizzare modelli di Ia di ultima generazione (per esempio reti neurali convoluzionali), con strutture di elaborazione stratificate su vari livelli. Legata alla quantità c'è anche l'esigenza di disporre di dati statisticamente significativi, in grado cioè di far apprendere il modello in maniera tale

- 1 Il nuovo satellite Esa Phsat-2, equipaggiato con una fotocamera multispettrale e un computer dotato di intelligenza artificiale che analizza ed elabora le immagini in tempo reale (www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Phsat-2).
- 2 Il software Prisma Toolbox per l'analisi dei dati del satellite iperspettrale Prisma di Asi (www.asi.it/scienze-della-terra/prisma).



2

da renderlo capace di generalizzare e comportarsi correttamente nelle fasi operative.

Le condizioni descritte sono necessarie per evitare il deleterio approccio "scatola nera" (*black box*), secondo cui, senza alcuna rigorosità scientifica, i dati disponibili vengono consegnati al modello in modo del tutto inconsapevole, assumendo che il modello sia comunque in grado di trovare una soluzione. Ma il modello, come detto, dipende dai dati e in questo caso quindi la soluzione sarebbe probabilmente poco affidabile.

D'altra parte riuscire a disporre di un numero di dati di buona qualità e statisticamente significativi non è banale. Specialmente se ci rivolgiamo a quella classe di problemi noti come stima di parametro, differente dalle tipiche applicazioni riguardanti l'elaborazione delle immagini, quali l'identificazione e la classificazione di oggetti.

L'addestramento di un modello di Ia in entrambi i casi, infatti, si basa sulla conoscenza di quella che nell'Ot è chiamata "verità a terra". Nel caso, ad esempio, dell'identificazione degli edifici in un'immagine, la verità a terra può anche essere generata da, se pur laboriose, attività di fotointerpretazione. Se invece ci interessa la stima di un parametro biofisico, per esempio l'umidità del suolo, sono necessarie misure sul campo, a volte costose o comunque impegnative. Utilizzando le leggi fisiche e con le dovute approssimazioni è tuttavia possibile ricreare in laboratorio, con una sorta di *digital twin*, il processo che genera i dati, sia le misure di Ot sia la verità a terra. Questo, oltre a fornire la possibilità di aiutare i processi di

addestramento, consente anche un uso consapevole dell'Ia, detto *physics based*, dove cioè i modelli di previsione realizzati sono coerenti con la natura fisica del problema.

Nuovi orizzonti

Inutile dire, per concludere, che il processo di evoluzione tecnologica in questo settore è in continuo movimento e nuovi scenari sono già all'orizzonte [2]. Forse uno tra i più interessanti riguarda l'uso dell'Ia per l'elaborazione del dato già a bordo del satellite (*on-board processing*). Se le immagini contengono informazioni interessanti vengono trasmesse a terra, altrimenti meglio risparmiare memoria e larghezza di banda. Questa è l'approccio tecnologico alla base di Phi-Sat-2, una delle ultime missioni di Ot lanciate dall'Agenzia spaziale europea (Esa). Insomma, monitorare in maniera efficace lo stato del pianeta non è mai stato come oggi alla nostra portata.

Fabio Del Frate

Università degli studi di Roma "Tor Vergata"

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Mas J.F., Flores J.J., 2007, "The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data", *Int. Journal of Remote Sensing*, pp. 617-663.
- [2] Tuia D. et al., 2024, "Artificial intelligence to advance Earth Observation: a review of models, recent trends, and pathways forward", *Ieee Geoscience and Remote Sensing Magazine*.

TECNOLOGIE DI AVANGUARDIA PER LA GESTIONE DELL'AMBIENTE

LE GRANDI POTENZIALITÀ DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE NON SI LIMITANO ALL'ELABORAZIONE PIÙ VELOCE E PRECISA DEI DATI COMPLESSI E ATTUALI, MA SI ESTENDONO ANCHE ALLA CAPACITÀ DI PREVEDERE FENOMENI FUTURI. LA COLLABORAZIONE TRA ENTI DI RICERCA, GOVERNI E SETTORE PRIVATO SARÀ ESSENZIALE. L'ESPERIENZA DEL Φ -LAB DI ESA.

Le sfide ambientali globali, come il cambiamento climatico, l'inquinamento e la perdita di biodiversità, richiedono soluzioni innovative e multidisciplinari che coinvolgano ricerca, istituzioni e settore privato. In particolare, l'osservazione della Terra rappresenta un settore cruciale per monitorare la salute del pianeta e identificare soluzioni efficaci. Tecnologie digitali avanzate, come l'intelligenza artificiale (Ia), il *deep learning* e il *machine learning*, stanno rivoluzionando la nostra capacità di gestire l'ambiente e promuovono un approccio più sostenibile e inclusivo. Queste tecnologie rendono i dati satellitari più accessibili e fruibili, offrendo strumenti fondamentali per affrontare le emergenze ambientali.

L'Agenzia spaziale europea (Esa), con la sua missione di esplorazione e protezione della Terra, gioca un ruolo chiave nello sviluppo di queste tecnologie. In particolare, il Φ -lab, un laboratorio d'innovazione situato presso il Direttorato dell'Osservazione della Terra in Italia, è impegnato a promuovere l'utilizzo di tecnologie d'avanguardia per il monitoraggio ambientale e lo sviluppo di soluzioni innovative, in sinergia con istituzioni accademiche, partner commerciali e start-up.

la e osservazione della Terra: il ruolo del Φ -lab

Il Φ -lab fa parte del Dipartimento di *Climate action, sustainability and science* dell'Esa e si dedica all'accelerazione delle tecnologie legate all'osservazione della Terra. Attraverso l'integrazione di Ia, *deep learning* e *machine learning*, il laboratorio fornisce informazioni all'avanguardia attraverso *use cases* che facilitano il monitoraggio delle condizioni ambientali in tempo reale. Grazie a queste tecnologie, è possibile analizzare in

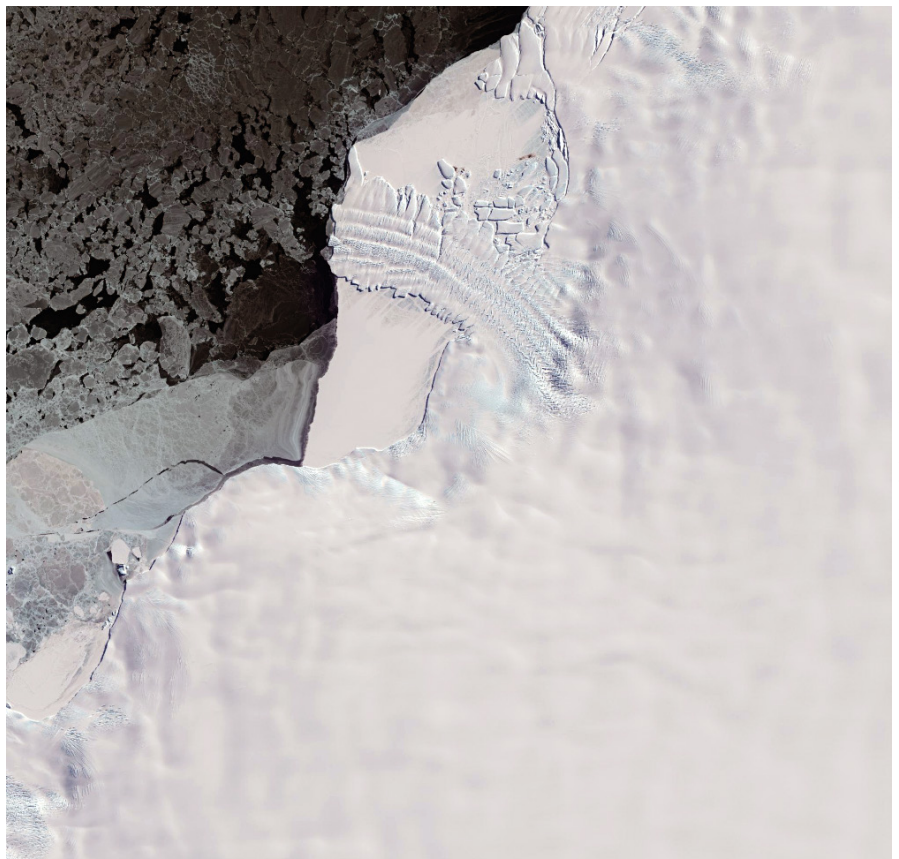


FIG. 1 LINGUA DI GHIACCIO DEL GHIACCIAIO DAWSON-LAMBTON IN ANTARTIDE

L'immagine dal Copernicus Sentinel-2 è dell'ottobre 2023, ma rispetto alle immagini dell'ottobre 2022 mostra che il ghiaccio marino stagionale attorno al ghiacciaio è molto diminuito.

modo efficiente enormi quantità di dati satellitari, come quelli provenienti dalla missione Copernicus, con una rapidità e una precisione senza precedenti. I dati forniti da questi satelliti permettono di monitorare fenomeni complessi quali il cambiamento climatico, la deforestazione, l'innalzamento del livello dei mari, la qualità dell'aria e la rapida urbanizzazione. Ad esempio, l'uso dell'Ia consente di identificare e analizzare cambiamenti nella copertura del suolo, monitorando la salute delle foreste in modo più preciso e continuo, dati fondamentali per la prevenzione della deforestazione e la tutela della biodiversità.

Tecnologie emergenti, come l'*Edge computing* e l'*Ai on board*, permettono inoltre di elaborare i dati direttamente a bordo dei satelliti, riducendo notevolmente i tempi di attesa per l'analisi e l'invio delle informazioni. Questo accelera l'attuazione di interventi in caso di crisi ambientali, come incendi, alluvioni o catastrofi naturali. Un esempio particolarmente significativo è l'utilizzo del *deep learning* per migliorare la classificazione della copertura del suolo e la mappatura globale delle foreste, che fornisce dati cruciali per il monitoraggio continuo della deforestazione e l'analisi degli impatti umani sugli ecosistemi. L'Ia non è solo utile per il monitoraggio

ambientale: le applicazioni sviluppate dal Φ -lab combinano dati satellitari e modelli epidemiologici per prevedere la diffusione di malattie come la dengue e altre malattie trasmesse da vettori. Grazie a questi strumenti, è possibile intervenire in modo più rapido ed efficace, implementando strategie di contenimento più mirate, riducendo i rischi per la salute pubblica e migliorando la resilienza delle comunità locali.

Opportunità commerciali del Φ -lab: innovazione per il settore privato

Oltre a sostenere la ricerca scientifica e la protezione ambientale, il Φ -lab ha un impatto significativo sull'innovazione nel settore commerciale. L'intelligenza artificiale e il *machine learning* non sono solo strumenti per affrontare le sfide ambientali, ma rappresentano anche una risorsa chiave per l'economia. Infatti, queste tecnologie aprono la strada a nuove opportunità di business, favorendo lo sviluppo di soluzioni innovative in ambiti come l'agricoltura, la logistica e le *smart cities*.

Il programma InCubed dell'Esa rappresenta un importante esempio di come il Φ -lab promuova l'innovazione commerciale. Attraverso questo programma, l'Esa offre co-finanziamenti e supporto tecnico alle aziende, incentivando lo sviluppo di nuove soluzioni basate sull'osservazione della Terra. Le start-up e le piccole e medie imprese hanno così l'opportunità di sperimentare e commercializzare prodotti e servizi innovativi, sfruttando i dati satellitari per creare applicazioni in vari settori.

Un caso emblematico è l'agricoltura di precisione. Grazie agli algoritmi di Ia applicati alle immagini satellitari, gli agricoltori possono monitorare la salute delle colture, prevedere i raccolti e ottimizzare l'uso delle risorse naturali come acqua e fertilizzanti. Questo approccio non solo migliora l'efficienza produttiva, ma riduce anche gli sprechi, contribuendo a un'agricoltura più sostenibile e redditizia. Questi strumenti consentono di affrontare le sfide alimentari globali, ottimizzando la gestione delle risorse in un'epoca di cambiamenti climatici.

Anche nel settore della gestione della qualità dell'aria, il Φ -lab contribuisce a sviluppare soluzioni innovative. I dati satellitari raccolti grazie a missioni come quella del satellite Sentinel-5P,

permettono di monitorare la presenza di inquinanti come il diossido di azoto (NO_2) e il monossido di carbonio (CO). Queste informazioni sono fondamentali non solo per le politiche di gestione della qualità dell'aria, ma anche per lo sviluppo di nuovi modelli economici volti alla riduzione delle emissioni e al miglioramento della salute pubblica.

Prospettive future: innovazione tra la, commercio e ambiente

Il futuro dell'Ia applicata al monitoraggio ambientale è estremamente promettente. Le potenzialità di queste tecnologie non si limitano all'elaborazione dei dati attuali, ma si estendono anche alla

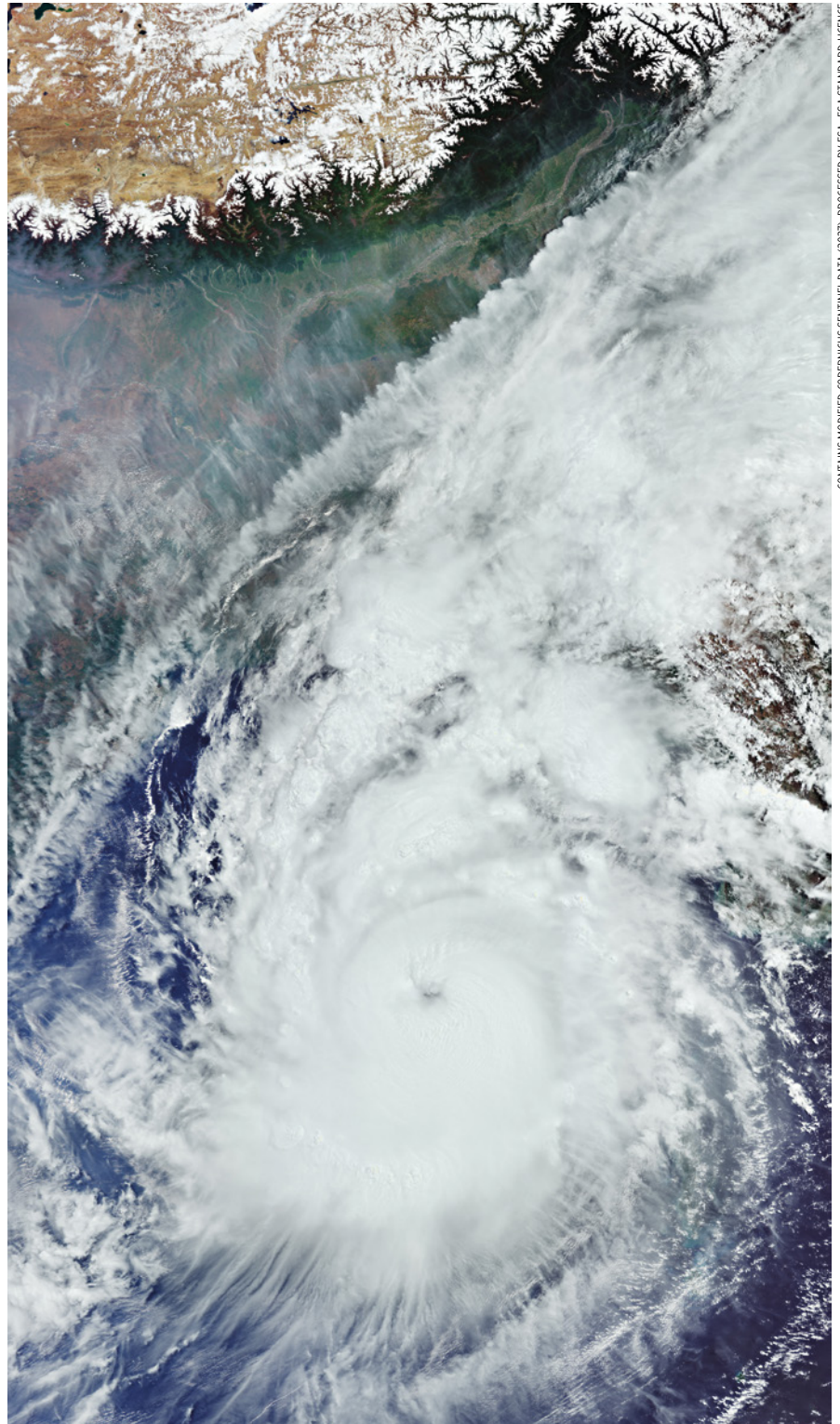


FIG. 2 CICLONE

Immagine da Copernicus Sentinel-3 del potente ciclone Mocha il 13 maggio 2023 mentre attraversa il golfo del Bengala in direzione nord-est verso il Bangladesh e il Myanmar.

capacità di prevedere fenomeni futuri. Ad esempio, il Φ -lab sta esplorando l'integrazione tra Ia e calcolo quantistico, una combinazione che potrebbe rivoluzionare l'analisi dei dati satellitari. Il calcolo quantistico consentirebbe di elaborare enormi volumi di dati in tempi ridotti, facilitando la modellazione di sistemi complessi come quelli climatici e migliorando la capacità di risposta agli eventi estremi.

In questo contesto, la collaborazione tra enti di ricerca, governi e settore privato sarà essenziale per massimizzare il potenziale delle nuove tecnologie. Le piattaforme aperte, come il Sentinel Hub, rappresentano un elemento chiave per democratizzare l'accesso ai dati satellitari. Queste piattaforme facilitano lo sviluppo di nuove applicazioni e soluzioni commerciali, creando un ecosistema dinamico dove le piccole start-up possono competere con le grandi imprese nel creare soluzioni innovative per un futuro sostenibile.

Conclusioni

Le attività del Φ -lab dell'Esa dimostrano come l'intelligenza artificiale, il *deep learning* e il *machine learning* stiano rivoluzionando il monitoraggio ambientale, aprendo nuove opportunità commerciali e accelerando la transizione verso un'economia più sostenibile. Queste tecnologie migliorano la nostra capacità di comprendere e affrontare

le sfide ambientali, promuovendo una crescita innovativa e sostenibile in vari settori. Con una continua innovazione e la collaborazione interdisciplinare, l'Ia si conferma una risorsa fondamentale non solo per proteggere il nostro pianeta, ma anche per garantire una prosperità

economica a lungo termine, equilibrata tra la tutela dell'ambiente e lo sviluppo economico.

Sabrina Ricci

AI ecosystem manager, Esa Φ -lab



FIG. 3 ALGHE NEL MARE ADRIATICO SETTENTRIONALE
Immagine di Copernicus Sentinel-2 che illustra i vortici di fioritura algale lungo la costa italiana.

CONTAINS MODIFIED COPERNICUS SENTINEL DATA (2024), PROCESSED BY ESA - ESA STANDARD LICENCE

FSSCat/ Φ -sat-1

Demonstrating the potential of AI for Earth observation

Φ -sat-1 is a new artificial intelligence experiment carried on the Federated Satellite Systems (FSSCat) mission

#FSSCat #Phisat1

- Φ -sat-1** technology processes data on board
- Detecting clouds** in the images
- Eliminating images** with too much cloud cover
- Returning only usable data** to Earth

FIG. 4
 Φ -SAT 1

L'esperimento di intelligenza artificiale sulla missione Fss-Cat (https://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/PHI-sat_infographic_200617_OK.pdf).

CREDIT: ESA (2017)

OBIETTIVO DATI AMBIENTALI PIÙ ACCESSIBILI A TUTTI

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE CONVERSAZIONALE HA UN ENORME POTENZIALE PER RENDERE I DATI AMBIENTALI DI ISPRA E SNPA PIÙ FRUIBILI PONENDO DOMANDE IN LINGUAGGIO NATURALE. QUALI SONO GLI STRUMENTI DISPONIBILI E DA SVILUPPARE? QUALI LE SFIDE PER OTTENERE SOLUZIONI EFFICACI E RISPOSTE AFFIDABILI?

Attualmente, Ispra¹ e Snpa² offrono una vasta gamma di banche dati ambientali. Tuttavia, per un utente non esperto, consultare e correlare questi dati può risultare complesso e dispendioso in termini di tempo. Ad esempio, un cittadino che volesse conoscere, per una data località, le variazioni della temperatura dell'aria e collegarle alla qualità dell'aria, dovrebbe consultare differenti basi di dati tematiche e utilizzare strumenti diversi per interpretare e correlare i dati (figura 1).

A semplificare tutto ciò potrebbe essere di aiuto l'intelligenza artificiale conversazionale, grazie alla sua capacità di comprendere il linguaggio naturale e di estrarre e sintetizzare informazioni da enormi dataset, trasformando una ricerca frammentata in un'esperienza più fluida e accessibile. Lo scenario auspicabile è quello in cui un cittadino, uno studente o un ricercatore possa semplicemente porre domande in linguaggio naturale e

ricevere risposte chiare e accurate, anche su temi scientifici complessi.

L'integrazione degli strumenti

Large language model (Llm) e Retrieval-augmented generation (Rag) sono alcuni strumenti di intelligenza artificiale che possono realizzare questa visione. Il 2020 ha segnato una svolta significativa con il rilascio di Gpt-3 di OpenAi³, un Llm che ha rivoluzionato il campo della comprensione e generazione del linguaggio naturale. Basati sull'architettura di deep learning Transformer⁴, questi modelli, addestrati su vaste collezioni di testi, hanno dimostrato capacità inaspettate e sorprendenti in vari contesti, dall'analisi statistica alla creazione di rappresentazioni grafiche.

Tuttavia, nonostante il loro potenziale, gli Llm presentano alcune limitazioni, come la possibilità di generare informazioni

inesatte o obsolete, soprattutto in settori specialistici o in rapida evoluzione, e possono confondere termini simili, utilizzati in contesti diversi, producendo risposte imprecise.

Per superare questi limiti, è stato sviluppato il framework Rag che combina le capacità di un Llm con l'accesso a una base di conoscenza specifica. Il funzionamento di Rag si basa su due componenti principali: un retriever, che individua e raccoglie le informazioni pertinenti da fonti specifiche, come database o raccolte documentali, e un generatore che utilizza quanto fornito dal retriever per produrre risposte in linguaggio naturale.

In sintesi, questa combinazione consente di avere risposte più accurate e pertinenti, garantendo che queste siano sempre basate su informazioni aggiornate e autorevoli anche in contesti complessi, senza la necessità di ricostruire l'intero modello linguistico.

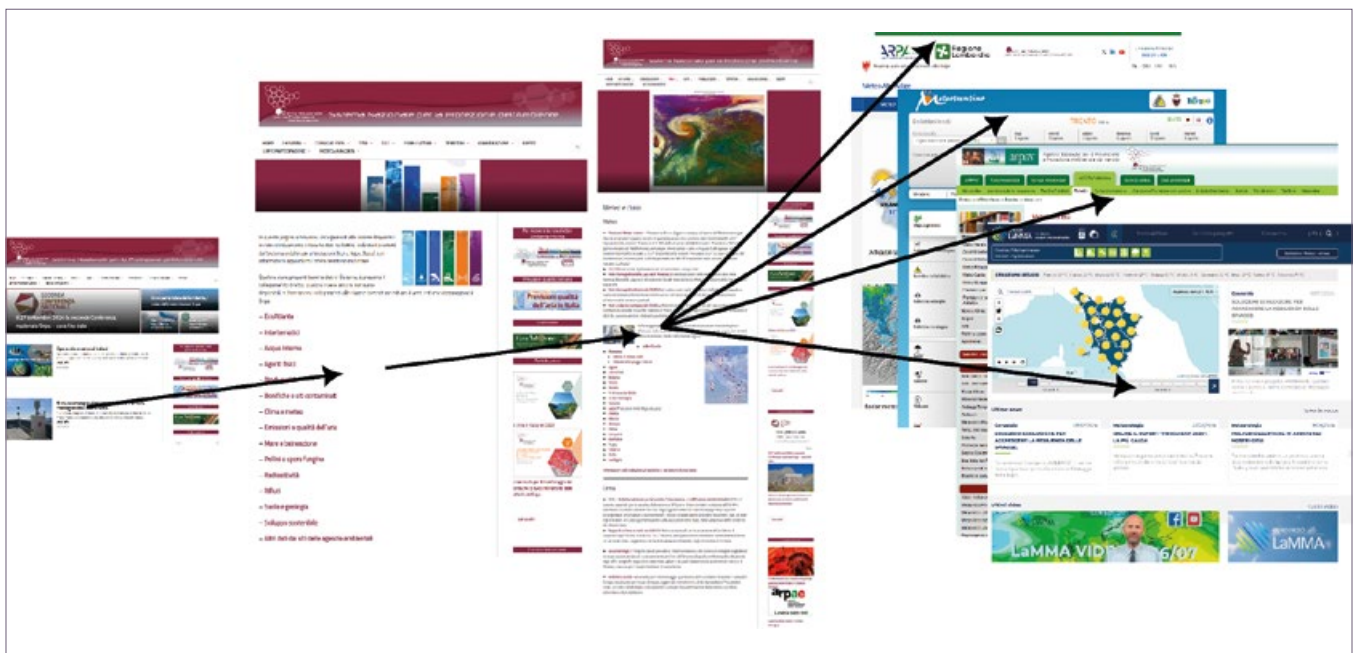


FIG. 1 RICERCA DATI CLIMATICI
Rappresentazione del percorso di un utente alla ricerca di dati climatici per un confronto tra dati di regioni diverse.

IMMAGINE: G. SCATENA - S. CIATTONI - CC BY-NC-SA 4.0

Metodologie implementative e sfide per i dati ambientali

Per realizzare lo scenario auspicato in precedenza è necessario quindi prevedere le seguenti componenti: un sistema Llm, un Rag con relativa base dati vettoriale e un'interfaccia utente, tipicamente un chatbot.

Nel seguito, descriviamo alcune metodologie implementative disponibili a oggi, evidenziando pro e contro nell'ambito di applicazione al dominio dei dati ambientali.

Gli strumenti recentemente sviluppati e attualmente disponibili in questo ambito variano in base alle seguente principali caratteristiche:

- livello di maturità e semplicità di utilizzo: vi sono approcci che richiedono lo sviluppo e la scrittura di codice⁵, mentre stanno emergendo *framework* che consentono di creare il proprio chatbot tramite installazione semplificata e interfaccia grafica di creazione della base di conoscenza

- libertà di scelta del generatore Llm: vi sono approcci che utilizzano esclusivamente Llm di terze parti, tipicamente *cloud* a pagamento, mentre altri consentono di personalizzare il motore utilizzato, aprendo la possibilità di utilizzare modelli *open source* con esecuzione su risorse private. L'approccio *open source*⁶ ha vantaggi in termini di *privacy* dei dati, trasparenza, controllo e indipendenza, personalizzazione e integrazione, ma è necessario valutarne attentamente la scalabilità e i costi a lungo termine delle risorse *hardware*
- specializzazione del *retriever* in un ambito applicativo: ne esistono infatti di specializzati nell'analisi di documenti, con utilizzo di riconoscimento ottico dei caratteri su scansioni, o su dati tabellari.

Abbiamo testato alcuni *framework open source* (tabella 1) con campioni di dati ambientali provenienti dalle basi di dati Ispra e Snpa.

I risultati ottenuti sono promettenti ma evidenziano la necessità di *hardware* dedicato per l'esecuzione di modelli Llm su infrastrutture private.

Nonostante ciò, i prototipi sviluppati dimostrano già la capacità di fornire risposte pertinenti e di citare fonti rilevanti (figure 2 e 3).

Tuttavia, le tecnologie Llm e Rag applicate ai dati ambientali presentano ancora alcune limitazioni dovute alle caratteristiche dei dati stessi e spesso vengono fornite risposte incomplete o incoerenti, a confronto con i risultati

Approccio	Llm	Codice sorgente	Demo
RAGFlow	Molteplici	https://github.com/infiniflow/ragflow	https://demo.ragflow.io/
Cognita	Molteplici	https://github.com/truefoundry/cognita	https://cognita.truefoundry.com/
Quivr	Molteplici	https://github.com/QuivrHQ/quivr	https://chat.quivr.app/
Oraculum	ChatGpt	https://github.com/Unipisa/Oraculum	https://sibyllae.unipi.it/missioni

TAB. 1 FRAMEWORK

Strumenti open-source testati con campioni di dati ambientali.

Fonte: Banche dati Ispra e Snpa

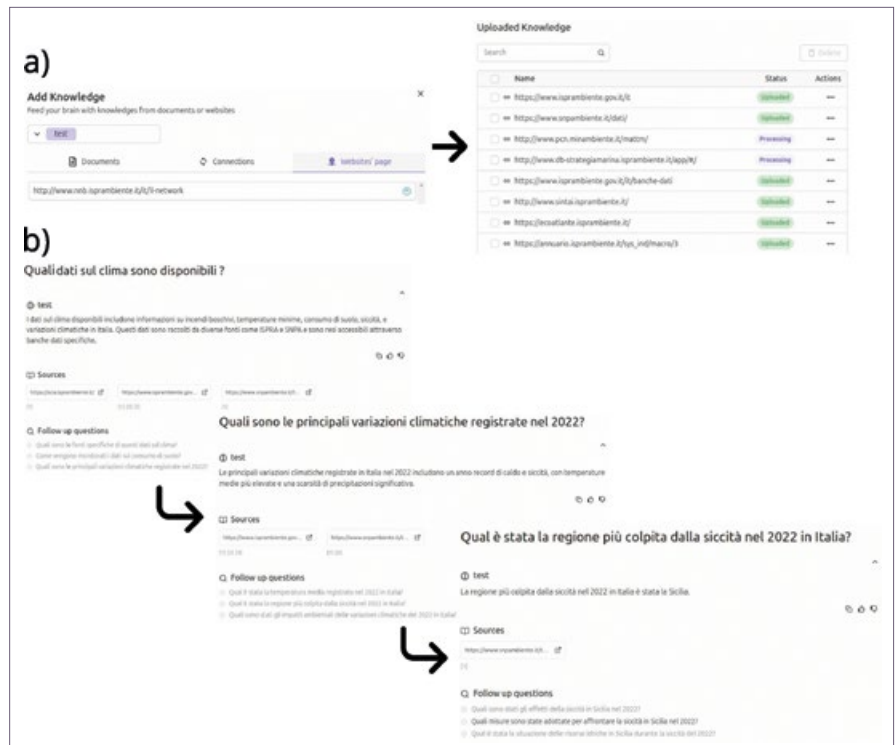


FIG. 2 QUIVR

Un esempio di creazione di un sistema con Quivr: una volta aggiunta la conoscenza (a) è possibile interrogarla in linguaggio naturale in modo conversazionale (b).

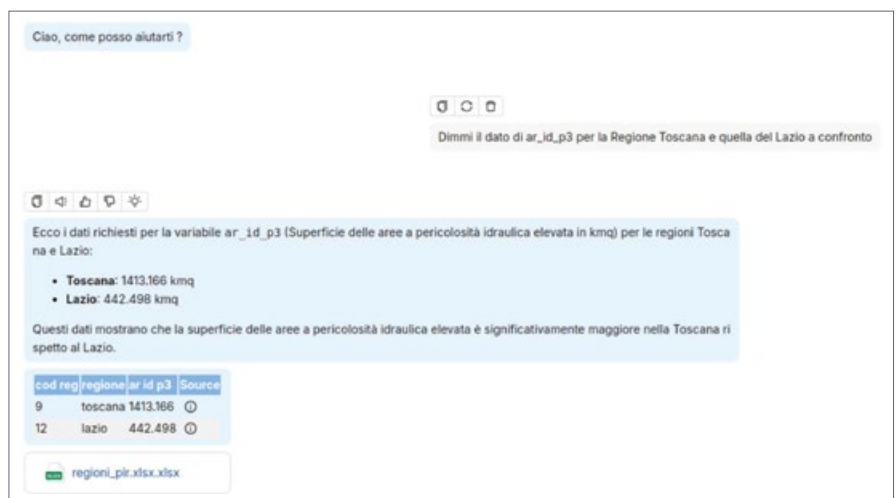


FIG. 3 RAGFLOW

Esempio di interazione con RagFlow: l'agente, a cui è stata creata una base di conoscenza costituita unicamente da fogli di calcolo, comprende la domanda, seleziona e cita la fonte dati pertinente, restituisce il valore desiderato estraendolo da essa, spiegandone il significato ed elaborando una valutazione contestuale.

ottenuti dalla loro applicazione in altri domini applicativi⁷. Le caratteristiche dei dati ambientali che rendono più complessa l'applicazione di Llm e Rag rispetto ad altri domini sono molteplici. I dati sono spesso frammentati, provenienti da diverse fonti con formati e schemi non standardizzati, complicando l'integrazione e l'analisi; le relazioni causali nei dati ambientali sono complesse e contestuali, rendendo difficile, per i modelli linguistici, cogliere correttamente le connessioni tra fenomeni; il linguaggio tecnico e specialistico utilizzato è spesso difficile da interpretare per modelli addestrati su testi generici. Infine, la natura non strutturata e disomogenea di questi dati rappresenta un'ulteriore sfida per la loro comprensione ed elaborazione. Per ottenere una soluzione efficace al problema è quindi necessario:

- sviluppare *retriever* adatti al dominio applicativo, unendo l'utilizzo di approcci basati su *embedding* (capacità di comprensione di dati testuali non strutturati) e approcci basati su grafi (capacità di rappresentare relazioni complesse tra entità, adatti per analizzare dati spaziali e temporali)
- unificare e centralizzare dati e documenti: la qualità dei dati, ovvero un dataset ben organizzato e strutturato, assieme a un

corpus documentale privo di lacune, facilita il lavoro dei *retriever*, migliorando la precisione e la velocità delle risposte.

Conclusioni

Le tecnologie emergenti che combinano Llm e Rag offrono un promettente futuro per l'interazione uomo-macchina e potrebbero rivoluzionare la fruibilità dei dati soprattutto in ambiti come l'analisi di dati ambientali. L'utilizzo di Rag riesce a risolvere alcuni problemi propri degli Llm come l'affidabilità delle risposte in determinati ambiti, conservando le modalità di interazione discorsiva e conscia del contesto tipiche dei Llm.

Nonostante i notevoli progressi, persistono sfide legate alla gestione di dati eterogenei e non strutturati, nonché all'elevato costo computazionale. Per un'applicazione efficace ai dati ambientali, è necessaria una standardizzazione dei dati e un approfondimento delle tecniche di addestramento dei modelli Rag su dati semi-strutturati di tipo non testuale. Crediamo fermamente nel potenziale di queste tecnologie per rendere i dati ambientali più accessibili e auspichiamo

un maggiore impegno da parte della comunità scientifica e industriale.

Guido Scatena, Simona Ciattoni

Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (Ispra)

NOTE

- ¹ www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati
- ² www.snpambiente.it/dati/
- ³ <https://openai.com/>
- ⁴ Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A.N., Kaiser L., Polosukhin I., 2017, "Attention is all you need", Nips'17: Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, <https://arxiv.org/abs/1706.03762>
- ⁵ Per poter sviluppare strumenti *ad hoc* è necessario conoscere librerie come PyTorch (<https://pytorch.org/>), TensorFlow (www.tensorflow.org) e le librerie di generazione (Trasformers, https://huggingface.co/docs/transformers/llm_tutorial) in continuo sviluppo su HuggingFace (<https://huggingface.co>).
- ⁶ Si vedano, ad esempio, quelli disponibili su <https://ollama.com>
- ⁷ Ad esempio, l'utilizzo di Oraculum con Rag sul corpus documentale di amministrazione Università di Pisa, utilizzabile tramite Sibylla (<https://sibylla.unipi.it/missioni>), fornisce risposte molto soddisfacenti.

REGOLAMENTO UE 2024/1689

LA LEGISLAZIONE EUROPEA A TUTELA DEI RISCHI DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

In Europa la legge sull'intelligenza artificiale (Ai Act) è entrata in vigore il 1° agosto 2024. Alcune disposizioni sono già pienamente applicabili mentre altre necessitano di un periodo transitorio a causa della loro maggiore complessità e di requisiti da adottare.

La Commissione europea sta promuovendo il *Patto sull'intelligenza artificiale*, un'iniziativa volontaria per supportarne l'implementazione e invitare gli sviluppatori ad adottare quanto previsto nell'AI Act prima delle scadenze. Il patto si struttura su due pilastri:

Primo pilastro: raccolta e scambio con la rete del Patto sull'intelligenza artificiale

Ha il ruolo di essere il punto di accesso per coinvolgere la rete del patto per l'intelligenza artificiale costituita da organizzazioni interessate al patto; incoraggia lo scambio di migliori pratiche tramite la condivisione di esperienze e conoscenze. Fornisce inoltre informazioni sul processo di applicazione della legge dell'intelligenza artificiale.

Secondo pilastro: facilitare e comunicare gli impegni aziendali

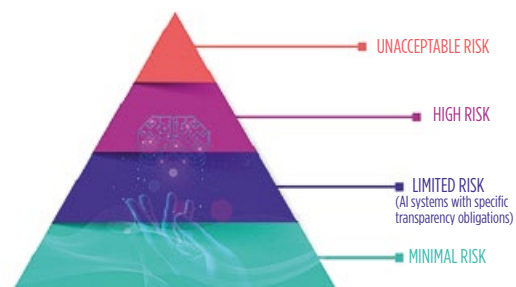
Il suo scopo è fornire un quadro per promuovere la rapida attuazione di alcune delle misure della legge sull'intelligenza artificiale. Incoraggia i fornitori e gli operatori di sistemi di intelligenza artificiale a prepararsi tempestivamente e ad adottare misure per conformarsi ai requisiti e agli obblighi stabiliti dalla legge.

Il quadro normativo definisce quattro livelli di rischio per i sistemi di intelligenza artificiale:

- 1) rischio minimo
- 2) rischio limitato, sistemi di intelligenza artificiale con specifici obblighi di trasparenza
- 3) alto rischio
- 4) rischio inaccettabile.

La legge europea sull'intelligenza artificiale è il primo quadro giuridico a livello mondiale che affronta i rischi dell'IA garantendo che i sistemi di IA rispettino i diritti fondamentali, la sicurezza e i principi etici affrontando i rischi di modelli di IA molto potenti e di grande impatto. (DM).

Fonte: Commissione europea (<https://digital-strategy.ec.europa.eu/it/policies/regulatory-framework-ai>)
Regolamento Ue 2024/1689 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1689>



MONITORAGGIO DELL'AMBIENTE TRAMITE IL PROGRAMMA IRIDE

IL CONTROLLO E L'ANALISI DELLO STATO DELL'AMBIENTE, DEL SUOLO, DELLE FORESTE E DELL'AGRICOLTURA SONO AUMENTATI GRAZIE AI DATI TELERILEVATI FORNITI DAI SERVIZI IN SVILUPPO BASATI SULL'OSSERVAZIONE DELLA TERRA. L'OBIETTIVO È RENDERE PUBBLICAMENTE DISPONIBILI INFORMAZIONI SEMPRE PIÙ ACCURATE E TEMPESTIVE.

Il monitoraggio dell'ambiente, fondamentale per perseguire la sostenibilità ambientale e supportare i processi decisionali, può essere eseguito con varie metodologie e negli ultimi decenni l'utilizzo di dati telerilevati è aumentato considerevolmente per via delle numerose applicazioni e della capacità di acquisire informazioni sulla copertura del suolo. La copertura del suolo, definita dalla direttiva 2007/2/CE, è la copertura biofisica della superficie terrestre, che include tutte le superfici artificiali, le aree seminaturali e agricole, i boschi e le foreste, i corpi idrici e le zone umide. L'uso del suolo si differenzia dalla copertura in quanto rappresenta la funzione o la destinazione socioeconomica di un certo territorio, come ad esempio l'uso residenziale, industriale, commerciale o ricreativo.

L'osservazione della Terra (Ot), in particolare tramite sensori montati a bordo di satelliti, permette di monitorare la superficie del suolo su aree vaste, permettendo di acquisire immagini nel corso del tempo (fondamentale per rilevare i cambiamenti) e con varie caratteristiche di lunghezza d'onda (ad esempio satelliti multispettrali o radar) che consentono di estrarre informazioni sulle caratteristiche dei materiali al suolo in base al modo in cui le superfici riflettono le onde elettromagnetiche.

A livello europeo sono stati sviluppati vari prodotti dal servizio Copernicus Land (<https://land.copernicus.eu>) e riveste un particolare interesse il sistema di classificazione Eagle definito dalle indicazioni dell'*Eionet action group on land monitoring in Europe* (Eagle, 2020).

Ispra da vari anni è coinvolta nello sviluppo di catene di processamento per il monitoraggio della copertura del suolo, in particolare nell'ambito del progetto "Habitat mapping" insieme all'Agenzia spaziale italiana, utilizzando immagini

satellitari Copernicus Sentinel-1 e Sentinel-2 per lo sviluppo di servizi preoperativi (De Fioravante et al., 2021; Luti et al., 2021; Agrillo et al., 2021). Inoltre, il Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente (Snpa)

ha sviluppato varie metodologie per monitorare la copertura del suolo e la sua evoluzione nel tempo tramite il processamento di dati satellitari, per la produzione di report relativi, ad esempio, al consumo di suolo, cioè la variazione da

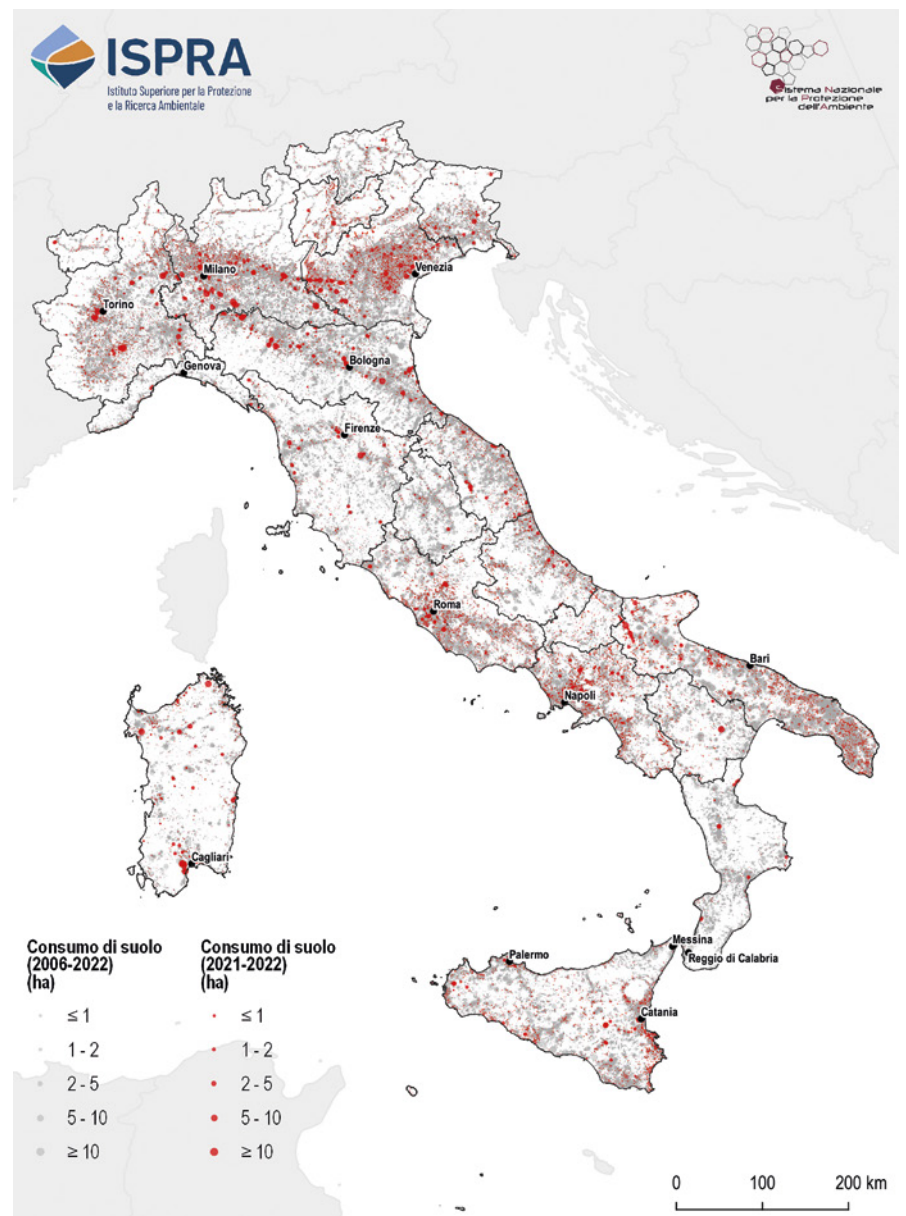


FIG. 1 CONSUMO DEL SUOLO IN ITALIA
Localizzazione dei principali cambiamenti dovuti al consumo di suolo tra il 2006 e il 2022. Fonte: elaborazioni Ispra su cartografia Snpa

una copertura non artificiale (suolo non consumato) a una copertura artificiale del suolo (suolo consumato) anche nell'ambito del ruolo di punto focale nazionale della rete Eionet dell'Agenzia europea per l'ambiente (Munafò, 2023). La legge 28 giugno 2016 n.132 all'articolo 3 attribuisce al Snpa varie funzioni di "monitoraggio dello stato dell'ambiente, del consumo di suolo, delle risorse ambientali e della loro evoluzione in termini quantitativi e qualitativi, eseguito avvalendosi di reti di osservazione e strumenti modellistici". Lo sviluppo di servizi operativi per il monitoraggio dell'uso e della copertura del suolo al livello nazionale richiede la disponibilità di un'infrastruttura dedicata, in particolare per l'elaborazione di una vasta mole di dati tramite processi di *machine learning*.

Il programma Iride

In Italia il *Piano nazionale per lo sviluppo di capacità di osservazione della Terra* (Pnot), a cura del gruppo di lavoro Osservazione della Terra, ha censito i fabbisogni informativi nei vari ambiti istituzionali (www.copernicus-italia.it). A tal proposito, il Governo italiano ha avviato nel 2021 il programma "International report for innovative defence of earth" (Iride) nell'ambito del Piano nazionale di ripresa e resilienza (Pnrr), finalizzata allo sviluppo di un sistema per l'osservazione della Terra completo, comprendendo sia il lancio di satelliti, tra cui radar e ottici, e lo sviluppo di una serie di servizi geospaziali elaborati dai dati satellitari e integrati con altri dati disponibili, che mirano a soddisfare i fabbisogni individuati dal Pnot in vari ambiti (domini applicativi), tra cui il monitoraggio della copertura del suolo, la gestione forestale e l'agricoltura.

Il programma ha un budget complessivo di circa 1,1 miliardi di euro e si concluderà entro il 2026. Lo sviluppo del sistema Iride è stato affidato all'Agenzia spaziale europea (Esa), che ha coinvolto oltre 50 aziende italiane (Brochure Iride, 2024). Tutti i servizi sviluppati saranno disponibili tramite un *marketplace* che consentirà l'accesso ai dati, provenienti sia da Iride sia da fonti esterne, permettendone la visualizzazione e l'analisi (www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/Iride_La_squadra_e_al_completo). Nell'ambito dei servizi Iride, Ispra e Snpa sono utenti di numerosi servizi di monitoraggio e sono impegnati nel processo di valutazione e validazione da

cui emergeranno i servizi operativi al termine dello sviluppo nel 2026.

I servizi Iride relativi al dominio ambiente coprono, in particolare, diversi ambiti tematici: fascia costiera, qualità dell'aria, movimenti del terreno, copertura e uso del suolo, idro-meteo-clima e risorse idriche. Tra quelli che avranno l'obiettivo di monitorare lo stato e i cambiamenti della copertura e dell'uso del suolo a varie scale, ci sono:

- mappatura e monitoraggio della copertura e dell'uso del suolo
- mappatura e monitoraggio del consumo di suolo
- mappatura degli habitat naturali
- monitoraggio delle isole di calore urbano
- caratterizzazione delle aree verdi urbane.

Nel contesto della gestione delle foreste, i servizi Iride che contribuiranno al monitoraggio dello stato di salute delle foreste e dei disturbi, sono:

- supporto alla mappatura delle foreste nazionali
- mappatura post-evento delle aree forestali incendiate
- supporto alla valutazione dei danni da incendio
- supporto alla valutazione della salute delle foreste
- supporto alla stima degli indici dei serbatoi di carbonio.

Infine, saranno sviluppati servizi per il monitoraggio delle attività agricole, tra cui:

- supporto al monitoraggio del carbonio organico nel suolo
- supporto alla mappatura del rischio di erosione
- supporto alla mappatura delle colture azoto-fissatrici

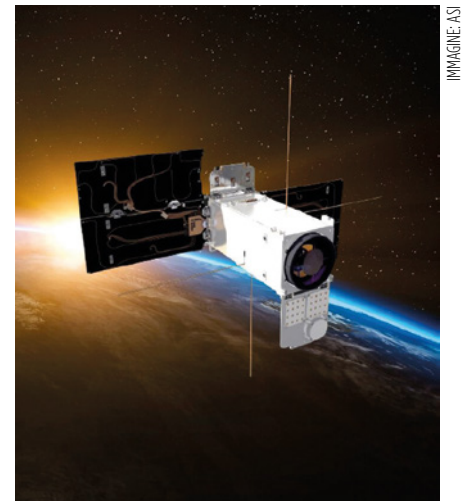


IMMAGINE: ASI

- mappatura del fabbisogno idrico e del consumo dei volumi d'acqua a fini agricoli
- supporto alla identificazione di indici per la valutazione della salute delle colture
- supporto alla politica agricola comunitaria.

Al termine del processo di sviluppo, questi servizi saranno auspicabilmente integrati nei vari processi utili per migliorare la risposta del Snpa e di altri enti ai propri compiti istituzionali e a rendere pubblicamente disponibili informazioni sempre più accurate e tempestive.

Luca Congedo¹, Michele Munafò², Andrea Taramelli³

1. Sistema informativo nazionale ambientale (Dg-Sina), Ispra
2. Dirigente Sistema informativo nazionale ambientale (Dg-Sina), Ispra
3. Istituto universitario di studi superiori di Pavia (Iuss)

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Agrillo E., Filippini F., Pezzarossa A., Casella L., Smiraglia D., Orasi A., Attorre F., Taramelli A., 2021, "Earth observation and biodiversity big data for forest habitat types classification and mapping", *Remote Sensing*, 13(7), 1231, <https://doi.org/10.3390/rs13071231>

Brochure Iride, 2024, <https://indd.adobe.com/view/ec6c1320-2357-4d75-889f-e29baf505c3c>

Eagle, 2020, *Explanatory documentation* su <https://land.copernicus.eu/en/eagle>

De Fioravante P., Luti T., Cavalli A., Giuliani C., Dichicco P., Marchetti M., Chirici G., Congedo L., Munafò M., 2021, "Multispectral Sentinel-2 and Sar Sentinel-1 integration for automatic land cover classification", *Land*, 10 (6), <https://doi.org/10.3390/land10060611>

Luti T., De Fioravante P., Marinosci I., Strollo A., Riitano N., Falanga V., Mariani L., Congedo L., Munafò M., 2021, "Land consumption monitoring with Sar data and multispectral indices", *Remote Sensing*, 13(8), <https://doi.org/10.3390/rs13081586>

Munafò M. (a cura di), 2023, *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2023*, Report Snpa 37/23, www.snpambiente.it/snpa/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2023

L'IA PER IL MONITORAGGIO DEL TERRITORIO

I PROGETTI RECENTI EVIDENZIANO LE CAPACITÀ DI QUESTE TECNOLOGIE, OFFRENDO BASI PER MIGLIORARE L'ACCURATEZZA E LA TEMPESTIVITÀ DEI DATI. RIMANGONO SFIDE SIGNIFICATIVE, COME LA NECESSITÀ DI DATASET DI ALTA QUALITÀ PER L'ADDESTRAMENTO DEGLI ALGORITMI E LA GENERALIZZAZIONE DEI MODELLI SU DIVERSE AREE GEOGRAFICHE.

Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale (Ia) ha trasformato radicalmente numerosi settori, cambiando il modo in cui raccogliamo, analizziamo e utilizziamo le informazioni. Grazie alla sua capacità di elaborare rapidamente grandi volumi di dati complessi, l'Ia ha dimostrato un notevole potenziale in vari ambiti, tra cui il monitoraggio ambientale. Ciò apre nuove possibilità per studiare e comprendere le dinamiche ambientali, diventando uno strumento chiave per la salvaguardia del nostro pianeta.

Nel contesto del monitoraggio territoriale, l'Ia combinata con il telerilevamento ha ottenuto risultati notevoli. I principali campi di applicazione includono:

- monitoraggio dei cambiamenti nel suolo: rileva modifiche nell'uso e nella copertura del suolo producendo cartografia aggiornata per identificare fenomeni come deforestazione, urbanizzazione e supportare la pianificazione territoriale
- rilevamento delle aree di degrado: identifica processi di erosione e desertificazione, permettendo interventi tempestivi nella gestione delle aree degradate
- mappatura della biodiversità: combina immagini satellitari e dati *in situ* per prevedere e favorire la conservazione delle specie
- identificazione di infrastrutture non autorizzate: analizza immagini in ambito urbano per monitorare e far rispettare le normative edilizie.

Intelligenza artificiale per uso e copertura del suolo

Un settore in cui l'intelligenza artificiale ha avuto un impatto significativo è la mappatura dell'uso e della copertura del suolo (Lulc) mediante immagini satellitari



1.1 Superfici artificiali ed edifici



1.2 Superfici naturali (non vegetate)



2.1 Vegetazione legnosa



2.2 Vegetazione erbacea

FIG. 1 COPERTURA DEL SUOLO A ROMA

Esempi di classi di copertura del suolo ottenuti da classificazione automatica del comune di Roma tramite deep learning.

o aeree. Disporre di dati aggiornati e affidabili su tali aspetti è cruciale per valutare l'impatto delle attività umane sul territorio e sugli ecosistemi, orientando le decisioni verso una gestione sostenibile del suolo. I cambiamenti di Lucl possono influenzare la biodiversità, le funzioni ecologiche e i cicli biogeochimici. Un'analisi accurata è quindi essenziale per raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile stabiliti dalle Nazioni unite (United Nations, 2015).

In Europa, il programma *Copernicus Land monitoring service* (Eea, 2023) fornisce una vasta gamma di dati su Lucl. Sebbene affidabili e ampiamente utilizzati, questi dati presentano limitazioni, come la bassa frequenza di aggiornamento e sistemi di classificazione misti.

La crescente disponibilità di dati satellitari ha facilitato lo sviluppo di nuove tecniche di mappatura, ma la loro gestione rimane complessa a causa della varietà intrinseca delle immagini, delle diverse scale di rilevamento e della necessità di tecnologie e software specializzati. In particolare, la mappatura del Lucl attraverso telerilevamento rappresenta una sfida significativa. Ciò è dovuto alla vasta gamma di elementi antropici e naturali con caratteristiche diverse (colori, forme e texture). Tale complessità si intensifica nei contesti

dinamici, come le aree urbane e periurbane, dove fenomeni rapidi, come l'abusivismo edilizio e i cantieri, richiedono un monitoraggio continuo e preciso. In questo contesto l'Ia diventa fondamentale, riuscendo a gestire e strutturare l'enorme flusso di informazioni disponibili e offrendo soluzioni avanzate.

I nuovi metodi di elaborazione delle immagini stanno migliorando l'efficacia della classificazione Lucl. In particolare, i modelli di *deep learning* (Dl), basati su reti neurali artificiali, hanno assunto un ruolo predominante, con applicazioni di successo in contesti urbani, agricoli e forestali. Tra le tecniche più diffuse si incontrano le *Convolutional neural networks* (Cnn), le *Recurrent neural networks* (Rnn), le *Generative adversarial networks* (Gan) e le *Long short-term memory* (Lstm).

Attualmente, le Cnn sono le più ampiamente adottate in tale ambito,

grazie alla loro capacità di integrare caratteristiche spettrali delle immagini con il contesto spaziale. La loro tipica architettura a strati consente di catturare pattern complessi a diverse scale, migliorando così la classificazione di superfici eterogenee. Queste qualità, insieme alla loro scalabilità e all'efficacia nella gestione di grandi volumi di dati, hanno fatto dell'algoritmo Cnn uno strumento sempre più presente nella mappatura della Lucl.

Le attività sperimentali di Ispra

Ispra è attivamente impegnato nel miglioramento della mappatura del suolo, integrando immagini satellitari e tecnologie Ia. L'obiettivo è creare una cartografia aggiornata e ad alta risoluzione spaziale, utile per monitorare il territorio, il paesaggio e i processi

TAB. 1 CLASSIFICAZIONE AUTOMATICA DELLA COPERTURA DEL SUOLO

Sistema di classificazione adottato ispirato al modello Eagle.

I Level	II Level
Superfici abiotiche - non vegetate	- Superfici abiotiche artificiali - Superfici abiotiche naturali
Superfici vegetate	- Vegetazione legnosa - Vegetazione erbacea
Corpi idrici	



FIG. 2 COPERTURA DEL SUOLO 2019

Copernicus Land monitoring service fornisce informazioni spaziali a livello globale su diversi tipi (classi) di copertura fisica della superficie terrestre e uso. Nell'immagine si riporta il prodotto Dynamic Land Cover per l'anno base 2019, i cui dati vengono aggiornati annualmente e sono disponibili per gli anni 2015-2019 (<https://land.copernicus.eu/en/map-viewer?product=333e4100b79045daa0ff16466ac83b7f1>).

naturali e antropogenici. In particolare, Ispra ha avviato sperimentazioni per la classificazione automatica della copertura del suolo, utilizzando algoritmi di DL su immagini multispettrali del satellite Sentinel-2. Questo approccio è stato applicato ai comuni di Roma e Pescara, impiegando il sistema di classificazione di *tabella 1*, che segue il modello europeo Eagle (Arnold et al., 2013).

Nel caso di Roma, sono stati testati due modelli Cnn: Vgg16 e Dense Net121. Entrambi con architetture avanzate che permettono una robusta estrazione di caratteristiche da immagini complesse e a elevata dimensionalità. Vgg16, noto per la sua profondità, consente un'elevata analisi gerarchica delle immagini, catturando pattern complessi. Dense Net121 introduce una connessione diretta tra ogni strato, garantendo un flusso d'informazione più efficiente. I modelli sono stati applicati su immagini singole e su configurazioni multi-temporali. I risultati hanno mostrato accuratèzze tra il 67% e l'87%, a seconda del modello e della data di riferimento. Vgg16 ha ottenuto l'accuratèzza maggiore nell'analisi multi-temporale, dimostrandosi particolarmente efficace nella classificazione delle aree urbane (*figura 1*). Dense Net121, sebbene efficace, ha mostrato una leggera riduzione dell'accuratèzza complessiva (72%).

Per Pescara, l'analisi ha coinvolto immagini tra il 2018 e il 2021, insieme agli indici spettrali Ndvi e Ndwi per affinare l'identificazione di vegetazione e acqua. Inoltre è stato dedicato un focus particolare all'ottimizzazione dei parametri della rete. È stata testata una semplice Cnn su due scenari: il primo utilizzando immagini dello stesso anno ma di stagioni diverse, il secondo utilizzando immagini di anni diversi ma dello stesso periodo. I risultati evidenziano che il secondo scenario ha prodotto le migliori performance, con un'accuratèzza complessiva del 75% (*figura 3*). Questo suggerisce che l'aspetto temporale è cruciale, poiché le variazioni stagionali possono introdurre problematiche che richiedono una maggiore capacità di generalizzazione da parte del modello (Munafò, 2023).

Le sperimentazioni condotte da Ispra e i recenti progetti *Dynamic world* (Brown et al., 2022) di Google e Esri 2020 Global land use land cover (Karra et al., 2021) evidenziano le promettenti capacità di

queste tecnologie per il monitoraggio del territorio, offrendo solide basi per migliorare l'accuratèzza e la tempestività di produzione dei dati. Tuttavia, rimangono delle sfide significative, come la necessità di dataset di alta qualità per l'addestramento degli algoritmi e la generalizzazione dei modelli su diverse aree geografiche.

Le future ricerche potrebbero concentrarsi sull'integrazione di nuovi tipi di dati e sull'uso di tecniche di *transfer learning*. Con l'aumento della disponibilità di

dati ad alta risoluzione e il continuo perfezionamento degli algoritmi di IA, si prevede una risoluzione di molte delle attuali limitazioni, facilitando una migliore gestione territoriale.

Giulia Cecili

Dottoranda dell'Università degli studi del Molise presso Ispra

Supervisor: Luca Congedo (Sistema informativo nazionale ambientale, Ispra) e Marco Marchetti (Department of architecture and project, Università di Roma La Sapienza)

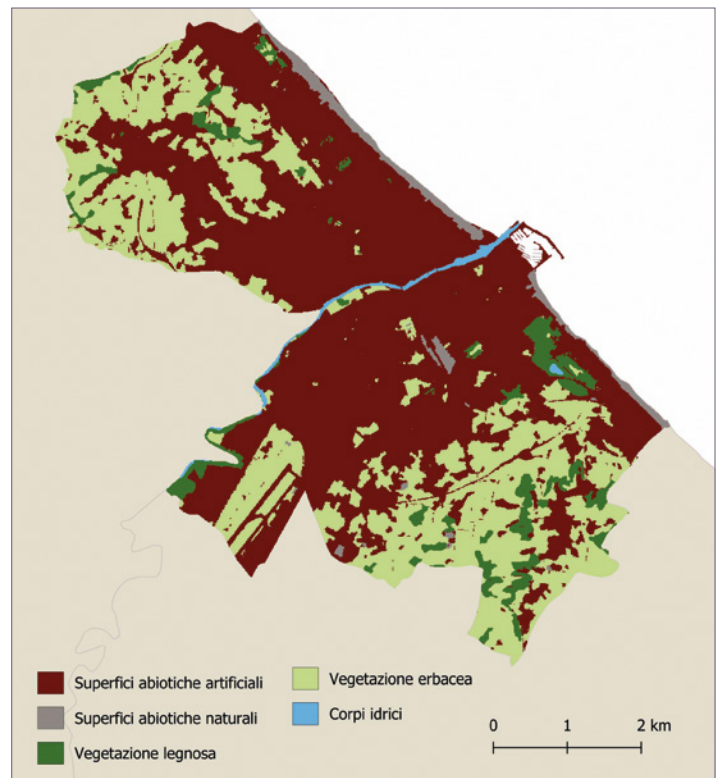


FIG. 3
COPERTURA DEL
SUOLO A PESCARA

Classificazione al 2021
ottenuta tramite deep
learning.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Arnold S., Kosztra B., Banko G., Smith G., Hazeu G., Bock M., Sanz N. V., 2013, "The Eagle concept-A vision of a future. European land monitoring framework", Official land use and areal statistics view project corine laCd cover view project, www.researchgate.net/publication/257985598
- Brown C.F., Brumby S.P., Guzder-Williams B., Birch T., Hyde S.B., Mazzariello J., Czerwinski W., Pasquarella V.J., Haertel R., Ilyushchenko S., Schwehr K., Weisse M., Stolle F., Hanson C., Guinan O., Moore R., Tait A. M., 2022, "Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping", *Scientific Data*, 9(1), <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>
- Eea, 2023, 27 febbraio, Copernicus land monitoring service, <https://land.copernicus.eu/>
- Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., Mazzariello J.C., Mathis M., Brumby S.P., 2021, "Global land use/land cover with sentinel 2 and deep learning", *International geoscience and remote sensing symposium (IGARSS)*, 2021-july, 4704-4707, <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>
- Munafò M., *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*, Edizione 2023, Rapporto Ispra-Snpa.
- United Nations, 2015, "Transforming our World: The 2030 Agenda for sustainable development", A/RES/70/1.

LE PROSPETTIVE DELL'IA IN METEOROLOGIA

CON L'USO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE È STATO FATTO UN PASSO IN AVANTI PER PREVISIONI METEOROLOGICHE PIÙ VELOCI E ACCURATE GRAZIE ALLA CAPACITÀ DI GESTIRE GRANDI QUANTITÀ DI DATI E L'ELEVATA RAPIDITÀ DI ELABORAZIONE DELLE INFORMAZIONI. TUTTAVIA ESISTONO ANCORA DELLE LIMITAZIONI SU CUI SI DOVRÀ CONCENTRARE LA RICERCA.

Negli ultimi anni l'intelligenza artificiale (Ia) è stata utilizzata con successo in numerosi settori e uno dei campi di applicazione più promettenti è sicuramente quello delle previsioni meteorologiche. Il sistema Terra, infatti, è molto complesso, essendo costituito da numerose componenti (atmosfera, oceano, superficie terrestre, radiazione, nubi ecc.) che interagiscono tra loro in modo non lineare. La maggior parte della fisica che governa queste componenti è ben nota, ma alcune caratteristiche, e in particolare le interazioni tra di esse, sono ancora difficili da descrivere e da tradurre in un modello numerico. D'altra parte, è disponibile un'enorme quantità di dati sul sistema terrestre globale e la loro mole continuerà a crescere in futuro, ma non è affatto facile estrarre tutte le informazioni rilevanti e mettere in relazione i diversi dataset di osservazioni tra loro. In questo contesto le tecniche di Ia come la *machine learning* (MI) risultano particolarmente

adeguate in quanto permettono di gestire i *big data* meteorologici e le complesse relazioni tra di essi, migliorando la precisione della previsione e riducendo significativamente il tempo di calcolo.

Il *nowcasting*, ovvero la previsione meteorologica a brevissimo termine (fino a 3-6 ore), è uno degli ambiti in cui l'Ia ha avuto il maggiore impatto. Tradizionalmente il *nowcasting* si basa sull'estrapolazione nel tempo di osservazioni meteorologiche, in particolare da radar, per proiettarne il comportamento nelle ore successive. Con l'avvento dell'Ia, gli algoritmi di MI sono stati utilizzati per analizzare immagini satellitari, dati radar e informazioni da altri sensori e fonti per identificare *pattern* meteorologici complessi e prevederne l'evoluzione nel tempo. Un esempio significativo è quello del sistema *DeepMind* sviluppato da Google che, usando reti neurali per migliorare il *nowcasting* delle precipitazioni, ha

mostrato per la prima volta come un metodo di Ia possa permettere di ottenere risultati più accurati rispetto ai metodi tradizionali. A questo si sono aggiunti numerosi altri studi e lavori, come quello del progetto Mia-Rad tra la Fondazione Bruno Kessler e Arpa Emilia-Romagna che ha permesso di sviluppare un modello di *nowcasting* basato sull'uso di dati di riflettività radar e di fulminazioni, utilizzando tecniche di *deep learning*.

Nel campo delle previsioni meteorologiche a breve (fino a 2-3 giorni) e a medio-lungo termine (fino a 15 giorni), l'Ia può essere utilizzata sia per accelerare sia per migliorare i modelli. Per accelerazione si intende l'ottimizzazione di alcune componenti del modello meteorologico che può essere ottenuta sostituendo una componente costosa dal punto di vista computazionale con una sua emulazione generata mediante MI. Un'area di ricerca molto attiva in questo contesto riguarda la parametrizzazione

"BIG DATA... BETTER FORECAST?"

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE SOSTITUIRÀ I METEOROLOGI? IL TENTATIVO DI RISPOSTA AL WORKSHOP DI FIRENZE

Il ruolo dell'intelligenza artificiale nelle previsioni meteorologiche è stato il tema del workshop "Big data... better forecast?" che si è svolto il 19 settembre 2024 a Firenze, presso l'Innovation Center, per fare il punto su come sta cambiando e come cambierà il ruolo del meteorologo con l'introduzione delle tecnologie basate sull'intelligenza artificiale e sul *machine learning* per l'analisi e la previsione dei fenomeni atmosferici.

L'evento, organizzato dalla sezione professionisti di Aisam, dal Consorzio Lamma e dall'Agenzia ItaliaMeteo, ha rappresentato un'occasione di aggiornamento e confronto per comprendere lo stato attuale e le prospettive di sviluppo della modellistica numerica *data-driven* a livello europeo e ha visto la partecipazione di oltre cento previsori e ricercatori provenienti da tutta Italia.

Dopo la mattinata dedicata agli interventi dei relatori internazionali, Umberto Modigliani del settore Previsioni Meteo dell'Ecmwf e Arianna Valmassoi, ricercatrice del Dwd (Servizio meteorologico nazionale tedesco), il pomeriggio è proseguito con interessanti approfondimenti sulle esperienze di applicazione operative e pre-operative dell'intelligenza artificiale nei centri di ricerca e nei servizi meteorologici italiani.

La registrazione dell'evento è disponibile sul canale YouTube del Consorzio Lamma (www.youtube.com/@ConsorzioLaMMAvideo).



dei processi fisici, ovvero quei processi che non vengono risolti direttamente dal modello ma che vengono stimati a partire dalle sue variabili prognostiche. Questi processi, come la radiazione, la turbolenza a piccola scala e la microfisica delle nubi, presentano incertezze considerevoli e, spesso, modellarli in modo accurato richiede risorse di calcolo troppo grandi che rallenterebbero la produzione dell'intera previsione meteorologica. L'accelerazione è quindi importante perché consente di ridurre il tempo necessario per ottenere una previsione. Inoltre, il risparmio computazionale ottenuto può essere reinvestito, ad esempio aumentando la complessità delle parametrizzazioni, migliorando la risoluzione spaziale del modello o aumentando il numero di previsioni in *ensemble*. In questo modo si migliora anche la qualità complessiva della previsione.

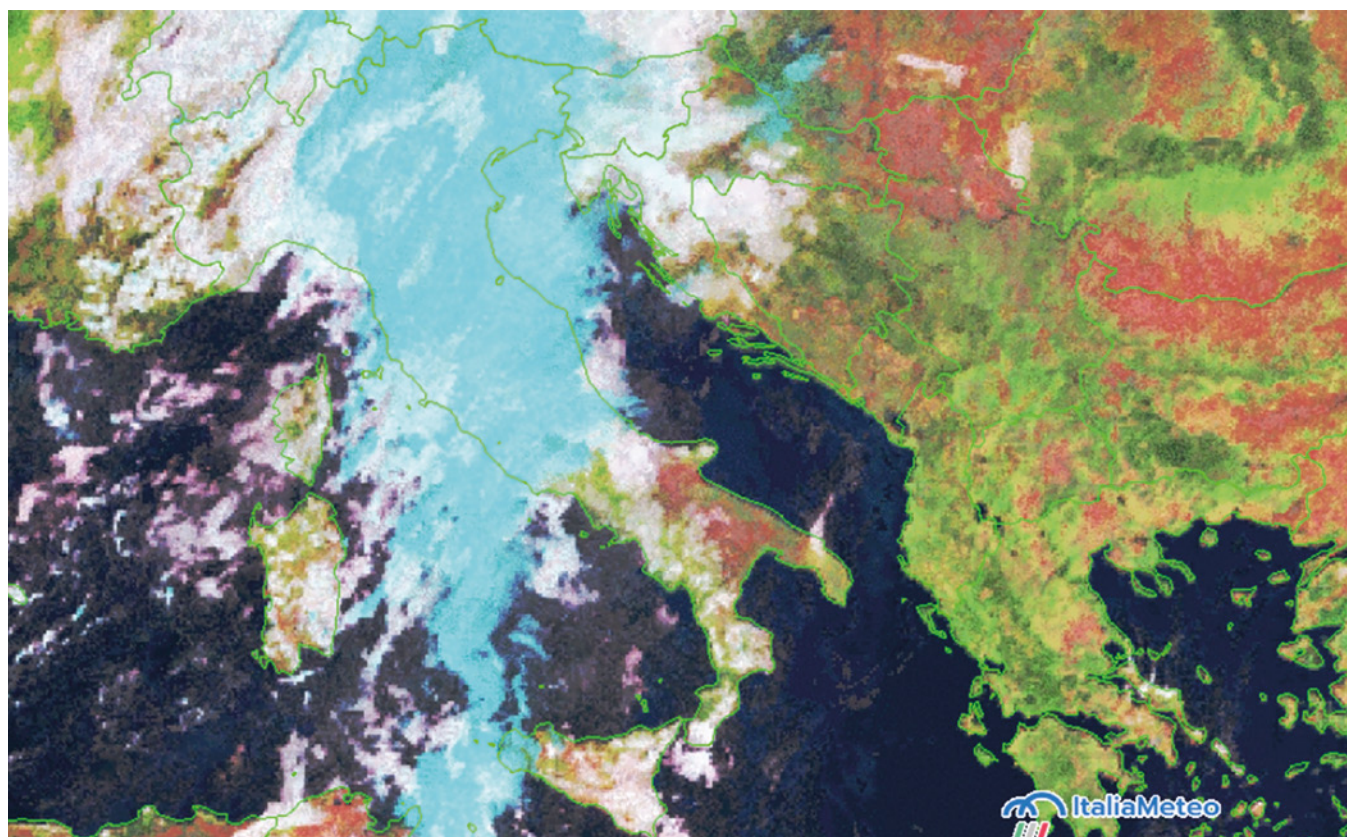
Per quanto riguarda il miglioramento del modello mediante MI, si intende la creazione di nuove componenti del modello mediante l'utilizzo di simulazioni ad alta risoluzione o osservazioni. L'esempio più estremo di applicazione di questo approccio consiste nel sostituire l'intero modello di previsione meteorologica con uno basato esclusivamente sull'IA. Tra il 2022 e il 2023, tre multinazionali *leader* nel campo della tecnologia hanno rilasciato modelli

basati su questo approccio: FourCastNet sviluppato da Nvidia, Pangu-Weather prodotto da Huawei e GraphCast generato da Google. Questi modelli hanno tutti dimostrato di produrre previsioni fino a 10 giorni dell'altezza di geopotenziale di 500 hPa, una delle variabili più analizzata dai previsori, con un'accuratezza uguale o migliore rispetto a quella dei più avanzati modelli fisici globali. Inoltre, riescono a ottenere queste previsioni in pochi secondi o minuti, molto più rapidamente rispetto ai modelli fisici tradizionali che impiegano fino a qualche ora. L'avvento di FourCastNet, Pangu-Weather e GraphCast ha dato un forte slancio alla ricerca in questo settore.

A distanza di poco tempo, i principali centri meteorologici del mondo hanno cominciato a sviluppare le proprie versioni dei modelli meteorologici basati sul MI, come Ecmwf che ha reso disponibile il suo *Artificial intelligence forecasting system* (Aifs). Le novità in questo campo sono quindi all'ordine del giorno e i miglioramenti in termini di accuratezza e performance sono continui. È importante notare, però, che la caratteristica comune di tutti questi modelli è quella di essere stati allenati sulle rianalisi di Era5, ovvero un dataset globale in cui sono ricostruite le condizioni atmosferiche del passato a partire dal 1940. Queste rianalisi

sono create utilizzando le osservazioni e un modello tradizionale di previsione meteorologica. Inoltre, le stesse previsioni dei modelli di MI sono inizializzate a partire dalle analisi create dai sistemi tradizionali di assimilazione dati che si basano su osservazioni e modelli fisici. Pertanto, il futuro miglioramento dei modelli basati sul MI non si può slegare dal miglioramento dei modelli fisici tradizionali. Per provare a superare questa limitazione c'è una fervente ricerca volta a sviluppare modelli di MI a partire direttamente dalle osservazioni dello stato dell'atmosfera, senza ricorrere ad analisi o rianalisi. Tuttavia, data la natura irregolare delle osservazioni, sia spaziale che temporale, la sfida è alquanto complessa e non c'è ancora consenso tra gli esperti sugli esiti di questo approccio.

Nel campo delle previsioni meteorologiche, il MI viene anche utilizzato per correggere gli errori sistematici nei modelli numerici tradizionali, riducendo l'incertezza e migliorando l'accuratezza delle previsioni a livello locale. Inoltre, il MI è adottato per effettuare il cosiddetto *downscaling* statistico dei modelli tradizionali. Con questa tecnica è possibile aumentare la risoluzione spaziale delle previsioni e quindi di descrivere eventi atmosferici su piccola scala, come le isole di calore urbano o gli effetti che un'orografia complessa (associata alla presenza di



valli e montagne) ha sulle variabili meteorologiche. Anche in questo caso, il vantaggio di usare il MI è che, oltre a migliorare la qualità dei prodotti generati, vengono ridotti drasticamente i tempi di elaborazione rispetto agli approcci classici.

In conclusione, l'Ia offre prospettive significative per il futuro delle previsioni meteorologiche, grazie alla sua capacità di gestire grandi quantità di dati e alla velocità con cui elabora le informazioni. Già negli ultimi anni ha permesso un significativo avanzamento in numerosi contesti, migliorando la nostra capacità di prevedere l'evoluzione del tempo. Considerato il campo di ricerca molto recente, è lecito attendersi ulteriori rapidi sviluppi e miglioramenti nei prossimi anni. Tuttavia, esistono ancora delle limitazioni. I modelli di Ia sono fortemente dipendenti dai dati di allenamento che, escluso il *nowcasting*, provengono in gran parte da rianalisi basate su modelli fisici tradizionali, come Era5. Di conseguenza, miglioramenti nei modelli di Ia sono vincolati anche al progresso dei modelli numerici tradizionali e delle tecniche di assimilazione dei dati, almeno fin quando non si riuscirà ad allenare i modelli esclusivamente sulle osservazioni. Inoltre,

nonostante l'Ia eccella nell'identificare *pattern* e ottimizzare processi complessi, manca di una comprensione fisica esplicita, il che può renderla meno affidabile in condizioni atmosferiche insolite o mai osservate prima. Il bilanciamento tra modelli numerici e modelli basati sull'intelligenza artificiale sarà quindi cruciale per ottenere sistemi di previsione sempre più robusti ed efficienti.

Il futuro vedrà sempre più un uso combinato delle tecniche tradizionali di modellazione meteorologica con queste nuove tecnologie di Ia, per beneficiare di tutti i vantaggi che entrambe le metodologie possiedono.

Creare dei sistemi di modellazione misti (in gergo *data fusion*) è uno degli obiettivi dell'Agenzia ItaliaMeteo, che intende sviluppare modelli di Ia in sinergia con gli attori che in Italia si stanno già cimentando in questo ambito e mettere in rete i dati e le informazioni disponibili, in particolare per migliorare la previsione degli eventi estremi, sempre più intensi e frequenti, e per soddisfare in maniera più efficace le esigenze dei diversi *stakeholder*.

Thomas Gastaldo, Carlo Cacciamani, Alessandra De Savino

ItaliaMeteo

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Ben Bouallègue Z., Clare M.C.A., Magnusson L., Gascón E., Maier-Gerber M., Janoušek M., Rodwell M., Pinault F., Dramsch J.S., Lang S.T.K., Raoult B., Rabier F., Chevallier M., Sandu I., Dueben P., Chantry M., Pappenberger F., 2024, "The rise of data-driven weather forecasting: a first statistical assessment of machine learning-based weather forecasts in an operational-like context", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 105(6), E864-E883. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0162.1>

Dueben P., Modigliani U., Geer A., Siemen S., Pappenberger F., Bauer P., Brown A., Palkovic M., Raoult B., Wedi N., Baousis V., 2021, *Machine learning at Ecmwf: a roadmap for the next 10 years*, Technical Memorandum No. 878. <https://doi.org/10.21957/ge7ckgm>

Fondazione Bruno Kessler Magazine, <https://magazine.fbk.eu/it/>



FOTO: GEORGE DESPIRIS - PEXELS

L'UTILIZZO DEL MACHINE LEARNING IN METEOROLOGIA

INTERVISTA ALLA DIRETTRICE GENERALE DEL CENTRO METEO EUROPEO PER LE PREVISIONI A MEDIO TERMINE (ECMWF) FLORENCE RABIER. IL MACHINE LEARNING SVOLGERÀ UN RUOLO SEMPRE PIÙ IMPORTANTE NELLA PREVISIONE NUMERICA, PER POTENZIARE LE TECNICHE TRADIZIONALI E SVILUPPARE NUOVI SISTEMI ORA IN FASE DI SPERIMENTAZIONE.

Negli ultimi anni il machine learning è entrato nel campo delle previsioni meteorologiche numeriche. Perché questo è importante per l'Ecmwf?

Le applicazioni di intelligenza artificiale e *machine learning* si sono recentemente ampliate in modo significativo in tutti i settori. Il *machine learning* utilizza molti dati per produrre i risultati, e l'attività Ecmwf è tutta basata sui dati: ne utilizziamo molti – decine di milioni di osservazioni meteorologiche al giorno – e ne creiamo molti producendo analisi e previsioni meteorologiche ad alta risoluzione.

Tradizionalmente, utilizziamo metodi basati sulla fisica per i nostri calcoli nel Sistema integrato di previsione (*Integrated forecasting system, Ifs*).

Questo avviene per le previsioni meteo numeriche (*Numerical weather prediction, Nwp*), le rianalisi del tempo passato e la composizione chimica dell'atmosfera. Tutte le operazioni richiedono una grande potenza di calcolo per produrre previsioni di alta qualità, basate su una descrizione accurata dei processi fisici. Il *machine learning* può migliorare i nostri calcoli aggiungendo componenti o sostituendo alcune parti del processo. Questo è ciò che chiamiamo approccio "ibrido". Ma il *machine learning* può anche sostituire completamente l'intero modello, con un costo di calcolo molto inferiore. Inoltre, l'intelligenza artificiale e il *machine learning* aprono nuove strade in altre attività in cui siamo coinvolti, come le previsioni di inondazioni, le previsioni di pericolo d'incendio, il monitoraggio delle osservazioni, la gestione dei supercomputer o il miglioramento dell'esperienza degli utenti.

Come funziona l'approccio ibrido?

Il *machine learning* può essere utilizzato per valutare meglio alcune componenti delle previsioni meteo numeriche e per stimare gli errori del modello. Questo è



valido per il processo di definizione delle migliori condizioni iniziali possibili delle previsioni, denominato assimilazione dei dati, ma anche per le previsioni stesse. Aspetti del sistema Terra, quali ghiaccio marino, neve, suolo e vegetazione, sono difficili da modellare dalla fisica pura; la modellizzazione può essere abbastanza empirica. In questi casi, c'è un grande potenziale per far sì che le osservazioni definiscano sempre di più i modelli. Come abbiamo dimostrato per l'assimilazione del ghiaccio marino, è più probabile che si ottengano i migliori risultati combinando con cura la fisica nota con componenti empiriche e di *machine learning*, piuttosto che scartando completamente i modelli fisici. Esistono anche errori prevedibili del modello che, utilizzando il *machine learning*, possiamo stimare e rimuovere dall'assimilazione dei dati e dalle previsioni successive. Anche le rianalisi meteorologiche e climatiche possono trarre vantaggio dal *machine learning*.

Per esempio, per la prossima rianalisi dell'Ecmwf, applicheremo Era6, un metodo di correzione degli errori del modello basato su *machine learning* che è stato sviluppato per il periodo a partire dal 2006, ricco di osservazioni satellitari, verrà applicato anche a periodi precedenti con scarsità di dati.

Quali progressi sono stati compiuti sui sistemi di previsione basati esclusivamente sul machine learning?

Abbiamo fatto enormi progressi negli ultimi 18 mesi circa nella costruzione di un sistema di questo tipo, l'*Artificial intelligence forecasting system (Aifs)*. Questo è il risultato delle decisioni prese dai nostri Stati membri in materia di investimenti, della motivazione e dedizione del nostro personale e dell'impegno di collaborazione con i partner. L'Aifs utilizza le rianalisi climatiche e meteorologiche di Copernicus per l'addestramento e si basa

sulle condizioni iniziali dell'Ifs, quindi non è completamente separato dalle tecniche tradizionali. Ma fa previsioni solo sulla base del *machine learning*. Quest'anno abbiamo ridotto il passo di griglia dell'Aifs da 100 a 28 km e diminuirà ulteriormente. Si può paragonare questo dato con la spaziatura attuale di 9 km per l'Ifs. Abbiamo anche costruito un primo sistema di *ensemble* Aifs, in cui sono fatte previsioni leggermente diverse per ogni momento futuro per analizzare gli scenari possibili e quindi consentire la stima dell'incertezza. Queste previsioni sono state aggiunte alla nostra pagina web che contiene i grafici e sono disponibili anche come open data. Stiamo esaminando le scale temporali sub-stagionali, fino a 46 giorni in anticipo, e l'aggiunta di varie componenti del sistema Terra. Sono previsti inoltre progetti per previsioni Aifs di tipo idrologico e sulla composizione atmosferica. Stiamo collaborando a un progetto pilota di *machine learning* Ecmwf con gli Stati membri e i paesi cooperanti, e partecipiamo a un'iniziativa Eumetnet sull'intelligenza artificiale. Ciò ci aiuterà a mettere a confronto diversi approcci, con scale temporali e risoluzioni differenti. La collaborazione con i nostri Stati membri e cooperanti è fondamentale anche per lo sviluppo di una piattaforma chiamata Anemoi, che consentirà agli utenti di costruire i propri modelli di *machine learning*.

A che punto è l'utilizzo del machine learning solo sulle osservazioni?

Nell'ultimo anno abbiamo avviato un approccio radicalmente nuovo alla previsione meteorologica: la produzione di previsioni meteo direttamente

dalle osservazioni. L'assimilazione dei dati basati sulla fisica si fonda su alcune assunzioni, come la perfetta conoscenza degli errori dei modelli e dell'osservazione, così come del legame tra il modello e le osservazioni. Il nuovo approccio cerca di aggirare questi aspetti dell'assimilazione convenzionale dei dati. Questo significa che le osservazioni non devono essere mappate su una griglia fine di parametri non misurati. Inoltre, offre la possibilità di sfruttare il contenuto informativo di nuove e interessanti osservazioni. Questo progetto *Ai-Direct observation prediction* (Ai-Dop) prevede una rete neurale addestrata a prevedere le osservazioni future a partire da lunghe registrazioni storiche di osservazioni passate. Con questo nuovo approccio, utilizziamo effettivamente le osservazioni per prevedere gli stati futuri dell'atmosfera, con un apprendimento diretto dalle osservazioni stesse. I primi risultati sono molto promettenti, ma questo approccio è ancora sperimentale.

Cosa ci aspetta per il futuro?

Nel 2025 il sistema Aifs sarà operativo come complemento dell'Ifs. Il lavoro continuerà a migliorare ulteriormente la modellizzazione del *machine learning* e ad aumentare la risoluzione spaziale, andando verso i 9 km. Oltre al medio raggio, saranno sviluppati approcci ibridi e basati sui dati per i sistemi di previsione stagionale e sub-stagionale. Un Aifs operativo per queste scale temporali sarà sviluppato entro il 2026. Nell'ambito dell'iniziativa dell'Unione europea *Destination Earth*, la portata dell'Aifs sarà ampliata per includere i processi relativi agli oceani, al ghiaccio

marino, al terreno, all'idrologia e alle onde. L'Ecmwf potrebbe anche contribuire con la sua grande esperienza e le sue risorse a sostenere le *Ai Factories* della Commissione europea. Nell'ambito dei servizi Copernicus dell'Ue, saranno esplorati un modello ibrido e un modello di composizione atmosferica Aifs, nonché metodi basati sul *machine learning* per il ridimensionamento della ri-analisi globale Era5 alle regioni europee e artiche. Continuerà l'uso diretto delle osservazioni nello sviluppo di modelli di *machine learning*. In collaborazione con partner di tutta la comunità meteorologica europea, stiamo anche progettando di sviluppare un modello di base per il tempo e il clima entro il 2027, che utilizzerà una grande varietà di dati e avrà la possibilità di adattarsi a una vasta gamma di compiti. Per esempio, fungerà da strumento di previsione, ridimensionamento e post-elaborazione. Si applicherà a settori quali meteorologia, acqua, energia, salute e sicurezza alimentare.

Ci sarà sempre un ruolo per un sistema di previsione basato sulla fisica?

L'Ecmwf si impegna a essere all'avanguardia degli sviluppi di intelligenza artificiale e *machine learning*, insieme all'Infrastruttura meteorologica europea, per sostenere l'obiettivo costante di essere leader a livello mondiale nelle previsioni meteorologiche. Ciò non significa che stiamo rinunciando alle previsioni basate sulla fisica. Gran parte del lavoro attuale riguarda il modo migliore di combinare i due elementi per ottenere i migliori risultati possibili. Stiamo progettando, ad esempio, di sviluppare piccoli *ensemble* a risoluzione più elevata del modello basato sulla fisica per integrare la produzione attuale con una spaziatura delle griglie di 9 km. Ciò sarà utile in sé, ma aiuterà anche ad addestrare modelli basati sui dati, che funzioneranno anche a una risoluzione più elevata. Da quanto ho descritto, si può vedere che in futuro ci sarà ancora un ruolo per la modellazione basata sulla fisica. Servirà ad ancorare il sistema, anche se una parte crescente della produzione operativa sarà effettuata con approcci basati sui dati.

Intervista a cura dello **European centre for medium-range weather forecasts (Ecmwf)** L'articolo originale è pubblicato su <https://bit.ly/240909-ecmwf-machine-learning>

Articolo rilasciato con licenza Creative Commons Attribution (CC-BY 4.0 - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Traduzione a cura di Stefano Folli

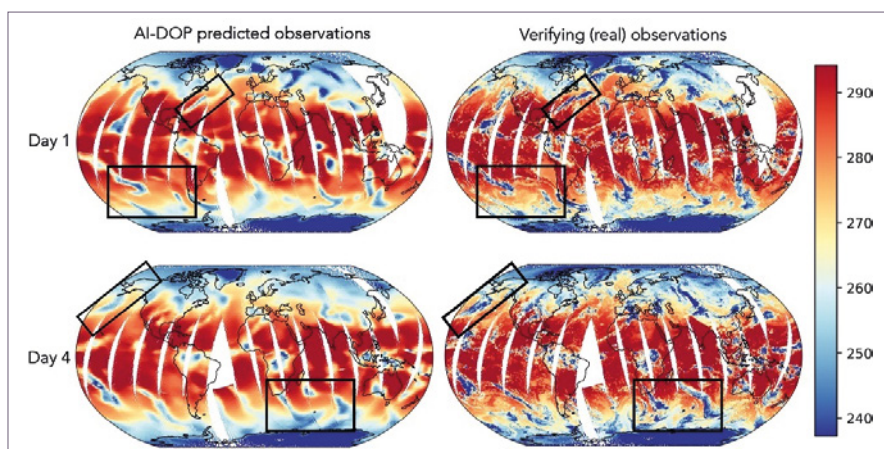


FIG. 1 AI-DOP
 Un esempio di previsione delle osservazioni future con Ai-Dop. Temperature di luminosità del canale della finestra infrarossa (in Kelvin), misurate dall'Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (Iasi), previsto uno e quattro giorni prima. La colonna di sinistra mostra i valori previsti e la colonna di destra le radiazioni reali misurate uno e quattro giorni dopo. Questo canale è molto sensibile alle strutture delle nubi atmosferiche e si può vedere che Ai-Dop produce previsioni molto plausibili dell'evoluzione dei modelli meteorologici su larga scala, anche se sono piuttosto attenuate con l'attuale sistema sperimentale a bassa risoluzione. I rettangoli evidenziano alcuni dei modelli meteorologici più evidenti che sono ben previsti.

UNU-AI E LA LEADERSHIP NELL'IA ETICA E INCLUSIVA

L'UNIVERSITÀ DELL'ONU PER L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE, SUPPORTATA DALLA PIATTAFORMA INFORMATICA ALL'AVANGUARDIA DI CINECA, DALL'ECCELLENZA ACCADEMICA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E DALL'AMBIENTE INNOVATIVO DELL'EMILIA-ROMAGNA, SI CANDIDA A GUIDARE UN MOVIMENTO GLOBALE VERSO UN'INTELLIGENZA ARTIFICIALE SOSTENIBILE ED EQUA.

Mentre l'intelligenza artificiale (Ia) continua a rimodellare il nostro panorama globale, la creazione dell'Istituto per l'intelligenza artificiale dell'Università delle Nazioni unite (Unu-Ai) a Bologna è essenziale per garantire che lo sviluppo futuro dell'Ia sia etico e inclusivo. Questo nuovo istituto di ricerca e formazione all'interno del sistema delle Nazioni unite, che sarà attivato nel 2024, rappresenta uno sforzo collaborativo per sfruttare il potenziale dell'Ia a vantaggio della società, mitigandone al contempo i rischi. La partnership con Cineca, il principale consorzio di supercalcolo italiano, è fondamentale per questa missione, così come l'eccellenza accademica dell'Università di Bologna e le politiche lungimiranti della Regione Emilia-Romagna. Con le sue ricche tradizioni accademiche e l'impegno per il progresso sociale, Bologna offre un contesto ideale per questa iniziativa.

L'Università di Bologna, la più antica università del mondo, porta secoli di innovazione e borse di studio, assicurando che il lavoro dell'Unu-Ai si possa basare su una profonda comprensione dei progressi tecnologici e delle loro implicazioni sociali. La regione Emilia-Romagna, nota per la sua solida base industriale e le politiche progressiste, è uno scenario pratico per applicare l'Ia a sfide del mondo reali come lo sviluppo sostenibile e la produzione avanzata. Unu-Ai mira a essere un leader globale nella promozione della collaborazione interdisciplinare in informatica, etica, politica sociale e relazioni internazionali. Tale partnership è necessaria per orientare lo sviluppo dell'Ia verso la priorità del benessere umano e dell'equità.

Il lavoro dell'istituto sarà incentrato sull'etica e la sicurezza dell'Ia. Man mano che i sistemi di Ia diventano più integrati in settori critici come l'assistenza sanitaria, la giustizia penale e

l'istruzione, ci saranno rischi crescenti di pregiudizi, discriminazione e violazione della privacy. Unu-Ai, insieme alle potenti risorse informatiche di Cineca, sarà ben posizionata per sviluppare quadri etici per l'implementazione responsabile delle tecnologie di Ia. Questo lavoro è fondamentale per proteggere i diritti individuali e promuovere la fiducia del pubblico nell'Ia, entrambi necessari per un'adozione diffusa, sicura e inclusiva. Oltre all'etica, la sicurezza dell'Ia sarà un obiettivo primario. L'istituto condurrà simulazioni e analisi avanzate, utilizzando la potenza di calcolo di Cineca, per identificare e mitigare i potenziali rischi associati alle tecnologie di Ia. Affrontando in modo proattivo



CHE COS'È LA UNITED NATIONS UNIVERSITY

Nel 1969 il segretario generale Onu, U Thant, propose nel suo Rapporto annuale all'Assemblea generale di creare una "Università delle Nazioni unite, dal carattere veramente internazionale e dedicata agli obiettivi di pace e progresso della Carta". A fine 1972 l'Assemblea generale adottò la decisione della sua costituzione. La Unu fu formalmente inaugurata il 20 gennaio 1975 e le sue aree di studio erano incentrate su fame nel mondo, risorse naturali e sviluppo umano e sociale. Nei decenni seguenti, le aree prioritarie di interesse sono state ridefinite intorno a 3 cluster tematici, ancora oggi validi:

- pace e sicurezza
- cambiamento sociale e sviluppo economico
- ambiente, clima ed energia.



UNU

La missione della United Nations University è quella di contribuire, attraverso la ricerca e l'istruzione collaborative, agli sforzi per risolvere i pressanti problemi globali della sopravvivenza umana, dello sviluppo e del benessere che sono di interesse delle Nazioni unite, dei suoi popoli e degli Stati membri. Nel portare avanti questa missione, la Unu collabora con le principali università e istituti di ricerca negli Stati membri dell'Onu, fungendo da ponte tra la comunità accademica internazionale e il sistema delle Nazioni unite. Attraverso attività di insegnamento post-laurea, la Unu contribuisce al rafforzamento delle capacità, in particolare nei Paesi in via di sviluppo.

Attualmente comprende 13 istituti distribuiti in 12 diversi Paesi: Giappone, Malaysia, Germania, Venezuela, Usa, Belgio, Portogallo, Ghana, Canada, Macao (Regione amministrativa speciale della Repubblica Popolare Cinese), Paesi Bassi, Finlandia. A questi si aggiungerà l'Istituto per l'intelligenza artificiale con sede a Bologna, in Italia. Il quartier generale che ne coordina le attività ha sede a Tokyo.

Per maggiori informazioni: <https://unu.edu>

questi rischi, l'istituto spera di garantire che i sistemi di intelligenza artificiale funzionino in modo sicuro e affidabile nei diversi scenari del mondo reale, riducendo la possibilità di conseguenze indesiderate.

La missione di Unu-Ai sarà unica in quanto applicherà i principi di Vilfredo Pareto, un matematico italiano noto per il suo principio di ottimalità, per bilanciare questioni contrastanti nello sviluppo dell'Ia. Ad esempio, la tensione tra trasparenza e sicurezza è una nota sfida dell'Ia: mentre la trasparenza è necessaria per la responsabilità, può occasionalmente mettere a repentaglio la sicurezza del sistema. Allo stesso modo, è difficile bilanciare e massimizzare i benefici dell'Ia e mitigarne i rischi. Utilizzando i principi di Pareto, l'istituto si impegnerà per un equilibrio ottimale che massimizzi i benefici sociali riducendo al minimo i danni. L'istituto svolgerà anche un ruolo essenziale nel colmare il divario tra il Sud e il Nord del mondo, assicurando che i benefici dell'Ia siano distribuiti equamente. L'accesso alle tecnologie dell'Ia non dovrebbe essere limitato alle nazioni tecnologicamente avanzate. Unu-Ai lavorerà per democratizzare l'accesso all'Ia, in particolare nel Sud del mondo dove il divario digitale rimane un ostacolo significativo allo sviluppo. Promuovendo l'innovazione locale, aumentando la capacità e facilitando lo scambio di conoscenze, l'istituto consentirà alle comunità del Sud del mondo di utilizzare l'Ia per affrontare sfide e opportunità specifiche.

Questo ruolo di collegamento include l'armonizzazione delle normative internazionali, regionali e nazionali sull'Ia. Con il rapido avanzamento delle tecnologie Ia, c'è una maggiore necessità di quadri di *governance* coesi che garantiscano un'implementazione Ia sicura, etica e inclusiva tra i confini. Unu-Ai sarà ben posizionata per aiutare in questo sforzo globale collaborando con governi, organizzazioni internazionali e *stakeholder* del settore per creare linee guida e standard che riflettano le migliori pratiche globali pur rimanendo adattabili ai contesti locali. Promuovendo il dialogo tra il Nord e il Sud del mondo, l'istituto può aiutare a sincronizzare le normative Ia, assicurando che siano reciprocamente efficaci, eque e di supporto allo sviluppo



1

a lungo termine. Il ruolo di Cineca in questa iniziativa si estende oltre la potenza di calcolo; è fondamentale nel promuovere la collaborazione tra settori e regioni.

Le sfide presentate dall'Ia sono complesse e richiedono approcci multidisciplinari. Unu-Ai, in collaborazione con Cineca, l'Università di Bologna e la Regione Emilia-Romagna, guiderà le discussioni globali sulla *governance* dell'Ia, cercando soluzioni innovative che riducano i rischi aumentando al contempo i benefici. Questo approccio collaborativo è essenziale per creare quadri normativi efficaci e adattabili al rapido tasso di cambiamento tecnologico. Inoltre, si prevede che Unu-Ai diventerà un leader globale nella ricerca e nello sviluppo dell'intelligenza artificiale. Grazie alle capacità di supercalcolo di Cineca e alla connessione dell'Università delle Nazioni unite con il più ampio sistema dell'Onu, l'istituto può intraprendere progetti su larga scala che affrontano alcuni dei problemi più urgenti del mondo, come il cambiamento climatico, la salute pubblica e lo sviluppo sostenibile. I modelli basati sull'intelligenza artificiale possono migliorare significativamente la nostra capacità di prevedere e rispondere ai disastri naturali, ottimizzare l'allocazione delle risorse e contribuire a costruire una comunità globale più resiliente.

La partnership tra Unu-Ai, Cineca, l'Università di Bologna e la Regione Emilia-Romagna sottolinea l'importanza

dell'istruzione e del potenziamento delle capacità. Attraverso questa collaborazione, l'istituto fornirà programmi di formazione avanzata, workshop e borse di studio per dotare la prossima generazione di leader delle conoscenze e delle competenze necessarie per affrontare le complessità dell'Ia. Questa missione educativa è fondamentale poiché l'Ia continua a rimodellare il panorama globale, presentando nuove opportunità e sfide per una *leadership* informata ed etica.

In conclusione Unu-Ai, supportata dalla piattaforma informatica all'avanguardia di Cineca, dall'eccellenza accademica dell'Università di Bologna e dall'ambiente innovativo della regione Emilia-Romagna, sarà pronta a guidare un movimento globale verso un'Ia etica, inclusiva ed equa. Guidando l'etica e la sicurezza dell'Ia, applicando i principi di Pareto per bilanciare questioni contrastanti, colmando il divario tra il Sud e il Nord del mondo e armonizzando le normative internazionali, regionali e nazionali, l'istituto contribuirà a costruire un futuro in cui l'Ia serve il bene comune. Queste collaborazioni sono destinate a svolgere un ruolo fondamentale nel realizzare un mondo più equo, sostenibile e giusto per tutti.

Tshilidzi Marwala

Rettore dell'Università delle Nazioni unite

Traduzione di Barbara Galzigna

1 L'esterno della sede principale dell'Università delle Nazioni unite a Tokyo, Giappone.

L'INNOVAZIONE SOCIALE AL SERVIZIO DELLA COMUNITÀ

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE È UN POTENTE STRUMENTO PER AFFRONTARE SFIDE COMPLESSE E PROMUOVERE IL BENE COMUNE, QUANDO UTILIZZATA IN MODO STRATEGICO E COLLABORATIVO TRA SETTORI PUBBLICI E PRIVATI. PER IL FUTURO, È FONDAMENTALE CONTINUARE A INVESTIRE NELLA FORMAZIONE E SU MODELLI DI BUSINESS SOSTENIBILI E INCLUSIVI.

Cos'è l'innovazione sociale? L'innovazione sociale può essere definita come l'introduzione di nuove idee, servizi o modelli organizzativi utili a soddisfare bisogni sociali non coperti dal mercato o dalle politiche tradizionali. A differenza dell'innovazione tecnologica, che punta a migliorare i prodotti o i processi produttivi, l'innovazione sociale pone al centro la persona, la comunità e l'ambiente. Questo tipo di innovazione si manifesta attraverso progetti che promuovono l'inclusione, la sostenibilità ambientale, la parità di genere, il welfare e lo sviluppo economico locale. Citando Paolo Benanti, teologo e filosofo e membro del comitato sull'Ia delle Nazioni unite, possiamo dire che l'innovazione o il progresso tecnologico sono la capacità di far qualcosa in una maniera sempre più efficiente e sempre più forte; lo sviluppo, invece, è ciò che trasforma l'innovazione tecnologica in qualcosa che guarda anche al bene sociale e al bene comune.

L'ecosistema dell'innovazione sociale in Emilia-Romagna

L'Emilia-Romagna ha costruito un ecosistema fertile per l'innovazione sociale, basato su una forte tradizione cooperativa, una rete capillare di organizzazioni del terzo settore e una politica regionale orientata allo sviluppo sostenibile. La presenza di numerose imprese sociali, cooperative, enti nonprofit e istituzioni pubbliche ha favorito la nascita di numerosi progetti innovativi.

Le politiche regionali hanno giocato un ruolo fondamentale nella promozione dell'innovazione sociale. L'Emilia-Romagna è stata una delle prime regioni a integrare l'innovazione sociale nelle proprie strategie di sviluppo, riconoscendo l'importanza di affrontare

le sfide sociali ed economiche attraverso approcci nuovi e inclusivi. In particolare, la Regione ha promosso l'Agenda digitale e la *Smart specialization strategy*, con l'obiettivo di favorire lo sviluppo di servizi digitali che migliorino la vita dei cittadini e creino opportunità di crescita per le comunità più vulnerabili.

In questo quadro di riferimento, si è sviluppato e rafforzato negli anni anche un ecosistema regionale legato al settore dell'innovazione sociale, composto da diversi soggetti: enti locali, Anci Emilia-Romagna, enti del terzo settore, Università e centri di ricerca, istituzioni bancarie, *cluster* regionali che, assieme alla Regione, stanno lavorando per rendere il territorio sempre più innovativo e competitivo, creando occasioni di *networking* all'interno e all'esterno della regione.

In tutto il territorio regionale sono stati attivati diversi progetti soprattutto nel settore della sostenibilità. Proprio per questo, nel 2023 la Regione Emilia-Romagna, in collaborazione con Art-Er, ha avviato un percorso di co-progettazione insieme a numerose realtà pubbliche e private per la creazione di un hub regionale per la ricerca e l'innovazione sociale, che avrà un ruolo di coordinamento per tutti i soggetti impegnati sui temi di interesse trasversale con l'obiettivo di diventare un modello di intervento per orientare le politiche di ricerca e innovazione valorizzando progetti e opportunità.

L'intelligenza artificiale e l'innovazione sociale

Anche l'innovazione sociale, come tanti ambiti della società, è interessata dalla rivoluzione introdotta dall'intelligenza artificiale, utilizzata come strumento per favorire il miglioramento della qualità della vita delle persone e della società. L'intelligenza artificiale può migliorare



l'efficienza operativa personalizzando i servizi, stimolando l'innovazione e garantendo la trasparenza e l'inclusione. L'Ia può favorire l'automazione dei processi di raccolta e analisi dei dati, la personalizzazione dei servizi e la collaborazione come, ad esempio, il monitoraggio dei servizi sociali, l'offerta di servizi sanitari su misura e percorsi di partecipazione inclusiva. Tuttavia, proprio per le insidie e i pericoli insiti nell'utilizzo di una tecnologia così rivoluzionaria, è importante che il suo utilizzo sia guidato da principi di equità, trasparenza e inclusività per garantire che tutti possano beneficiarne. Il rapporto pubblico-privato può giocare un ruolo cruciale nello sviluppo e nell'implementazione di tecnologie di intelligenza artificiale (Ia) per il bene comune. Collaborazioni strategiche tra settori pubblici e privati possono portare a una serie di benefici che migliorano l'efficienza, la sostenibilità e l'impatto sociale delle iniziative basate sull'Ia. In Italia ma anche in regione Emilia-Romagna le collaborazioni tra il settore pubblico e privato hanno portato a numerose iniziative che utilizzano l'Ia per migliorare i servizi pubblici, la sicurezza, la sostenibilità e l'inclusione sociale. Questi esempi dimostrano come l'Ia possa essere un potente strumento per affrontare sfide complesse e promuovere il bene comune, quando utilizzata in modo strategico e collaborativo.

L'impatto delle politiche pubbliche

Le politiche pubbliche dell'Emilia-Romagna hanno svolto un ruolo cruciale nel supportare l'innovazione sociale.

La Regione ha investito in bandi e finanziamenti che incentivano le imprese sociali e i progetti di innovazione civica. Attraverso il Programma operativo regionale del Fondo sociale europeo (Por-Fse), l'Emilia-Romagna ha sostenuto numerosi progetti dedicati all'inclusione sociale, alla creazione di nuovi posti di lavoro e alla formazione professionale.

Attraverso il Programma operativo del Fondo europeo di sviluppo regionale (Por-Fesr) ha inoltre promosso il primo bando, chiuso a gennaio di quest'anno, finalizzato a favorire lo sviluppo di progetti di innovazione sociale, promossi da imprese e organizzazioni che svolgono attività economica con un impatto sociale per i territori, in un'ottica di transizione sostenibile. Lo strumento nello specifico offre sostegno a investimenti in settori di attività per i quali il valore economico si integra con il valore sociale prodotto per le comunità di riferimento. Alla scadenza del termine erano arrivate 118 proposte progettuali, per un investimento complessivo superiore ai 16 milioni di euro. Sono risultati ammissibili al finanziamento 75 progetti per investimento complessivo pari a quasi 11

milioni di euro e un contributo superiore a 5,1 milioni.

Un esempio di politiche di successo è il progetto regionale *We care*, che ha promosso l'integrazione tra servizi sociali e sanitari, creando un modello di assistenza più vicino ai cittadini e in grado di rispondere meglio alle loro esigenze. Questo approccio, basato sulla collaborazione tra pubblico e privato, ha permesso di migliorare l'efficienza dei servizi e di ridurre le disuguaglianze nell'accesso alle cure.

Le sfide future

Nonostante i numerosi successi, l'innovazione sociale in Emilia-Romagna deve affrontare alcune sfide. Il cambiamento demografico, l'invecchiamento della popolazione e l'aumento delle disuguaglianze richiedono nuove risposte e un'azione coordinata tra pubblico, privato e società civile. Inoltre, la transizione ecologica e digitale impone la necessità di un costante aggiornamento delle competenze e una maggiore capacità di adattamento ai nuovi scenari globali.

Per il futuro, sarà fondamentale continuare a investire nella formazione delle nuove generazioni, promuovere modelli di business sostenibili e inclusivi e rafforzare la collaborazione tra i diversi attori dell'ecosistema dell'innovazione sociale.

Conclusioni

L'Emilia-Romagna si conferma un laboratorio di innovazione sociale in cui sviluppo economico, inclusione e sostenibilità si intrecciano in modo virtuoso. Grazie a un solido tessuto cooperativo, all'impegno delle istituzioni pubbliche e alla capacità di attori locali di sperimentare soluzioni innovative, la regione rappresenta un modello per l'Italia e l'Europa. L'innovazione sociale non solo migliora la qualità della vita dei cittadini, ma crea anche un'economia più equa, resiliente e sostenibile.

Roberto Righetti

Direttore Art-Er



FOTO: REGIONE ER - AUSG

INTELLIGENZA ARTIFICIALE E COMUNICAZIONE SCIENTIFICA

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE È UNO STRUMENTO CHE PUÒ AIUTARE IL LAVORO DI RACCOLTA DATI E DI DIVULGAZIONE DELLA SCIENZA. È PERÒ FONDAMENTALE CHE L'UOMO CONTINUI A MONITORARE E CONTROLLARE LA CORRETTEZZA DELLE ELABORAZIONI. È INFATTI MOLTO ALTO IL RISCHIO DI CREARE FAKE NEWS.

Nel 1987, quando il più vecchio di noi già lavorava in una redazione scientifica, un professore di un'università americana ci chiese di rileggere un'intervista che gli avevamo fatto. Mandatemela pure per mail, ci aveva detto al telefono (fisso). "Mi ha detto di mandargli una... mail". "E che cos'è?", mi aveva chiesto il direttore. "Non ne ho la minima idea". In Italia le email non esistevano ancora, ci giocavano gli informatici e si scrivevano ancora in codice.

Ce la siamo cavata con un fax. Sempre in quegli anni, le collaborazioni con il *Corriere della sera* si scrivevano al computer e poi si dettavano via telefono ai "dimafonisti", il cui lavoro consisteva proprio nel trascrivere sul computer. Per motivi sindacali i dimafonisti hanno resistito ben dopo l'entrata in gioco della mail. C'erano già anche i cellulari, ma si continuava a dettare il pezzo al dimafonista, manco fossimo Tiziano Terzani dal Vietnam. Una volta la linea telefonica era molto disturbata. Allora il dimafonista disse: "Fai una cosa, mandami per mail il file dell'articolo, che lo ribatto con calma".

La tecnologia non è sempre la benvenuta, e nemmeno questa volta lo sarà. Talvolta però anche per motivi fondati. In effetti l'intelligenza artificiale, con i *Large language model* come ChatGpt di OpenAi o Gemini e Claude rispettivamente di Google e Anthropic, sta rapidamente trasformando il giornalismo e la comunicazione della scienza, portando con sé opportunità innegabili e sfide altrettanto rilevanti. Nelle riviste di primo livello, come *Nature* e *Science*, per intenderci, ci sono già stati casi di articoli in cui fra gli autori figurava anche l'Ia. Poi le principali riviste scientifiche si sono date la regola di non accettare l'Ia fra gli autori per i problemi che poteva generare sia di tipo etico sia di tipo economico (i diritti, per esempio). Ma è indubbio che già oggi molti di questi strumenti,



se opportunamente impiegati, possono aiutare nell'organizzazione dei dati della ricerca, o anche a scrivere un *paper* quasi meglio di un umano. Le aziende editoriali stanno anche pensando di usare l'Ia per fare il primo passaggio della revisione dei pari (*peer review*) agli articoli sottoposti alle redazioni delle riviste scientifiche: per esempio rifiutando gli articoli che non rispettano i criteri redazionali dettati dalla redazione, cosa che avviene nel 45% dei casi. Che senso ha far fare questo *screening* a un redattore umano? Lo può fare la macchina.

L'Ia è entrata anche nella comunicazione della scienza di carattere divulgativo, di cui noi ci occupiamo. Un aspetto che emerge dall'uso dell'Ia nella comunicazione scientifica è infatti la sua capacità di semplificare e rendere più accessibili contenuti tecnici complessi. Come sottolinea Mike Schäfer, docente di Scienza della comunicazione all'Università di Zurigo, sul *Journal of Science Communication*, "l'Ia può democratizzare il dialogo tra scienza e società, permettendo una più ampia partecipazione del pubblico alla comprensione della scienza".

Il recente rapporto *Report sul giornalismo digitale* a cura dell'Ordine nazionale dei giornalisti cita tra gli strumenti già entrati nell'uso quotidiano delle redazioni

le Ia che facilitano il lavoro di traduzione, riassunto e semplificazione del linguaggio scientifico. Facendo le domande giuste, infatti, si possono fare i post dei social con risultati accettabili. È certo importante che questa attività venga sempre controllata da un umano, anche per togliere certe ripetizioni e sciatte che una Ia "brada" lascia nel testo. Tipo iniziare con "In conclusione" l'ultimo paragrafo di un articolo.

La speranza – richiamata anche nel report pubblicato dall'Ordine dei giornalisti – è che l'Ia possa liberare tempo ai giornalisti, consentendo loro di dedicarsi ad attività a maggiore valore aggiunto, come inchieste e interviste approfondite, analisi critiche e la contestualizzazione di dati scientifici. L'Ia è utile per analizzare enormi dataset, per esempio relativi ai cambiamenti climatici, raccogliendo dati su temperature, emissioni di gas serra e modelli atmosferici, per poi lasciare al giornalista il compito di interpretare e comunicare le implicazioni di questi dati in un articolo approfondito. Questo aspetto rappresenta una delle maggiori potenzialità dell'Ia, essendo questa in grado di analizzare grandi quantità di dati in modo efficiente, identificando connessioni e tendenze che sfuggirebbero a un'analisi manuale. Lo stesso riguarda la lettura e il sunto di lunghi e impegnativi report scientifici,

su cui raramente il comunicatore può soffermarsi in modo adeguato. Ci sono ovviamente anche dei rischi. Questa facilità di produrre una grande quantità di testi rischia di rendere impossibile ai giornalisti e comunicatori l'attività di controllo. Rotto questo argine la disinformazione non ne avrebbe altri. In un'epoca in cui la fiducia nella scienza è già fragile, la diffusione di informazioni false o distorte potrebbe avere effetti devastanti. Sappiamo per esempio che l'Ia può commettere errori significativi se addestrata su dati non aggiornati: cosa accadrebbe a un giornalista che volesse valutare correttamente la rilevanza di un articolo sulle nuove varianti del Covid-19 tramite una Ia addestrata con conoscenze obsolete?

La rapidità con cui l'Ia può generare contenuti sintetici rende particolarmente problematico il fenomeno del "wrongness at scale", in cui errori commessi da macchine si diffondono a velocità impressionanti, come avverte Schäfer. Per esempio, durante la pandemia, le Ia utilizzate per riassumere articoli scientifici hanno prodotto contenuti fuorvianti sulle misure di prevenzione, perché si sono basate su studi non ancora verificati, contribuendo a creare confusione nel pubblico. L'Ia è anche capace di generare contenuti sintetici, come video, immagini e audio falsi, rendendo sempre più difficile per il pubblico distinguere tra ciò che è reale e ciò che non lo è. La disinformazione prodotta dall'Ia può sembrare altrettanto convincente di quella creata manualmente, ma la sua diffusione è potenzialmente molto più rapida e capillare.

La sfida, dunque, è anche etica: garantire che i contenuti creati o facilitati dall'Ia siano sempre accompagnati da un'adeguata trasparenza. Come sottolineato in uno studio pubblicato su *Plos One* ("Quality of

science journalism in the age of artificial intelligence"), "la trasparenza è cruciale: il pubblico deve sapere quando un contenuto è stato generato con l'ausilio dell'Ia, e quali fonti sono state utilizzate per addestrare l'algoritmo". Senza questa trasparenza, l'uso dell'Ia potrebbe portare a una perdita di fiducia nei confronti dei media, in un momento in cui il giornalismo ha un ruolo cruciale nel contrastare la disinformazione scientifica. Ma la buona notizia è che questi sistemi automatici opportunamente addestrati possono anche aiutarci a scovare le notizie e le immagini *fake*, quindi la fonte del problema può anche contribuire a tenerlo sotto controllo e aiutarci, per esempio, nel *debunking*.

Un altro tema rilevante è l'impatto che l'Ia può avere sul lavoro dei giornalisti scientifici. L'automazione potrebbe portare a una riduzione dei posti di lavoro, soprattutto nelle redazioni più piccole e con risorse limitate. Allo stesso tempo, vi è il rischio di una eccessiva dipendenza dai *big player* tecnologici, che potrebbero controllare l'accesso agli algoritmi e ai dati necessari per il funzionamento dell'Ia, minando così il pluralismo dell'informazione. Questo è un problema evidenziato anche da Mico Tatalovic, già *news editor*

di *Nature* e *New Scientist*, in un suo editoriale pubblicato sul *Journal of Science Communication*, dove sottolinea come il controllo degli strumenti di Ia da parte di poche grandi aziende possa ridurre l'indipendenza e la diversità delle voci nel giornalismo scientifico.

Per affrontare queste sfide, la comunità giornalistica e scientifica deve adottare alcune misure preventive. La formazione continua è uno degli aspetti più importanti: è essenziale che i giornalisti siano formati per utilizzare l'Ia in modo critico e consapevole, verificando sempre le fonti e valutando l'accuratezza delle informazioni generate. Solo con una preparazione adeguata la comunicazione scientifica potrà sfruttare le potenzialità dell'Ia senza compromettere la qualità del lavoro. Fondamentale sarà il concetto di *human in the loop* (Hitl): l'Ia può gestire gran parte del lavoro ripetitivo o complesso, ma l'essere umano rimane il supervisore finale, responsabile della qualità e dell'accuratezza del risultato.

Luca Carra¹, Sergio Cima²

1. Socio dell'agenzia Zadig, direttore del giornale online *Scienza in rete*
2. Chief AI officer di *Scienza in rete*

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Reason T. et al., 2024, "Artificial intelligence to automate network meta-analyses: four case studies to evaluate the potential application of Large language models", *Pharmacoeconomics - Open*, 8:205-220, <https://doi.org/10.1007/s41669-024-00476-9>

Schäfer M.S., 2023, "The notorious Gpt: science communication in the age of artificial intelligence", *JCOM*, 22(02), Y02, <https://doi.org/10.22323/2.22020402>

Tatalovic M., 2018, "AI writing bots are about to revolutionise science journalism: we must shape how this is done", *JCOM*, 17(01), E. <https://doi.org/10.22323/2.17010501>

Ordine dei giornalisti, *Osservatorio sul giornalismo digitale*, Report 2024, www.odg.it/osservatorio-report-2024



SNPA E L'USO DEI DRONI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE

NELLE AGENZIE AMBIENTALI E IN ISPRA SI STA DIFFONDENDO L'UTILIZZO DEGLI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO PER MOLTEPLICI ATTIVITÀ DI RILIEVO E CONTROLLO, DAI RIFIUTI ALLA VEGETAZIONE, DAI GHIACCIAI AL MARE. PER DEFINIRE STANDARD COMUNI È STATO COSTITUITO UN GRUPPO DI LAVORO CHE HA REALIZZATO ANCHE ESERCITAZIONI CONGIUNTE.

I droni – definiti Uas (*Unmanned aircraft system*) o Sapr (Sistemi aeromobili a pilotaggio remoto) – e le tecnologie per il telerilevamento ad alta risoluzione costituiscono attualmente una tematica con interessanti margini di sviluppo e applicazione, soprattutto per enti e istituzioni come quelli afferenti al Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente (Snpa) che operano sul territorio per attività di monitoraggio e controllo.

I recenti progressi tecnologici degli Uas, in relazione soprattutto all'incremento dell'efficienza e dell'affidabilità e alla disponibilità di differenti sensori, ha aperto la strada a molteplici applicazioni in campo ambientale, integrando le tecniche di monitoraggio tradizionali, basate sui rilievi in campo e sull'utilizzo di dati satellitari o aerei. I punti di forza di tali sistemi sono: l'elevato dettaglio delle informazioni rilevate; la versatilità, che permette di acquisire nei momenti più adatti alla descrizione dei fenomeni di interesse; la ripetibilità a costi contenuti; la maggiore sicurezza e produttività per gli operatori, soprattutto nei contesti ambientali di difficile accessibilità.

Le principali applicazioni in campo ambientale si riferiscono ad approcci *image-based*, che prevedono l'impiego di sensori passivi e di procedure di elaborazione riconducibili alla fotogrammetria e alla *computer vision*, con risultati rappresentati da strati informativi 2D (ortomosaici e modelli digitali della superficie) e 3D (nuvole di punti), analizzabili in diversi ambienti software. A ciò si aggiungono le tecniche basate sull'utilizzo di sensori attivi che consentono di ottenere ricostruzioni tridimensionali.

Recenti applicazioni riguardano, inoltre, l'utilizzo di specifici sensori per il monitoraggio dell'aria o campionatori di acqua e sistemi di elaborazione che consentono di integrare i video acquisiti con droni in ambiente Gis.



I droni nel Snpa

Il panorama dell'utilizzo dei droni all'interno del Snpa è attualmente frammentario e disomogeneo, oltre che in costante e rapida evoluzione e diffusione. Con il fine di porre attenzione su questa tecnologia, è stato istituito uno specifico gruppo di lavoro all'interno di uno dei Tavoli istruttori del Consiglio Snpa (Tic III Gdl 03), per il "potenziamento delle infrastrutture portanti del sistema: monitoraggio ambientale attraverso gli strumenti dell'osservazione della Terra e tecnologie innovative".

Le attività previste nell'ambito del Tic III-03 sono finalizzate alla mappatura dell'impiego di droni nel Snpa, per la successiva omogeneizzazione delle procedure metodologiche, operative e gestionali e la definizione di uno standard Snpa. Tale azione ha lo scopo generale di migliorare l'efficienza e l'efficacia del monitoraggio e del controllo ambientale, nelle competenze specifiche e di sistema, esplorando le possibilità

offerte dalla nuova tecnologia dei velivoli a pilotaggio remoto integrate con altri dati.

Poiché questa tecnologia si sta diffondendo in modo autonomo nelle diverse Agenzie ambientali e Ispra, si è reso utile mettere a sistema, a livello nazionale, le diverse competenze ed esperienze già acquisite, in linea con l'obiettivo prioritario della legge 132/2016 di conseguimento dei Lepta (livelli essenziali delle prestazioni tecniche ambientali).

La mappa dell'impiego per il monitoraggio

L'importanza di un confronto tecnico su strumenti e procedure utilizzate dalle varie Agenzie e Ispra e la necessità di definire metodologie operative condivise e standardizzate a livello nazionale, per la gestione, l'uso in campo, l'elaborazione e l'analisi dei dati rilevati, ha reso necessario effettuare prioritariamente una

mappatura nazionale dello stato dell'arte dell'impiego di droni nel Snpa. Questa fotografia, da aggiornare periodicamente, ha permesso di conoscere, qualitativamente e quantitativamente, le attrezzature e le risorse umane impiegate, fornendo anche un quadro di supporto per la gestione intra e inter-agenzia.

Come previsto dagli obiettivi specifici del gruppo di lavoro, è stato redatto e inviato a tutte le Agenzie e Ispra un questionario per la mappatura delle competenze ed esperienze esistenti. Tale processo, che ha previsto una continua integrazione e aggiornamento dei dati, ha consentito di ottenere il quadro informativo di tutti i gruppi Uas del Snpa, rendendo la ricognizione esaustiva e rappresentativa. L'indagine è stata strutturata in diverse sezioni: la Sezione A per la raccolta delle informazioni generali sul "referente droni"; le sezioni B, C, D, E per la raccolta di informazioni tecniche relativamente alle dotazioni strumentali e di personale, ai tematismi e alle modalità di gestione operativa; le sezioni F e G finalizzate all'individuazione dei punti di forza, criticità e necessità future.

È stato quindi redatto il report sullo stato dell'arte dell'impiego e gestione dei droni nel Snpa, che contiene una fotografia dell'utilizzo dei droni per il monitoraggio ambientale e alcune schede con esempi applicativi nei vari tematismi trattati. Dalla ricognizione effettuata emerge un sistema variegato sia nelle tipologie di strumentazioni utilizzate (piattaforma, sensore, software di volo, elaborazione dei dati acquisiti e produzione dei risultati), sia nelle tipologie di operazioni, sia nella gestione (acquisto strumentazione, registrazione e assicurazioni, formazione degli operatori e dei piloti).

Le applicazioni tematiche

Le tecniche di osservazione da Uas aprono nuove possibilità di monitoraggio sia dal punto di vista geometrico (altissima risoluzione) sia sotto l'aspetto informativo (qualità e tipologia), massimizzandone l'efficacia. Possono essere utilizzati in modo indipendente o a integrazione di altre misure o osservazioni, *remote* o *ground-based*. La georeferenziazione è un aspetto da considerare soprattutto quando i rilievi devono essere ripetuti e confrontati nel tempo.

A seconda dell'obiettivo specifico, del tipo e dinamica del fenomeno da monitorare e delle caratteristiche del sito si utilizzano



tecniche, strumenti e metodologie di monitoraggio differenti (*tabella 1*). In ambiente terrestre, gli Uas equipaggiati con camere Rgb e multispettrali sono impiegati per il monitoraggio della superficie e dello stato di conservazione degli habitat, nonché per il monitoraggio di eventi impattanti, quali incendi o fitopatie forestali, permettendo la flessibilità nel periodo di acquisizione in funzione della fenologia e, mediante uso di sensore Lidar, la possibilità di ricostruzione della struttura verticale della vegetazione.

L'impiego nel campo della morfologia fluviale è finalizzato al monitoraggio dello stato e della dinamica plano-altimetriche dell'alveo, ad esempio a seguito di eventi estremi (siccità e alluvioni), alla valutazione degli impatti e alla gestione dei sedimenti, fornendo flessibilità in contesti morfologicamente complessi e/o con significativa vegetazione, anche per lunghi tratti fluviali.

Per lo studio dei fenomeni franosi, colate detritiche, crolli in roccia, deformazioni e dissesti di versante, a integrazione dei metodi geotecnici tradizionali e delle tecniche remote quali l'interferometria radar, il drone viene applicato per la realizzazione di sopralluoghi in aree inaccessibili o pericolose e per l'analisi multitemporale pre e post evento, anche a supporto del sistema di protezione civile. In territorio montano, la ricostruzione tridimensionale delle valanghe effettuata tramite Uas consente di delimitare le aree di deposito, stimare i volumi di neve accumulati e, più in generale, rilevare gli elementi caratteristici di ogni singolo evento, analizzarne la dinamica, calibrare e validare la modellistica di propagazione.



Similmente, per il monitoraggio della dinamica dei ghiacciai e della degradazione del permafrost i droni integrano le tecniche più tradizionali con vantaggi significativi per la riduzione dell'esposizione degli operatori ai rischi in ambiente impervio e la possibilità di ottenere dati distribuiti nei bacini di alta quota.

In ambiente marino-costiero, vengono impiegati per la mappatura e il monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica*, in acque molto basse e con elevata trasparenza, prevalentemente mediante fotogrammetria e recentemente anche con la tecnica *full motion video* (Fmv), che consente di interpretare e analizzare il video acquisiti con drone in ambiente Gis. Possono essere monitorate anche le *banquettes*, cioè gli accumuli dei residui della pianta.

L'impiego di Uas trova inoltre applicazione in attività finalizzate alla pianificazione, monitoraggio e controllo dei siti di acquacoltura, in acque dolci e marine.

Il monitoraggio della morfodinamica costiera e dell'evoluzione degli elementi naturali e antropici può, attraverso tecniche di fotogrammetria aerea

o tramite dati Lidar, beneficiare di Dtm e ortomosaici ad altissima risoluzione. Particolare interesse riveste il monitoraggio dei sistemi dunali, con quantificazioni plano-altimetriche abbinata alla mappatura degli habitat naturali o l'analisi di pressioni antropiche quali, ad esempio, quelle derivanti dal trasporto dei rifiuti sulla costa (*marine litter*) da parte delle correnti marine. La ricerca e il monitoraggio di sversamenti di idrocarburi in mare, nella gestione delle situazioni emergenziali e post-emergenziali, può essere ottimizzata grazie a uno strumento a rapido dispiegamento e basso costo operativo, capace di lavorare sia partendo da terra che da imbarcazione e in grado di spingersi in aree difficilmente raggiungibili e, qualora si utilizzino delle termocamere, idoneo anche in condizioni di scarsa visibilità. Nelle attività connesse al monitoraggio della biodiversità animale, come l'avifauna, l'impiego di Uas rappresenta un sensibile miglioramento nella capacità di osservazione in ambienti a difficile percorribilità ed ecosistemi a elevata sensibilità, quali canneti, zone umide, saline e lagune, riducendo i tempi di accesso e di sosta (interferenze), consentendo il riconoscimento delle unità di interesse, la distribuzione spaziale e l'analisi del comportamento. In attività di vigilanza ambientale e controllo i droni permettono di monitorare: processi produttivi e impianti soggetti ad autorizzazione integrata ambientale (Aia); discariche, con stima delle volumetrie e delle quote massime di conferimento; identificazione di eventuali punti di fuga di biogas; lo stato di luoghi di stoccaggio illegale dei rifiuti. Per quanto riguarda le attività estrattive è possibile effettuare verifiche delle variazioni plano-altimetriche e stime volumetriche di elevata precisione, con costi e tempi ridotti, aumentando la sicurezza degli operatori e fornendo elementi a supporto della pianificazione delle attività di coltivazione e del monitoraggio delle azioni di rinaturalizzazione. L'impiego di sensori specifici, come termocamere, rappresenta una metodologia promettente per il monitoraggio esteso ed efficace dei corpi idrici superficiali e l'individuazione di scarichi abusivi. Sperimentazioni sono in atto anche per la misura della luminanza, consentendo un controllo mirato, veloce e accurato di tutte le fonti di inquinamento luminoso notturno. Inoltre, in ambienti urbanizzati, vengono effettuate misure speditive del campo elettrico a radio frequenza per

la verifica dell'osservanza dei limiti di esposizione della popolazione e al fine di identificare potenziali criticità da approfondire con misurazioni condotte secondo protocolli standard.

Le esercitazioni congiunte

Al fine di condividere esperienze di rilievo in campo, di elaborazione e analisi dati acquisiti con droni in contesti ambientali differenti, sono state organizzate due esercitazioni: nel novembre 2023 (in Emilia-Romagna) e nel maggio 2024 (in Toscana), a cui hanno partecipato



TAB. 1
UTILIZZO DRONI

Tematismi su cui sono impiegati droni nel Snpa.

Ambiti terrestri	Coperture	Habitat terrestri Fattori perturbativi Morfologia fluviale
	Dissesti	Monitoraggio frane Colate detritiche Impatti fenomeni alluvionali Valanghe
	Criosfera	Monitoraggio glaciale Ambienti soggetti a permafrost
Ambiti marini, marino-costieri e lagunari	Habitat	Habitat marini (prateria di Posidonia e banquettes)
	Biodiversità	Avifauna acquatica
	Impianti	Acquacoltura
	Morfodinamica	Morfologia e linea di costa Ambienti dunali
Ambiente antropizzato	Inquinamento	Sversamenti idrocarburi Rifiuti plastici
	Controlli	Processi produttivi e impianti Discariche Cave Sfingamento invasi per la produzione idroelettrica Rifiuti
	Emergenze	Siti industriali a seguito di incidente Sversamenti
	Agenti fisici	Luminanza (ambiente notturno) Campi elettromagnetici

circa 90 operatori di tutte le Agenzie del Snpa. La strutturazione in due moduli complementari, uno per le acquisizioni, finalizzato alle tecniche e metodologie operative di rilievo, e uno per le elaborazioni, dedicato alle tecniche di *processing* e analisi dei dati, ha consentito di testare procedure per vari tematismi e in contesti differenti, anche con coordinamento multi-squadra/multi-operatore, individuando per ogni scenario il valore aggiunto dell'utilizzo di tali strumentazioni rispetto ai rilievi tradizionali.

Le prospettive future

Le attività svolte dal gruppo di lavoro hanno permesso di:

- realizzare una prima mappatura nazionale dell'impiego di droni nel Snpa per il monitoraggio ambientale, che ha messo

in luce il diverso livello di utilizzo tra le Agenzie, con vantaggio della condivisione delle esperienze più avanzate a favore di chi si avvicina a tale tecnologia

- condividere procedure metodologiche, operative, gestionali e di sicurezza per l'utilizzo di droni, favorendo il confronto per la gestione di casi specifici tematici anche in riferimento alla normativa esistente e testando, su specifici scenari, il valore aggiunto dell'utilizzo di tali strumentazioni e dell'integrazione con altri dati e prodotti
- avviare la definizione di uno standard Snpa, per la realizzazione di rilievi, l'elaborazione dei dati e l'analisi delle informazioni di interesse ambientale in modo omogeneo, definendo linee guida condivise, operative e scientificamente robuste e riconosciute anche in caso di contenzioso con terze parti o di accertamenti giudiziari
- incrementare e rafforzare le competenze

specifiche e di sistema attraverso l'organizzazione di sessioni di formazione Snpa e interconfronti periodici, con il fine di garantire un livello omogeneo di conoscenza e applicazione di tali tecnologie, molto promettenti per il monitoraggio dell'ambiente e del territorio in particolari ambiti.

**Serena Geraldini¹,
Umberto Morra di Cella²,
Alessandro Loda³, Antonio Iengo⁴,
Roberto Greco⁵, Antonella Zanello⁶,
Gianluca Ragone⁷**

1. Ispra, coordinatrice Gdl
2. Arpa Valle d'Aosta
3. Arpa Lombardia
4. Arpa Liguria
5. Arpa Puglia
6. Arpa Friuli Venezia Giulia
7. Arpa Campania

Si ringraziano le Arpa/Appa e Ispra per il contributo alle attività del Gdl Tic III-03 Snpa

FIG. 1
POPOLAMENTO
FORESTALE

Elaborazione di dati acquisiti da drone: in alto, sezione di nuvola di punti ottenuta con sensore Lidar utile alla descrizione della struttura di popolamenti forestali e al computo delle principali variabili dendrometriche (*canopy height model*, diametro corone, diametro dei tronchi); in basso, da sinistra a destra, evoluzione di habitat tramite rilievi successivi con sensore infrarosso o camera Rgb.

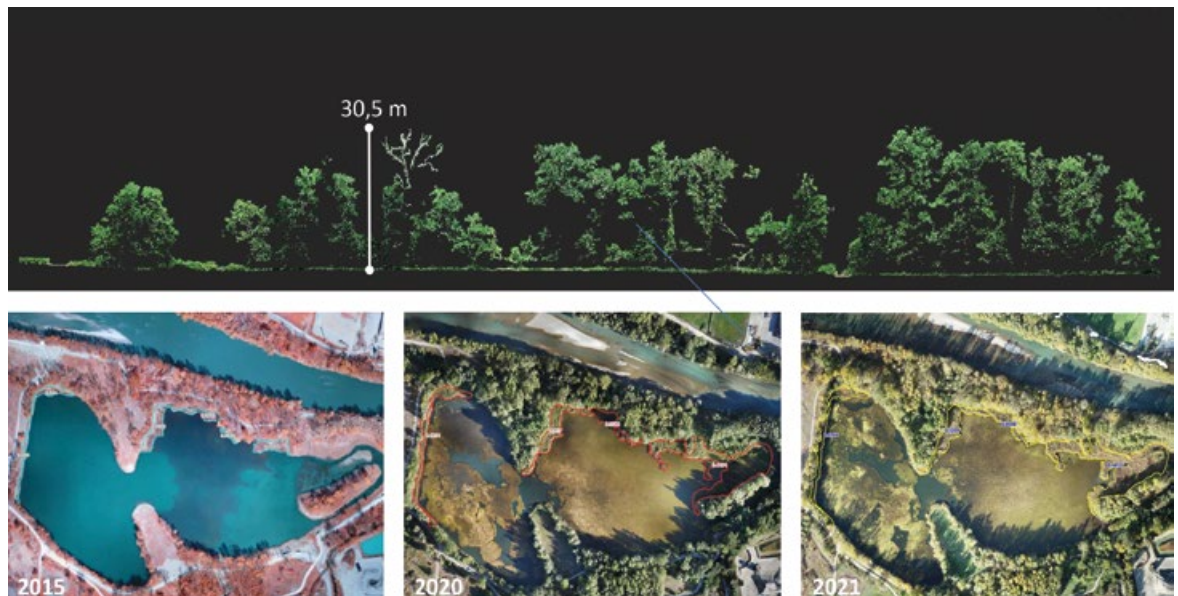
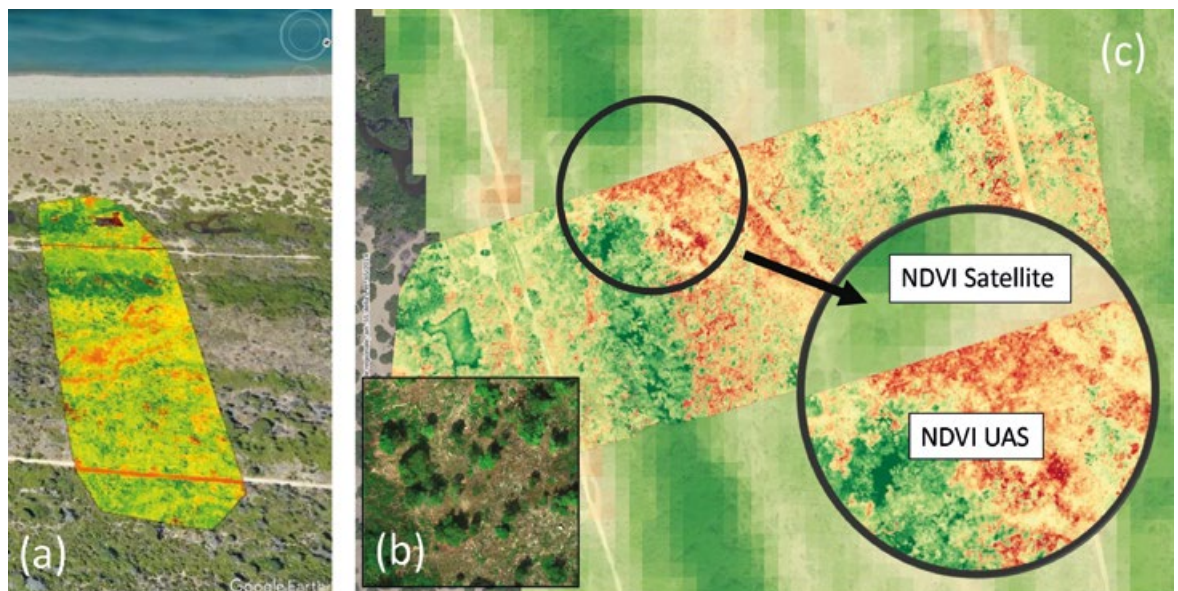


FIG. 2
VEGETAZIONE
DUNALE

Mapa di indice Ndvi di vegetazione dunale ottenuta con drone multispettrale (a). L'elevatissima risoluzione geometrica delle immagini (b) consente un'analisi di elevato dettaglio della densità della vegetazione e, con il supporto di misure a terra, la mappatura delle diverse tipologie di vegetazione anche a integrazione di dati rilevati da satellite ad alta risoluzione (c) come le mappe di Ndvi fornite dal programma Copernicus su dati Sentinel 2.



DRONI E AMBIENTE: LE ATTIVITÀ MESSE IN CAMPO DA ARPAE

DALLE MAPPE AEREE ALLE ANALISI DEI DATI, DRONI E MACHINE LEARNING A SERVIZIO DEL MONITORAGGIO AMBIENTALE. GRAZIE ALLE NUOVE TECNOLOGIE, IL MONITORAGGIO AMBIENTALE DIVENTA PIÙ EFFICIENTE E SUPPORTA L'AGENZIA NELLE SUE ATTIVITÀ ISTITUZIONALI. LE INIZIATIVE DI FORMAZIONE PER AVERE PERSONALE SPECIALIZZATO.

Arpae Emilia-Romagna, con una flotta di cinque droni e un drone marino, si avvale di un team di 13 piloti altamente specializzati per affrontare un'ampia gamma di missioni di monitoraggio ambientale e vigilanza. Da gennaio 2024 il Servizio Indirizzi tecnici e reporting ambientale della Direzione tecnica (Sitra), attraverso il gruppo "Gis, droni e machine learning", ha avviato tutte le attività necessarie all'adeguamento normativo dei droni a seguito dell'entrata in vigore dei Regolamenti europei 2019/945 e 2019/947 e un programma di attività formative teorico-pratiche per i piloti.

L'obiettivo primario è massimizzare l'utilizzo delle tecnologie a disposizione dell'Agenzia nel rispetto della normativa europea e nazionale in materia di volo con i droni. Oltre alla formazione, pratica e teorica, il gruppo di coordinamento si è posto come obiettivo anche lo sviluppo di procedure atte a garantire la massima sicurezza durante le missioni e la programmazione di attività con simulazioni di volo, esercitazioni in campo e missioni operative in modo da affinare le competenze degli operatori Arpae in tutte le fasi: dalla pianificazione a una prima elaborazione dei dati.

Un ulteriore ambito di attività su cui si sta investendo è quello relativo alle elaborazioni avanzate dei dati acquisiti dai droni, oltre alla creazione di mappe e modelli digitali del territorio e la produzione di report tecnici. Al fine di ottimizzare il lavoro, Arpae ha valutato di gestire i dati a livello centralizzato. Questo approccio contribuirà alla formazione di un team altamente specializzato nell'elaborazione e analisi dei dati. Inoltre, permetterà di condividere le informazioni in modo efficiente e consentirà il monitoraggio di

un'ampia gamma di parametri ambientali: dalla qualità dell'aria alla presenza di inquinanti nel suolo, accrescendo così le informazioni sullo stato dell'ambiente e le pressioni ambientali. Infatti l'utilizzo dei droni consente di visualizzare il territorio da una nuova prospettiva e, grazie alla loro capacità di raggiungere zone difficilmente accessibili e di operare in modo rapido ed efficiente, rappresenta un valido supporto nelle attività di vigilanza e controllo, monitoraggio ambientale e nelle emergenze.

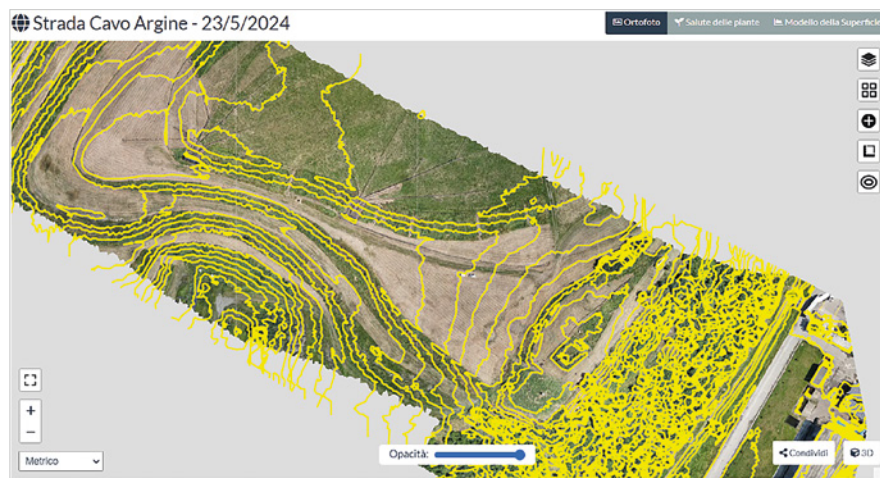


FIG. 1 VERIFICA DISCARICA

Elaborazioni ottenute dai dati rilevati con drone Dji Mavic 2, presso una discarica in gestione post-operativa sita nel territorio regionale. Modello Dsm (in alto) e nuvola di punti con texture (in basso), elaborazioni effettuate con il software Webodm-cloud della Regione Toscana (3D-Data).

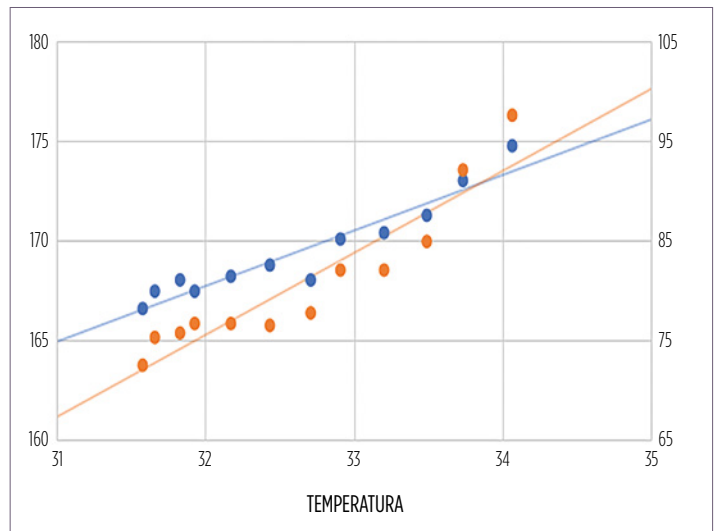


Nell'ambito della vigilanza e del controllo ambientale, i droni si confermano strumenti molto utili, garantendo una sorveglianza più efficiente e capillare, sia nelle attività di routine sia in situazioni di emergenza. Ad esempio, l'utilizzo di droni per la verifica della copertura di discariche in gestione post operativa ha consentito di ottenere modelli 3D altamente dettagliati, evidenziando con precisione eventuali modifiche morfologiche del corpo discarica. Grazie alla possibilità di pianificare voli mirati e di acquisire dati ad alta risoluzione, i droni permettono di valutare con rapidità e accuratezza lo stato di conformità di un sito, guidando

FIG. 2
QUALITÀ DELL'ARIA

Elaborazioni ottenute dai dati rilevati con drone Dji Matrice 350, presso il sito di San Pietro Capofiume (BO). Andamento di O₃ e NO₂ in funzione della temperatura.

● O₃
● NO₂



FORMAZIONE

UN'ESERCITAZIONE PER I PILOTI DI DRONI DI ARPAE E LE ATTIVITÀ FORMATIVE FUTURE

Arpae Emilia-Romagna ha avviato un percorso formativo intensivo per i piloti Uas (*Unmanned aircraft system*), volto a creare un team altamente specializzato. Grazie all'iniziativa del gruppo "Gis, droni e *machine learning*", i piloti stanno acquisendo competenze indispensabili nell'utilizzo di tecnologie innovative per la tutela dell'ambiente. L'esercitazione, che si è tenuta il 31 luglio 2024 a Molinella (BO), è parte integrante di un percorso formativo completo che, attraverso una serie di incontri, prepara i piloti anche a gestire la prima fase del processo di acquisizione dati. Attraverso quattro missioni che riproducevano scenari operativi reali, i piloti hanno avuto l'opportunità di mettere alla prova e perfezionare le loro tecniche di pilotaggio. Le missioni, che spaziavano dalla mappatura di precisione all'analisi dell'ecosistema forestale, hanno offerto ai piloti un'esperienza formativa completa:

- mappatura di precisione e stima volumetrica: i piloti sono stati chiamati a mappare aree di interesse, come depositi o cumuli, e a stimarne il volume, una capacità fondamentale per la gestione delle risorse e la pianificazione territoriale
- monitoraggio dello stato di salute della vegetazione: grazie all'utilizzo di sensori Rgb e Ir, i piloti hanno potuto valutare lo stress idrico e le anomalie nella vegetazione, fornendo dati preziosi per la gestione delle aree verdi e la prevenzione di incendi
- analisi dell'ecosistema forestale: le missioni dedicate alla mappatura delle aree boschive hanno permesso ai piloti di acquisire dati dettagliati sulla composizione e sulla struttura del bosco, informazioni essenziali per la gestione sostenibile delle foreste
- individuazione di impatti antropici: la simulazione della ricerca di scarichi abusivi ha messo alla prova le capacità dei piloti nell'individuare segni di attività umane non autorizzate, contribuendo alla tutela dell'ambiente e al rispetto delle normative.

Oltre alle sfide specifiche di ciascuna missione, i piloti hanno dovuto affrontare ulteriori complessità operative. Infatti, l'esecuzione delle missioni ha richiesto un attento coordinamento tra i diversi team di volo, al fine di garantire la sicurezza delle operazioni ed evitare interferenze reciproche. Prima, durante e dopo ogni volo, i piloti hanno collaborato strettamente con gli osservatori di volo per effettuare i controlli di sicurezza, con l'ausilio di check list appositamente sviluppate dal gruppo "Gis, droni e *machine learning*". Inoltre, i piloti hanno dovuto affrontare situazioni inattese (simulate)



come, ad esempio, l'interferenza di volatili, dimostrando la loro capacità di reagire con prontezza e sicurezza.

A seguire, saranno organizzati degli incontri incentrati sull'elaborazione dati, articolati su due livelli. Il primo livello vede i piloti impegnati nella creazione di prodotti cartografici di base. Utilizzando software come 3DF Zephyr e DJI Terra, trasformeranno le immagini aeree in ortofoto dettagliate, modelli digitali del terreno (Dtm) e modelli digitali di superficie (Dsm), superando sfide come la correzione geometrica e la generazione di nuvole di punti dense. Questi prodotti, forniti in formato GeoTiff e Las, costituiranno la base per le successive analisi più approfondite, garantendo una rappresentazione accurata e tridimensionale del territorio. Successivamente, il gruppo "Gis, droni e *machine learning*", in collaborazione con il Servizio Sistemi informativi e innovazione digitale (Siid), si occuperà di analisi più approfondite, sfruttando software avanzati, tecniche di *machine learning* e competenze in *data science* per estrarre informazioni dettagliate dallo stato dell'ambiente.

A completamento delle attività svolte, il programma di formazione prevede a breve per i piloti dell'Agenzia l'acquisizione di 3 brevetti Open A2 e 10 brevetti Specific.

gli interventi di vigilanza con azioni mirate e riducendo le incertezze operative.

Un altro esempio di estrema efficacia di utilizzo dei droni è stato il supporto all'attività di ripristino costiero, seguito dal Centro tematico regionale Sistemi idrici, che cura il monitoraggio della duna sita nel Lido di Volano, nel comune di Comacchio (FE). Attraverso l'utilizzo di droni equipaggiati con Lidar è infatti possibile acquisire una grande quantità di dati, tale da permettere la creazione di modelli tridimensionali estremamente precisi della duna. Questi rappresentano uno strumento fondamentale, in quanto consentono di analizzare in dettaglio l'evoluzione morfologica della duna nel tempo e di valutare l'efficacia delle misure adottate anche in termini di sviluppo della vegetazione piantumata.

I droni si rivelano strumenti molto efficaci anche in situazioni di emergenza, garantendo una risposta rapida ed efficace alle segnalazioni di inconvenienti ambientali (Sia) e supportando le operazioni di soccorso. In particolare abbiamo esperienza di utilizzo dei droni in sinergia con i Vigili del fuoco in occasione di incendi a capannoni produttivi che hanno permesso di ispezionare rapidamente tetti e strutture per la verifica dei materiali di copertura e la valutazione delle successive misure precauzionali da assumere. Inoltre durante le indagini sulle segnalazioni di inconvenienti ambientali, i droni hanno dimostrato di essere strumenti preziosi per individuare scarichi illeciti, localizzare abbandoni di rifiuti e stimarne i quantitativi.

Oltre alla sperimentazione per utilizzi nelle attività istituzionali, Arpae sta valutando l'utilizzo dei droni in progetti di ricerca scientifica, anche in collaborazione con enti di ricerca e università, che possano contribuire a migliorare la lettura dei fenomeni ambientali e lo sviluppo tecnologico dell'Agenzia.

Un esempio concreto è il progetto in corso, che vede la collaborazione fra il Cnr-Istituto per la bioeconomia di Firenze, il Centro tematico regionale Qualità dell'aria e altri servizi di Arpae, volto a monitorare la qualità dell'aria utilizzando droni equipaggiati con sensori smart. Il progetto prevede che il drone esegua una serie di voli pianificati per effettuare misure ripetute in quota in punti noti, al fine di garantire precisione e affidabilità dei dati raccolti.

Inoltre, il gruppo "Gis, droni e machine learning" sta conducendo studi specifici con droni dotati di termocamera per valutare le potenzialità di questa tecnologia nell'individuare anomalie termiche, non altrimenti rilevabili con metodi tradizionali. Le informazioni ottenute attraverso le termocamere permetteranno di approfondire la conoscenza di diversi fenomeni e di sviluppare nuovi strumenti di analisi e diagnosi.

Le attività che impiegano i droni generano grandi quantità di dati complessi, richiedendo strumenti software sofisticati per l'elaborazione e l'analisi. Per far

fronte a questa esigenza, l'agenzia si sta dotando di software dedicati ad alte prestazioni. L'applicazione di algoritmi di *machine learning* permetterà, inoltre, di automatizzare l'analisi dei dati raccolti dai droni, identificando con maggiore precisione anomalie e trend.

Francesca Di Nicola, Daniele Chinè Milieri, Adele Lo Monaco

Servizio Indirizzi tecnici e reporting ambientale, Direzione tecnica, Arpae Emilia-Romagna

Si ringraziano il Ctr Qualità dell'aria, il Ctr Sistemi idrici - Unità mare-costa, il Servizio Sistemi informativi e innovazione digitale e le Aree di prevenzione ambientale (Apa) di Arpae

LA PIANIFICAZIONE DEL VOLO

La pianificazione del volo è una delle attività più importanti che il pilota Uas si trova a svolgere. Un volo ben pianificato permette di completare la missione con successo, in sicurezza e nel minor tempo possibile.

In primis è fondamentale effettuare l'analisi dello scenario operativo: verifica della presenza di eventuali zone non sicure e/o inibite o non autorizzate al volo, valutazione di tutte le possibili interferenze e della sicurezza generale dell'area interessata dall'operazione (ad es. presenza di persone non coinvolte, condizioni meteorologiche, ecc.). Solo dopo questa prima valutazione si può confermare o meno la missione e procedere, in caso affermativo, alla pianificazione del volo vera e propria.

Nella giornata di formazione, che si è tenuta il 31 luglio 2024 a Molinella (BO), è stato dato ampio risalto a questo aspetto, tramite una formazione mirata sui vari parametri da impostare in fase di pianificazione.

Il gruppo "Gis, droni e machine learning", ha sviluppato, inoltre, un registro di volo su cui i piloti sono tenuti a registrare ogni missione effettuata, indicando la data e l'ora in cui si è svolta la missione, il nominativo del pilota e degli osservatori di volo, l'identificativo del drone utilizzato, l'eventuale *payload*, la categoria in cui ricade la missione e il riferimento geografico della stessa.

Tutte queste informazioni consentono di tenere traccia delle attività svolte e rende Arpae già conforme alla normativa di riferimento, nel caso di voli in categoria Specific.

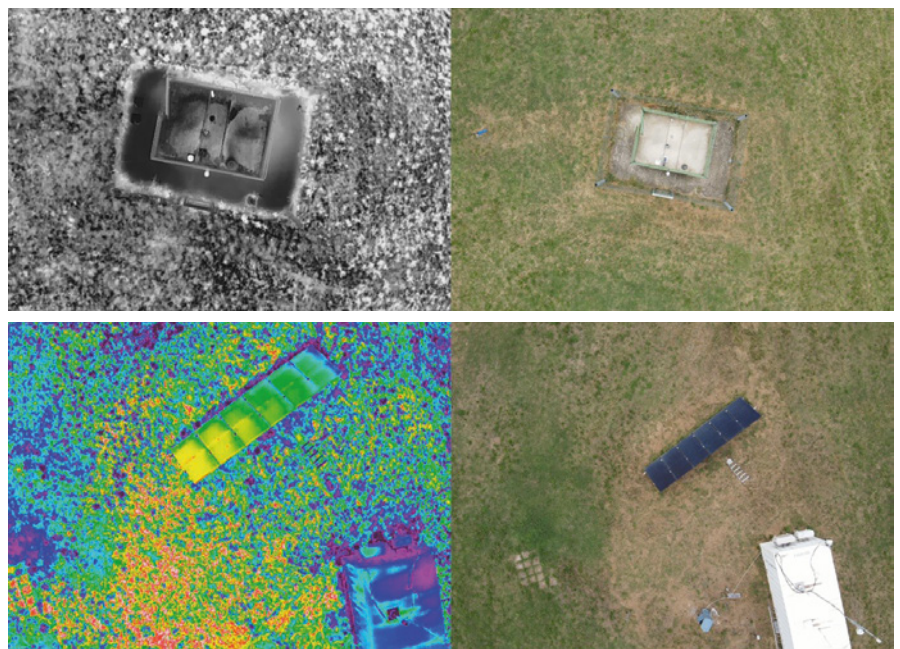


FIG. 3 TERMOCAMERA

Test termocamera nel sito di San Pietro Capofiume (BO), dettaglio delle immagini acquisite. Split Ir/Rgb di alcuni elementi di interesse nell'area di test.

SOSTENIBILITÀ PER LA SALUTE E L'AMBIENTE NEI PORTI ITALIANI

LE CITTÀ DEVONO POTER ESSERE IN ARMONIA CON I LORO PORTI E PER RAGGIUNGERE UNO SVILUPPO SOSTENIBILE, OCCORRONO UN NUOVO APPROCCIO E LA TRASFORMAZIONE SIGNIFICATIVA DEL MODO IN CUI QUESTI SPAZI SONO COSTRUITI E GESTITI, SOPRATTUTTO QUELLI INGLOBATI NEL CONTESTO URBANO O IN AREE INDUSTRIALI CONTAMINATE.

Lo sviluppo sostenibile si riferisce all'impegno globale condiviso dai Paesi delle Nazioni unite per promuovere il benessere umano e proteggere l'ambiente. Il tema è intimamente legato al binomio ambiente e salute, come esplicitato nella dichiarazione della VII Conferenza ministeriale Ambiente e salute di Budapest 2023 e, nel nostro Paese, nel Piano nazionale della prevenzione 2020-2025. Le aree costiere, specialmente quelle in cui coesistono in stretta contiguità zone portuali con annesso attività industriali e centri urbani, rappresentano zone particolarmente fragili se non gestite all'insegna della sostenibilità e della sicurezza. Molteplici attività portuali possono infatti rappresentare sorgenti di inquinamento chimico, acustico e luminoso, con ricadute negative sulla salute umana e sull'ambiente. Queste aree sono spesso interessate anche da fenomeni meteorologici estremi, influenzati dagli effetti del cambiamento climatico e dall'impatto delle attività umane sull'ambiente: innalzamento del livello del mare, inondazioni, erosioni, distruzione di habitat e infrastrutture, con profonda vulnerabilità dei centri abitati costieri. A

questi aspetti, si collegano anche i temi di equità e giustizia ambientale, soprattutto per le popolazioni che vivono e lavorano nelle aree portuali, quindi potenzialmente più vulnerabili alle esposizioni ambientali e ai rischi sanitari a esse connessi. L'integrazione dei temi ambientali, sociali, occupazionali e sanitari deve essere parte integrante delle attuali discussioni sullo sviluppo sostenibile in aree prioritarie come quelle portuali.

Verso porti ecologici e sostenibili

Attraverso iniziative e interventi che favoriscono lo sviluppo di soluzioni infrastrutturali e gestionali, i principali porti globali sono impegnati nel miglioramento delle proprie prestazioni ambientali per avviare la loro trasformazione in *Green ports*, cioè porti ecologici, più sicuri e più attenti al rapporto con la comunità locale, in sinergia con gli obiettivi dell'Agenda 2030 Onu. Descrivere un "porto sostenibile" equivale a concettualizzare come i porti e le

città portuali possano raggiungere uno sviluppo che consenta di utilizzare in modo responsabile le risorse naturali e che garantisca un equilibrio tra l'integrità dell'ecosistema, l'efficienza economica e l'equità sociale, per salvaguardare la salute e la qualità della vita dei lavoratori e dei residenti locali. Alcuni obiettivi dell'Agenda 2030 sono stati declinati nel contesto delle città portuali [1] per incentivare la realizzazione di strategie e progetti sostenibili, al fine di migliorare la relazione porto-città-comunità locale, mediante il controllo degli impatti negativi, ma anche attraverso la realizzazione di spazi e strutture collegate al porto.

Lo sviluppo di approcci sostenibili di *governance*, oltre a monitorare speciali indicatori di gestione e monitoraggio ambientale, permette anche di individuare le principali priorità ambientali da affrontare. In *tabella 1* sono indicate alcune tra le principali *environmental priorities of European ports*, la lista delle top 10 sono pubblicate annualmente dall'Organizzazione europea dei porti marittimi (Espo Environmental Report 2024) [2].



In Italia ci sono più di 300 porti, molti dei quali riconosciuti come *main ports*, in cui annualmente è movimentato più di un milione di tonnellate di merci o si registrano più di 200 mila movimenti di passeggeri. I 62 porti di rilievo nazionale, sono coordinati da 16 Autorità di sistema portuale (Adsp) [3], appositi enti pubblici non economici, a cui viene affidato un ruolo strategico di indirizzo, programmazione e coordinamento del sistema dei porti della propria area. In ambito di sostenibilità, per quanto riguarda le priorità ambientali, l'ambito operativo interessa in special modo il settore energetico, il miglioramento di tutti i parametri ambientali, tra i quali la riduzione dell'inquinamento atmosferico e acustico e il rapporto con la città, come meglio dettagliato in seguito. La pianificazione del sistema portuale deve essere rispettosa dei criteri di sostenibilità energetica e ambientale, in coerenza con le politiche promosse dalle vigenti direttive europee in materia. Le Adsp promuovono la redazione del documento di pianificazione energetica e ambientale del sistema portuale (Deasp) con il fine di perseguire specifici obiettivi, con particolare riferimento alla riduzione delle emissioni di CO₂. Il Deasp mira a individuare le strategie per l'implementazione di adeguate misure per migliorare l'efficienza energetica e promuovere l'uso di energie rinnovabili nei porti. Nel Rapporto Ispra 2024 sulle emissioni di gas serra in Italia, il settore dell'energia contribuisce in maniera maggioritaria a questo tipo di emissioni (oltre l'80%) e, tra le diverse componenti che lo costituiscono, le emissioni relative ai trasporti continuano a registrare criticità (+7,4% nel periodo 1990-2022), nonostante alcuni progressi conseguiti. Nel 2022, la percentuale di emissioni relative alla categoria settoriale dei trasporti è stata del 26,6% del totale nazionale, di cui il 5,3% è relativa proprio alla navigazione marittima [4]. In ambito di politiche per la decarbonizzazione dei trasporti, si cerca di promuovere l'interconnessione delle reti transeuropee (Ten-t), di cui molti porti italiani fanno parte, favorendo la circolazione di passeggeri e merci, soprattutto tramite ferrovia. Trieste è stato il primo porto in Italia a diventare gestore degli impianti ferroviari, e nel 2023 con oltre 12 mila treni all'interno del network logistico, ha contribuito al raggiungimento delle performance nel settore intermodale anche in termini di sostenibilità con il 54% dei container indirizzati via ferrovia. Altro serio problema ambientale legato

Top 10 environmental priorities of the port sector 2024 1) Climate change 2) Energy efficiency 3) Air quality 4) Noise 5) Port development (land-related) 6) Ship waste 7) Garbage/Port waste 8) Water quality 9) Relationship with the local community 10) Port development (water-related)	
Priorità ambientali	Descrizione
Cambiamenti climatici	Vengono adottate normative ambientali più rigorose da parte delle autorità per limitare le emissioni di sostanze inquinanti e gas serra (Ghg) derivanti dal consumo di energia
Efficienza energetica	Molti porti si stanno impegnando attivamente per migliorare la propria efficienza energetica. Le misure impiegate mirano all'ottimizzazione del consumo energetico, alla riduzione degli sprechi e a mitigare gli impatti ambientali legati alla produzione e al consumo di energia
Qualità dell'aria	I trasporti rappresentano una fonte significativa di emissioni di zolfo biossido di carbonio (SO ₂), ossido di azoto (NO _x), particolato (PM) e composti organici volatili (Cov). Sono state introdotte politiche di riduzione emissioni, a partire dalla Convenzione Marpol 73/78
Rumore	Include sia il rumore ambientale che quello subacqueo. Quello di tipo ambientale deriva principalmente da macchinari, gru e camion coinvolti in attività di carico e scarico merci, mentre quello sottomarino proviene principalmente dai motori ausiliari delle navi. È importante anche nel rapporto porto-città, poiché, come l'inquinamento atmosferico, anche l'esposizione al rumore può avere importanti effetti sulla salute
Relazione con la comunità locale	I porti sono inglobati nel contesto urbano e molti quartieri sono adiacenti all'area portuale. Questo causa problemi e preoccupazioni alla comunità locale per la salute, per il traffico stradale indotto dal porto e per altri fattori socioeconomici. È necessario rafforzare il rapporto porto/città, promuovendo la conoscenza delle questioni ambientali e coinvolgendo le parti interessate nei processi decisionali, in modo da incoraggiare azioni concrete a beneficio dell'intera comunità locale e garantire uno sviluppo sostenibile a tutte le attività da realizzare

TAB 1 PRIORITÀ AMBIENTALI
Principali priorità ambientali dei porti europei 2024 e descrizione di alcune di esse.

alla salute è l'inquinamento acustico, in particolare, quello associato ai porti è prodotto da diverse sorgenti interne (attività portuali e navi in navigazione o banchina) ed esterne all'area (traffico veicolare indotto dal porto) e necessita di idonee campagne di misura e adeguati sistemi di monitoraggio. A tal riguardo, specifici indicatori ambientali e progetti di ricerca dedicati ai diversi aspetti del rumore portuale (Report, Rumble, Mon acumen, Decibel e List Port) supportano lo sviluppo di mappature acustiche e altri strumenti utili al risanamento [5]. Molti porti italiani sono fortemente inglobati nell'area urbana, con conseguenze che influiscono sulla qualità della vita locale dei residenti. Per avvicinare le comunità alla vita e cultura portuale, sono nate specifiche iniziative in sinergia tra le Adsp nazionali, tra cui gli *Italian port days*, e sono in corso opere di riqualificazione delle aree degradate intorno agli scali, in modo da migliorare la qualità residenziale dei quartieri limitrofi, decongestionare la viabilità locale. Per citare qualche esempio, il porto di Livorno ha realizzato il *Livorno port center*, con l'obiettivo di aprire il porto alla città e al territorio, promuovendo e diffondendo la conoscenza delle attività che in esse si svolgono. L'Adsp del mar Tirreno settentrionale sta consolidando ed espandendo i principi progettuali nella nuova rete del *Port center dell'alto Tirreno*.

Molte Adsp stanno promuovendo iniziative simili per la valorizzazione del contributo al territorio in termini di sostenibilità.

Sostenibilità dei porti situati in prossimità di siti contaminati

I porti italiani differiscono in dimensioni, gestiscono merci diverse e al loro interno includono anche attività di tipo industriale, cantieri navali o basi navali militari. Molti di essi si trovano all'interno o nelle vicinanze di aree industriali contaminate, in cui esistono possibili impatti sulla salute a causa dei diversi fattori di pressione che sovraccaricano il territorio e le comunità. In Italia, le principali categorie merceologiche trasportate su nave sono le materie prime e i prodotti energetici come carboni fossili, petrolio greggio, gas naturale e coke e prodotti petroliferi raffinati [6]. Alcuni porti, come ad esempio Taranto, Porto Torres e Falconara Marittima, sono infatti anche porti petroliferi e movimentano al loro interno prodotti industriali. Nello studio *Sustainability of italian seaports located near contaminated sites: results of an exploratory analysis* (Fabri et al. 2023) [7], sono state caratterizzate le aree portuali italiane situate nei comuni

inclusi nei siti contaminati di interesse per le bonifiche ambientali del progetto Sentieri (Studio epidemiologico dei residenti nei siti contaminati italiani) [8] in *tabella 2*. Il lavoro descrive i profili di salute delle popolazioni che vivono in queste aree, riportando gli eccessi per alcune patologie per le quali vi è un'evidenza a priori di associazione con le aree portuali (ad esempio "evidenza limitata" per mesotelioma pleurico e tumori maligni pleurici, malattie dell'apparato respiratorio e asma). La presenza di aree portuali unita a condizioni ambientali critiche rende necessario monitorare e valutare le qualità ambientali che possono garantire la tutela della salute pubblica attraverso lo sviluppo sostenibile di queste aree. È importante condurre adeguati studi epidemiologici analitici sulle comunità che vivono nei pressi dei porti marittimi italiani, soprattutto per quelli localizzati in aree così complesse come i Sin, tenendo conto dell'esposizione residenziale e professionale ai principali contaminanti.

Conclusioni

Comprendere il legame che esiste tra sviluppo sostenibile e salute umana è un elemento chiave per intraprendere azioni efficaci in aree critiche come quelle portuali. Le città devono poter essere in armonia con i loro porti e non si può raggiungere uno sviluppo sostenibile senza trasformare in modo significativo il modo in cui questi spazi sono costruiti e gestiti, soprattutto quelli inglobati nel contesto urbano o in aree industriali contaminate. Gli sforzi devono concentrarsi sull'implementazione di politiche inclusive e resilienti, pratiche di sviluppo urbano sostenibile, spazi verdi e blu per migliorare l'ambiente di vita delle popolazioni nelle città portuali preservandone la salute. Conoscere e monitorare lo stato di salute dei porti vuol dire comprendere le criticità che interessano aree del territorio nazionale complesse da un punto di vista produttivo, ambientale, occupazionale e socio-sanitario, in modo da promuovere uno sviluppo economico compatibile con la tutela e promozione della salute. I programmi legati alla sostenibilità portati avanti da molti porti mostrano la volontà di contribuire agli obiettivi di sviluppo sostenibile. Gli strumenti offerti dal monitoraggio integrato ambientale e sanitario consentono di verificare l'efficacia delle azioni di risanamento e riqualificazione ambientale e dovrebbero

essere sempre affiancate dallo studio dei fattori responsabili delle disuguaglianze sui temi ambiente e salute in indagini partecipate con gli attori sociali e istituzionali delle comunità nelle aree portuali. Promuovere la creazione di banche dati intersettoriali è essenziale per comprendere a che punto i porti siano sulla strada giusta per il raggiungimento

degli obiettivi e come indirizzare le energie per colmare le lacune esistenti.

Alessandra Fabri, Ivano Iavarone

Reparto Epidemiologia ambientale e sociale, Dipartimento Ambiente e salute, Istituto superiore di sanità
Who Collaborating centre for environmental health in contaminated sites

Regione	Porto situato in uno dei comuni dei Sin	Sin
Liguria	Porto di La Spezia	Pitelli - L 246/98 (Sito di interesse regionale)
Toscana	Porto di Carrara	Massa e Carrara - L 426/1998
	Porto di Piombino	Piombino - L 426/1998
	Porto di Livorno	Livorno - L 468/2001
Sardegna	Porto di Porto Torres	Aree industriali di Porto Torres - L 179/2002
	Porto di Portovesme (Portoscuso)	Sulcis-Iglesiente-Guspinese - Dm 18/09/2001, n. 468
Calabria	Porto di Crotona	Crotona-Cassano-Cerchiara - Dm 18/09/2001, n. 468
Sicilia	Porto di Milazzo	Milazzo - L 266/2005
	Porto di Gela	Gela - L 426/1998
	Porto di Siracusa e Porto di Augusta	Priolo - L 426/1998
Puglia	Porto di Bari	Bari-Fibronit - Dm 18/09/2001, n. 468
	Porto di Brindisi	Brindisi - L 426/1998
	Porto di Taranto	Taranto - L 426/1998
	Porto di Manfredonia	Manfredonia - L 426/1998
Marche	Porto di Falconara/Porto di Ancona	Falconara Marittima - L 179/2002
Veneto	Porto di Venezia (Marghera)	Venezia (Porto Marghera) - L 426/1998
Friuli Venezia Giulia	Porto di Trieste	Trieste - Dm 18/09/2001, n. 468

TAB. 2 PORTI E SIN

Porti marittimi italiani situati in uno dei comuni compresi in uno dei Siti di interesse nazionale (Estratto dalla tabella 1 dello studio Fabri et al., 2023).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Aivp, International association cities & ports, www.aivp.org
- European sea ports organisation (Espo), www.espo.be/publications
- Autorità di sistema portuale (Adsp), www.assoporti.it/it/autoritasistemaportuale/adsp
- Ispra, 2024, *Le emissioni di gas serra in Italia. Obiettivi di riduzione al 2030*, Rapporti 399/2024, www.isprambiente.gov.it/files2024/publicazioni/rapporti/rapporto-399-24-le-emissioni-di-gas-serra-in-italia.pdf
- Programma Interreg Italia-Francia marittimo 2014-2020, <https://interreg-maritime.eu/it/web/pc-marittimo/home>
- Istat, 2022, *Report trasporto marittimo 2020*, www.istat.it/it/files/2022/03/REPORT_TRASPORTO-MARITTIMO_2020_16-03-2022.pdf
- Fabri A., Pasetto R., Marsili D., Zona A., De Santis M., Iavarone I., 2023, "Sustainability of Italian seaports located near contaminated sites: results of an exploratory analysis", *Annali dell'Istituto superiore di sanità*, 59(2), 159-169, https://doi.org/10.4415/ANN_23_02_09
- Zona A., Fazzo L., Pasetto R., Benedetti M., Bruno C., De Santis M., Iavarone I., Eds., "Sentieri - Studio epidemiologico azionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento", Sesto Rapporto, *Epidemiol prev.*, 2023;47 (1-2 Suppl. 1):1-286, <https://doi.org/10.19191/EP23.1-2-S1.003>

METAFORE E MODELLI PER IL CAMBIAMENTO SOSTENIBILE

DALLA CONNESSIONE TRA BIOLOGIA E PSICOLOGIA ALL'ECONOMIA CIRCOLARE, NEGLI ULTIMI 50 ANNI SI SONO SUCCEDETI SISTEMI DI PENSIERO CHE HANNO CERCATO DI AFFRONTARE LA SFIDA DELLA COMPLESSITÀ, ANDANDO NELLA DIREZIONE DELL'INTEGRAZIONE DI DIVERSI SAPERI E DEL SUPERAMENTO DELLA DICOTOMIA TRA CULTURA SCIENTIFICA E UMANISTICA.

Ogni cultura, tradizione, disciplina, è sorretta da premesse epistemologiche, etiche, antropologiche, pedagogiche. Sono chiavi di lettura dei fenomeni, ecologie delle idee. Consentono una ricognizione plurale delle culture di riferimento dell'educazione alla sostenibilità.

Da sempre ogni organizzazione si trova a dover assicurare l'onere della prova – la coerenza degli obiettivi con le sue azioni – poiché è questo forse il primo indicatore di efficacia che siamo chiamati a fornire.

Questo contributo prende in considerazione tre temi/scuole di pensiero per coglierne i punti di forza e di debolezza: 1) la connessione tra sociobiologia ed ecopsicologia; 2) il matrimonio tra ambiente ed economia (l'eco-efficienza); 3) dall'economia della frontiera alla navicella spaziale (la metamorfosi da bruco a farfalla).

Connessioni con la natura

Il biologo americano Edward O. Wilson, utilizza il termine *biofilia* connettendo psicologia ed ecologia per indicare un'esperienza empirica di comunione profonda con la natura. Il volume del 1984 e l'omonimo progetto di ricerca attirano altri biologi e psicologi, ma quando incontra la moda *new age* assume un profilo più magico che scientifico. A partire dagli anni '70 progetti di ricerca scientifici sviluppano elementi di connessione con le scienze umane. Taluni riscuotono grande successo, altri meno, ma è sulla concretezza e sulla forza creatrice e di innovazione che si misura la credibilità di un progetto. Wilson è in quegli anni promotore della *sociobiologia*, un campo di ricerca nel quale la biologia determina il campo culturale e sociale.

La biofilia si sviluppa in questo contesto, significando un legame ancestrale tra l'uomo e la natura, "una relazione affettiva innata tra umanità ed ecosistema" di cui



abbiamo bisogno per controbilanciare la perdita e il distacco di natura.

La teoria e l'azione che ne derivano hanno prodotto anche contraddizioni e lasciato problemi irrisolti. Ne sottolineo alcuni:

- *teorie del tutto*: ideologie che pretendono di spiegare tutto pur avendo basi fragili, teorie fumose difficili da verificare

- *la semplicità del riduzionismo*: è alla ricerca di un principio fondamentale da cui osservare i fenomeni. Ma lascia un grande vuoto nell'analisi del rapporto con gli aspetti sociali, economici, politici, culturali

- *l'antropocentrismo*: la concezione che vede la specie umana (occidentale) dominare su tutte gli organismi viventi del pianeta. Al suo posto il movimento Usa "Earth First", braccio politico della biofilia, sostiene che il futuro è "biocentrico", supponendo che tutto ciò che è naturale sia buono e virtuoso - in tal senso, la *deep ecology*, portata agli estremi, arriva a guardare con indifferenza alla condizione umana.

Anche per i motivi sopra esposti, fino a ieri era difficile credere che la biofilia potesse collegarsi con i processi educativi. Negli ultimi anni l'affermarsi dell'*outdoor education* ha creato un ponte tra i due mondi. "L'educazione in natura" non si pratica più solo nei giardini scolastici, nei parchi, nelle fattorie didattiche, ecc. e il soggetto è coinvolto in molteplici

dimensioni: cognitiva, fisica, affettiva e relazionale. Secondo recenti studi la connessione con la natura è associata a una maggiore autonomia, autostima, senso di scopo nella vita, capacità di attenzione, e a livelli più bassi di ansia, depressione, stress. Ma non c'è il rischio che sia un effetto placebo? La connessione con la natura e la capacità di percepire il valore rigenerativo dei luoghi noti per il loro verde pubblico e privato, sono stati misurati e anche questo avvicina le educazioni. Chiediamoci comunque se non ci sia un'idea di natura (un'epistemologia, un'etica, una pedagogia) diversa dai biofilii alla concezione propria delle scienze di cui ora parleremo.

Capitale naturale

Un quarto di secolo fa la teoria e la pratica della sostenibilità facevano un importante salto di qualità. La sostenibilità non era più teoria, ma cominciava a vivere negli esempi concreti di nuova impresa e nuovi modelli produttivi, nei processi educativi e partecipativi, in nuovi stili di vita attenti all'ambiente e alla giustizia sociale. L'evoluzione tecnologica e organizzativa – mostravano in *Capitalismo naturale* Paul Hawken, Amory Lovins e Hunter Lovins – consente di raggiungere gradi di efficienza nell'uso di energia e materia che

moltiplicano per quattro, per dieci volte e oltre il rendimento di impianti e processi produttivi a parità di prodotto. Si tratta di una tendenza in atto che potrebbe dare sempre più importanti risultati qualora gli Stati cessassero di agevolare le produzioni più energivore e inquinanti.

Sono ormai obsolete e pericolose le classiche teorie economiche ossessionate dalla crescita quantitativa. Attenzione imprenditori – dicevano gli autori – risparmiare energia e materia e produrre in modo ecoefficiente ed ecocompatibile è non solo possibile, ma anche la condizione per il successo futuro della vostra impresa! Un ragionamento analogo proponeva Wolfgang Sachs registrando il fallimento epistemologico del pensiero economico (non impara abbastanza rapidamente dai cambiamenti) che continua a dare per scontato che la natura ci sarà sempre, gratuita e infinita. Ancora oggi paghiamo solo il lavoro che serve per utilizzare le risorse naturali, non il valore delle risorse. Si continua a omettere il fatto che nel creare valore economico si produce anche un disvalore in termini di inquinamento e consumo di risorse.

Occorre superare il capitalismo tradizionale che considera il solo capitale finanziario e le forze produttive, arrivando a includere il capitale umano fatto di cultura e di organizzazione e il capitale naturale fatto di risorse e materie prime, di servizi prodotti “gratuitamente” dai sistemi viventi. Ecco le quattro strategie che implementano il capitale naturale. In sintesi:

- 1) una produttività delle risorse maggiore, la possibilità di ottenere lo stesso lavoro utile da un prodotto o da un processo utilizzando meno materiali e meno energia
- 2) il principio della bio-imitazione, organizzare il processo produttivo sulla base del funzionamento dei sistemi biologici, principio che porta a eliminare lo stesso concetto di rifiuto adottando il costante riuso dei materiali in cicli chiusi e continui
- 3) perseguire un'economia di flusso e di servizio, nella quale più che produrre e vendere merci si tende a proporre ai consumatori l'equivalente servizio grazie a nuove forme di noleggio e leasing. Un'economia che supera l'usa e getta con beni durevoli e di qualità
- 4) investire in capitale naturale anche al fine di garantire il sostentamento di un pianeta la cui popolazione aumenta mentre le risorse diminuiscono.

L'economia circolare

Sarà Ellen McArthur con la sua fondazione a raccogliere il testimone e gli sviluppi del ventennio sopra richiamato.

La novità consiste anche sul fatto che l'economia sostenibile non resta una teoria affascinante, ma viene adottata dall'Unione europea che la assume nei suoi documenti strategici a partire dal programma per un'Europa a rifiuti zero (2014).

Economia circolare è un sistema economico resiliente, pensato e gestito in modo tale da potersi rigenerare, garantendo nel tempo la riproducibilità delle risorse naturali. L'economia circolare modella il processo economico sulle caratteristiche e sul funzionamento dei sistemi viventi, la loro natura aperta e non lineare. Struttura e organizza la produzione di beni e servizi come un “ciclo rigenerativo” che non lascia scarti, ma reimmette tutto in circolo. Della massima importanza per l'economia circolare sono quindi la progettazione e il design di prodotti e servizi, l'analisi del ciclo di vita in termini di sostenibilità, per costruire beni di lunga durata e prevenire i rifiuti. Per sostituire sempre più la produzione e l'acquisto individuale di oggetti in favore di servizi equivalenti (*sharing economy*). L'economia circolare richiede infine, assieme a nuova strategia di impresa e nuovo management, la formazione di nuovi consumatori e l'adozione di nuovi stili di vita, quindi un investimento in cultura ed educazione per tutta la cittadinanza, anch'esso lungo tutto il ciclo di vita.

Paradigmi a confronto, i significati e le pratiche

Pensare per metafore e modelli, è opinione di molti studiosi e loro discipline, sia scientifiche che umaniste, consente di accedere a un livello di cognizione superiore. Alla base della differenziazione delle metafore c'è la risposta alla crisi dei modelli epistemologici nella concezione della scienza del Novecento. Il venir meno di un principio ordinatore, l'instabilità della nozione di natura, la facile strada della semplificazione contro la sfida della complessità.

Pensatori e ricercatori come Ilya Prigogine (la nuova alleanza), Gregory Bateson (l'ecologia della mente), Michel Serres (la scienza di Venere), Edgar Morin (100% natura 100% cultura) Francisco Varela (autopoiesis), Ulrich Beck (la metamorfosi del mondo), Bruno Latour (il nuovo regime climatico) dettano le parole chiave delle rivoluzioni scientifiche degli ultimi cinquant'anni, che hanno parlato di “sfide della complessità” e che proiettano immagini di una natura integrata alla dimensione culturale, il superamento delle “due

culture”, quella scientifica e quella umanistica. Le matrici comuni includono la componente digitale, l'etica della responsabilità, la sostenibilità ambientale, sociale, economica tra loro integrate.

Il primatismo e il determinismo biologico sostenuti da Wilson sembra non abbiano retto all'evoluzione della salute del pianeta e oggi sono smentiti dal geologo Paul Crutzen quando ci spiega che avendo la specie umana raggiunto una potenza mai vista, in grado di influenzare l'equilibrio dell'atmosfera, siamo entrati nell'era dell'antropocene. Concentrando l'approccio sulle componenti affettive e naturalistiche – sottovalutando quelle economiche, politiche, scientifiche – si rischia di allontanare la soluzione dei problemi.

Diversamente dalla biopsicologia, l'economia verde ha una visione complessa, una logica e una pianificazione sistemica coerenti. Sono di riferimento per gli obiettivi, le metodologie e gli strumenti delle organizzazioni mondiali, tra le quali l'Agenda 2030 dell'Onu e il *green deal* europeo per la transizione ecologica. Il paradigma dominante, il sapere elaborato e trasmesso ex cathedra per blocchi separati di discipline condivise con l'economia lineare la stessa logica riduttiva e penalizzante il funzionamento dei sistemi viventi. Viceversa, strumenti quali l'economia circolare e l'educazione alla sostenibilità si propongono come una ricerca-azione dialogica e proattiva del processo di apprendimento.

Il concetto di natura, come si è evoluto dalle più antiche definizioni alla odierna condizione di instabilità e incertezza, è una parola da utilizzare con cura e cautela. La sfida è costruire un nuovo *sistema mondo* complesso, strutturato, dinamico, instabile. Ci aiuta nella sua comprensione Bruno Latour. L'antropologo e filosofo della scienza scava a fondo nelle determinanti il sistema terrestre. La natura e la cultura non sono separabili. Per Latour è fuorviante ormai parlare di crisi ecologica: “La crisi si è trasformata in una profonda alterazione del nostro rapporto con il mondo”. Nell'era dell'antropocene, ovvero in cui l'uomo è il *dominus* in grado di alterare l'atmosfera, occorre “operare per il mantenimento delle condizioni di abitabilità della terra” attraverso pratiche rigenerative, la resistenza della società al primato dell'economia.

Paolo Tamburini

Responsabile Educazione alla sostenibilità, Arpa Emilia-Romagna

IL PIANO DI COMUNICAZIONE PER LA NARRAZIONE AMBIENTALE

SE RESPONSABILMENTE COSTRUITO COINVOLGENDO TUTTE LE COMPONENTI DELL'ORGANIZZAZIONE, LO STRUMENTO RAPPRESENTA UNA RISORSA STRATEGICA AL SERVIZIO DI UN'AZIONE COMUNICATIVA NON PIÙ DIPENDENTE DALLA CONTINGENZA DEL MOMENTO, MA COESA E RIVOLTA NATURALMENTE AL MEDIO-LUNGO PERIODO.

Una breve premessa, per inquadrare la portata strategica dello strumento, alla luce di una attualità narrativa che non è solo diffusa nelle aspettative rappresentate ma anche pericolosamente polarizzata. Lunghi dall'essere esclusivamente "un documento che imposta le attività di comunicazione di uno o più anni, descrive la narrativa, indica i valori dell'azienda, definisce gli *stakeholder* e identifica i pubblici, calcola i budget e le risorse umane impiegate, propone gli *output* e gli *outcome*, elencando gli strumenti di misurazione, le fasi di ascolto, creatività ed esecuzione"¹, il piano di comunicazione testimonia anche una chiara assunzione di responsabilità da parte dell'organizzazione che lo ha pensato, prima, e attuato dopo, nella cornice di una narrazione non più orientata dalle contingenze del momento. E, proprio per questo, più ambiziosa e strutturata negli obiettivi da cogliere. Esprimendo, di fatto, una vera e propria valenza reputazionale nei confronti di tutti i pubblici interessati, interni ed esterni all'organizzazione.

I momenti e le azioni del piano di comunicazione

Lo strumento consta di tre momenti ineludibili che devono essere sempre interpretati dai suoi estensori in maniera interdependente, sia dal punto di vista comunicativo sia da quello attuativo:

- la fase di pianificazione in cui l'organizzazione aggrega tutte le informazioni utili e funzionali al nascente proposito
- la fase di costruzione in cui si procede all'individuazione degli obiettivi e alla conseguente formulazione della strategia
- la fase di attuazione in cui il piano produce effetti comunicativi che andranno, di volta in volta, misurati, per valutare eventuali scostamenti tra quanto auspicato e quanto realizzato.



Ognuno di questi momenti esprime una complessità e delle azioni che, pur metabolizzate nel dettato pubblicitario, spesso vengono sottovalutate nell'esperienza quotidiana. Ne evidenzio tre, a titolo esemplificativo.

Nella fase di pianificazione, per esempio, l'attività di raccolta delle informazioni viene effettuata con lo sguardo rivolto al solo esterno, agli ambiti di esercizio o all'azione dei *competitor*, senza tenere in considerazione l'interno che pure avrà il compito di eseguire materialmente le azioni previste dal piano.

Tutto ciò diviene ancora più evidente nel momento in cui lo stesso piano di comunicazione viene costruito dal vertice e "calato" pedissequamente sui livelli intermedi, in assenza di momenti di ascolto, confronto e condivisione. Non è l'unica miopia riscontrata. Pensiamo al modo (siamo nella fase di costruzione) frettoloso e talvolta addirittura incauto in cui intendiamo i nostri possibili obiettivi, dimenticando che per essere tali gli stessi devono essere chiari e specifici (per poter essere trasmessi e decodificati in

maniera inequivocabile), coerenti con il patrimonio valoriale di cui l'organizzazione è portatrice, realistici e misurabili. E che anche l'assenza di una singola caratteristica comporta inevitabilmente un punto d'approdo vago, sorretto (non casualmente) da una strategia "da trincea" in cui vittorie e sconfitte non sono mai decisive ma sempre interlocutorie.

E ancora, arrivando alla fase di attuazione, al metodo di misurazione più comunemente adottato che contempla due sole opzioni, rigorosamente collocate alla conclusione del processo: il successo – nel momento in cui ciò che è stato raggiunto aderisce perfettamente alle aspettative di partenza – e il fallimento in cui viene rilevato uno scostamento (anche minimo) tra ciò che si è colto e ciò che ci si aspettava di cogliere. Affrancando dalla riflessione critica che dovrebbe ammantare il momento tutte quelle gradazioni di colore esistenti tra il bianco e il nero che potrebbero aiutare le organizzazioni a selezionare le aree vulnerabili e più esposte su cui concentrare attività di intervento e di

risanamento sartoriali. E a dialogare con pubblici che non sono più spettatori passivi ma che, al contrario, contribuiscono in maniera determinante a “una cornice relazionale in cui il contenuto si modifica/arricchisce/impoverisce più e più volte, sempre in maniera diversa”² in un flusso che consente agli attori (professionali e non) di specificare la conoscenza (di sé e degli altri) modellando il proprio agire interno ed esterno.

Gli esempi di cui sopra dimostrano che a essere desueto non è lo strumento in esame – che conserva, al contrario, una propria centralità nel momento in cui si confronta con aspettative, paure, scetticismi e polarizzazioni – quanto, piuttosto, il trend comunicativo esasperatamente reattivo e veloce a cui, nel tempo, abbiamo già sacrificato tante altre dotazioni strumentali. E che per il piano di comunicazione serve una rinnovata attività di accreditamento che ne riabiliti l'essenza, l'urgenza e la necessità, rispetto a sfide sempre più pressanti.

Una ipotesi di advocacy per il piano di comunicazione

Di fronte a resistenze che si concentrano sulla forma apparentemente rigida dello strumento rispetto a uno scenario di riferimento che cambia repentinamente, occorre innanzitutto precisare che la forma è tale in alcune sue componenti³

mentre conserva una flessibilità nelle fasi più attuative, aiutata anche da un processo misurativo che non può essere più previsto alla conclusione del processo, ma che deve disseminare qualitativamente tutte le fasi. Per poter meglio intercettare i cambiamenti *in progress*, salvaguardando rimodulazioni non invasive rispetto agli obiettivi auspicati.

Il tema della verifica ossessiva di quanto si è già fatto e di quanto si sta facendo diventa inoltre determinante rispetto alla questione, dolorosamente attuale, delle crisi potenziali il cui effetto spesso comporta ripercussioni reputazionali, oltre che organizzative e progettuali⁴. La tesi è intuitiva e si adatta, con un incastro perfetto, alle caratteristiche dello strumento. Maggiore sarà l'accuratezza della fase di ascolto di ciò che accade dentro, fuori e intorno all'organizzazione, maggiore sarà la possibilità di definire degli obiettivi sostanzialmente utili, accompagnati dalla scelta delle dotazioni strumentali più idonee, tra le tante presenti nella cassetta degli attrezzi del comunicatore. Così come maggiore sarà la conoscenza di tutti i pubblici coinvolti, maggiore sarà, per l'organizzazione, la possibilità di sopportarne l'onere e l'onore relazionale, nella cornice di un dialogo serrato e sincero, non viziato da incomprensioni che potrebbero rallentare la resa.

Chiaramente vale anche il contrario, ed è questo il motivo principale per cui un piano di comunicazione deve essere pensato, discusso e applicato con

metodologie diffuse che interessino tutte le componenti organizzative. Non solo per sfruttare al massimo quelle competenze dirette maturate sul campo ma anche, soprattutto, per stimolare un coinvolgimento proattivo e responsabile da parte di coloro che saranno esecutori di quelle direttive. E a cui toccherà il compito di fronteggiare crisi potenziali. In conclusione, in ballo non c'è solo l'assetto organizzativo dello strumento, ma anche la sua stessa credibilità; una essenza che non possiamo permetterci di smarrire o, peggio, disperdere, soprattutto alla luce dell'attuale scenario generale di riferimento.

Stefano Martello

Componente tavolo “Ambiente e sostenibilità”, Pa Social

NOTE

¹ Biagio Oppi, *#Passione comunicazione. Introduzione alle relazioni pubbliche e alla comunicazione strategica*, Bononia University Press, 2021, p. 15.

² Stefano Martello, Roberta Zarpellon, “Il Piano di comunicazione: pianificazione, costruzione e attuazione”, in AA.VV., *Lezioni Campane. I fondamentali della comunicazione*, Csv Napoli, 2021, p. 35.

³ Per esempio, nel rispetto dei valori identitari dell'organizzazione referente.

⁴ Sul tema, Luca Poma, “#Crisi”, in Stefano Martello, Sergio Vazzoler (a cura di), *Dove i fatti non arrivano. Antologia ragionata e appassionata della comunicazione ambientale*, Pacini Editore, 2024, pp. 63-64.



ECO-LOGOS

Pensiero ecologico, ruolo della scienza, riflessioni sugli esseri umani e il loro rapporto con il pianeta

LA MATRICE INDIGENA E LA NORMATIVA AMBIENTALE BIOCENTRICA

Federica Falancia • Università del Salento



L'interesse per la giustizia climatica è cresciuto enormemente negli ultimi decenni. La preoccupazione per la salute umana e del pianeta è condivisa a livello globale, così come l'utilizzo, nel linguaggio comune, del termine antropocene¹. A partire dagli anni 2000 il termine identifica l'età/era geologica del pianeta e il cambiamento irreversibile degli strati geografici della Terra causato dalle attività economiche umane. Questa situazione, già a partire dagli anni '70, ha stimolato la comunità scientifica a ripensare la dicotomia natura/cultura. La riflessione post-moderna che ne è scaturita ha condotto le scienze umane e sociali alla "svolta ontologica" (*ontological turn*), ossia alla critica della relazione tra umano e non umano, tema dibattuto con intensità e frequenza crescenti². I critici³ impegnati nella revisione del paradigma occidentale e dei suoi dualismi ci informano che nel Nord del mondo si sta espandendo una visione alternativa a quella antropocentrica moderna; una visione cosmocentrica che postula una relazione di interdipendenza e continuità fluida tra società umana e natura, tra corpo umano e ambiente biotico e abiotico⁴. Relazione avvalorata, oltre che dalle scienze umane, dalla recente biologia che inizia a parlare di post-genomica e per cui "si stima che il 90% delle cellule che ci compongono siano batteriche. La salute del corpo non dipende più da un organo sano o malato, ma dalla biodiversità e dalle caratteristiche dei batteri, che sono considerati come mediatori tra noi e l'ambiente"⁵.

Come tutte le altre discipline, anche le scienze giuridiche mettono in atto radicali ripensamenti delle categorie tradizionali. A partire dagli anni 2000 si assiste infatti a una

svolta storica: l'essere umano non è più l'unico soggetto del diritto, ma l'attenzione è rivolta in via più ampia al vivente. Si pensi che attualmente due Stati al mondo, l'Ecuador e la Bolivia, hanno riconosciuto a livello costituzionale che la "natura" è soggetto di diritto. L'Ecuador, nel 2008, inserisce i diritti della natura nella Costituzione stessa, mentre la Bolivia attribuisce il compito di regolare i diritti della natura alla legge. Altri eventi giuridici a favore della natura sono rinvenibili nelle sentenze che riconoscono elementi naturali come soggetti di diritto: il riconoscimento della soggettività giuridica di una parte dell'Amazzonia colombiana; il fiume Atrato come soggetto di diritto e con diritti sempre in Colombia (Corte Cost. 2016); il fiume Whanganui riconosciuto come persona giuridica in Nuova Zelanda (2012); i fiumi Gange e Yamuna riconosciuti legalmente come persone con sentenza dell'Alta Corte dell'Uttarakhand (2017) seguita da una sentenza successiva che ha riconosciuto la personalità giuridica anche ai ghiacciai dell'Himalaya⁶. È del 2022 la prima legge europea che riconosce che il Mar Menor in Spagna è soggetto di diritto.

L'attribuzione di personalità giuridica e diritti alla natura operata da alcune Corti e normative nel mondo, oltre a inaugurare concretamente una svolta biocentrica che separa la natura dalle premesse antropocentriche che fino a oggi hanno caratterizzato la normativa ecologica,⁷ indica la necessità di indagini interculturali. La motivazione di questi nuovi e coraggiosi orientamenti è infatti fortemente influenzata dalle pressioni teorico-pratiche di matrice indigena. I luoghi di vivace pluralismo giuridico, come quello latinoamericano ad

esempio, rappresentano in modo esemplare il dialogo/confronto tra ontologie antitetiche. L'incontro si traduce spesso nella coesistenza conflittuale, purtroppo nota, tra le numerosissime tradizioni indigene popolanti il continente e la cultura di matrice euro-occidentale. Visto il progressivo aumento di norme nazionali e internazionali in tema di diritti umani, degli indigeni e dell'ambiente, una delle sedi della discussione è sempre più spesso quella giudiziaria.

La vicenda dei sarayaku, indigeni kichwa della selva amazzonica ecuadoriana, è simbolo esemplare di questo incontro ed è emblematica per l'influenza che ha avuto nel trasformare il diritto positivo. All'inizio degli anni 2000 lo stato dell'Ecuador concede illegalmente e occultamente a una multinazionale petrolifera argentina il permesso di estrarre petrolio dal territorio Sarayaku. I Sarayaku se ne accorgono solo quando sentono il rumore di un elicottero militare che atterra lungo il fiume Bobonaza. Con l'elicottero arrivano operai e tecnici della compagnia petrolifera che invadono il territorio. Così comincia la pluri-decennale resistenza dei sarayaku che li porta a esperire inutilmente tutti i gradi di giudizio interni allo Stato e li conduce fino alla Corte interamericana dei diritti umani (Cidh). Nel 2012 l'alta Corte emanerà una condanna dello Stato dell'Ecuador, una sentenza storica che significherà molto per tutti i popoli indigeni del mondo. La violazione più significativa infatti, ha riguardato il diritto riconosciuto alle comunità indigene del mondo dalla Convenzione Oil n.169 del 1989, il cd. consentimiento previo *libre y informado* (consulta previa). A tale diritto corrisponde l'obbligo dello Stato di informare approfonditamente le comunità interessate da misure volte all'esplorazione e/o allo sfruttamento di risorse naturali del loro territorio, soprattutto riguardo agli effetti di tali misure sulla salute umana e sull'ambiente.

In occasione della sentenza Sarayaku, la Cidh stabilisce che la consulta previa è un principio di diritto internazionale, perciò applicabile anche negli Stati non firmatari della Convenzione Oil che la sancisce. Visto l'inadempimento di alcuni aspetti della sentenza del 2012 la comunità sarayaku nel 2019 ha inoltrato un ricorso alla Corte costituzionale che lo ha accolto nel 2020 e ha emanato sentenza nel 2023. Ancora una condanna per lo Stato, in particolare di disinterare 1.400 kg di esplosivo ancora seminati nel territorio e l'obbligo di emanare finalmente una legge seria sulla Cpli.

Una storia di resistenza con più battaglie vinte, ma constatiamo che non è sufficiente predisporre una legge per ottenere rispetto e giustizia. Dobbiamo riconoscere che il cambiamento indispensabile è culturale e che dovremmo ispirarci all'insegnamento sarayaku.

Il segreto della forza giudiziale dei sarayaku è infatti certamente dovuto ai giudici, agli avvocati e alla risonanza mediatica generata intorno al caso, ma la sua forza primaria risiede nella potente voce inaudibile e invisibile della selva, nel legame organico e sentimentale dei sarayaku con Kawsak Sacha, la Selva Vivente, il grande corpo-territorio che li ospita.

Questo scritto è un estratto generato da una ricerca di campo svolta nell'Amazzonia ecuadoriana a partire dal 2018 e che è raccontata approfonditamente e in dettaglio nel libro *La forza dell'invisibile*, in corso di pubblicazione a cura di Anthropos Aps.

NOTE

¹ Sul termine antropocene, si segnala il contributo di Maya Pellicciari, Sabrina Flamini, "Antropologia" e "Antropocene", in *Sistema Salute. La rivista italiana di educazione sanitaria e promozione della salute*, vol. 60, n.4 ottobre-dicembre 2016, pp. 36-49. Il termine è stato utilizzato -



prima della diffusione dovuta alla notorietà del premio Nobel Crutzen e di Stoermer, che lo divulgano nel 2000, dal geologo italiano Giovanni Stoppani a metà del '900 e poi dal geologo russo Alexei Pavlov. Non tutta la comunità scientifica concorda sul termine che richiama una responsabilità dell'intero genere umano per i danni provocati alla Terra. C'è chi suggerisce il termine *capitalocene*, come Andreas Malm, (cit. da Pellicciari, Flamini, p. 44) che "ripercorre in chiave critica la panoramica offerta da Paul J. Crutzen e colleghi, che individua nell'invenzione della macchina a vapore, nella rivoluzione industriale e nel conseguente aumento dell'utilizzodi combustibili fossili le coordinate temporali che sanciscono l'inizio dell'antropocene".

² Maya Pellicciari, Sabrina Flamini, *Antropologia. Le autrici osservano* come al congresso annuale dell'American Anthropological Association (Aaa) nessuna relazione o titolo contenesse il termine antropocene prima del 2013, edizione che tra gli altri vede partecipare Bruno Latour, Philippe Descola e Eduardo Viveiros De Castro, mentre l'anno dopo ce n'erano 64.

³ Numerose le voci critiche, qui solo alcune: P. Descola, *Oltre natura e cultura*, Seid Editori, Firenze 2014; Mara Benadusi, Alessandro Lutri, Circe Sturm, "Composing a common world? Reflections around the ontological turn", in *Anthropology, Anuac*, 5 (2), 2017, pp. 79-98.

⁴ Eric Chivian, Aaron Bernstein, 2008, *Sustaining life. How human health depends on biodiversity*, Oxford; Linda Whiteford, "Emerging diseases of the 21st century", in Ann Mc Elroy e Patricia K. Townsed, (a cura di), *Medical Anthropology in ecological perspective*, Westview Press, 2015.

⁵ Roberta Raffaetà, "Salute e ambiente in tempi di Antropocene", in *Antropologia*, Vol. 4, Numero 1 n.s., aprile 2017, p. 124.

⁶ Federica Falancia, "La Natura come soggetto di diritto: una riflessione a partire dal riconoscimento dei diritti della natura nella Costituzione ecuadoriana del 2008", in Francesco Bilotta, Fabio Raimondi (a cura di), *Il soggetto di diritto. Storia ed evoluzione di un concetto nel diritto privato*, Jovene, Napoli, 2020.

⁷ Cfr. Piergiacomo Pagano, "Antropocentrismo, biocentrismo, ecocentrismo: una panoramica di filosofia ambientale", in *Energia, ambiente e innovazione*, 2/04, pp. 72-86.

LEGISLAZIONE NEWS

A cura del Servizio Affari istituzionali e avvocatura • Arpae Emilia-Romagna

IN PUBBLICAZIONE SULLA G.U. IL DECRETO ISPETTORI SNPA

Decreto del presidente della Repubblica 04/09/2024 "Regolamento sul personale ispettivo del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente - Snpa"

A seguito dell'avvenuta firma da parte del capo dello Stato è attesa la pubblicazione in Gazzetta ufficiale del Dpr 04/09/2024 che andrà a disciplinare l'attività ispettiva degli operatori Snpa.

Si tratta di un regolamento governativo di attuazione e integrazione dell'art. 14 legge n. 132/2016 istitutiva del Sistema nazionale di protezione ambientale.

Quattro i temi principali trattati dal Dpr: 1) modalità di individuazione e competenze del personale ispettivo, 2) criteri generali per lo svolgimento delle attività ispettive, 3) modalità per la segnalazione degli illeciti ambientali, 4) codice etico del personale ispettivo.

Un punto centrale del nuovo decreto è quello che prevede che l'acquisizione della qualifica di ispettore avvenga tramite "interpelli", pubblicati da Ispra e dalle Agenzie, e rivolti al proprio personale interno. L'individuazione del personale ispettivo deve avvenire entro 90 giorni dall'entrata in vigore del Dpr.

Il Dpr prevede che la qualifica di ispettore sia articolata in settori e inoltre che *"gli ispettori ottengono la qualifica relativa al settore per il quale hanno seguito la formazione e il mandato delle attività ispettive è circoscritto al settore di appartenenza"*.

Si deve altresì osservare come il Dpr richiami più volte il principio di rotazione nello svolgimento dell'attività ispettiva Snpa. In particolare si afferma che *"i gruppi ispettivi sono costituiti garantendo che al medesimo sito ovvero impianto non venga destinato lo stesso personale per più di un triennio"*. La rotazione del personale costituisce infatti uno dei principali strumenti di prevenzione della corruzione introdotto dalla legge 190/2012, anche se la sua concreta applicazione nel Sistema (specie nelle Agenzie più piccole) non è semplice, perché si scontra con la limitatezza degli organici e la scarsa propensione di alcuni operatori a occuparsi di ambiti professionali diversi da quelli consolidati.

Il Dpr 04/09/2024 dedica anche un articolo alle modalità di segnalazione degli illeciti ambientali. In realtà non paiono disposizioni particolarmente innovative e in alcuni casi sono eccessivamente dettagliate (ad esempio si indugia molto sul contenuto formale della segnalazione). Sulle segnalazioni anonime si prevede un obbligo per Ispra e le Agenzie di *"avviare le attività di verifica ritenute necessarie sulla base dei fatti rappresentati"*. È questa una disposizione non del tutto chiara che potrebbe

ingenerare problematiche operative.

Il Dpr 04/09/2024 (perché così previsto dall'art. 14 della legge n. 132/2016) contiene anche il *Codice etico del personale ispettivo Snpa* (allegato 1).

Si deve infine notare che il Dpr 04/09/2024 non definisce in maniera esaustiva tutti gli argomenti dallo stesso affrontati. Infatti, per la disciplina di alcuni significativi profili, viene fatto un rinvio a regolamenti interni che dovrebbero essere adottati da Ispra e dalle Arpa entro 60 giorni dall'entrata in vigore del Dpr stesso. Molto opportunamente, pertanto, è prevista una disposizione transitoria, necessaria per non frenare la piena operatività delle Agenzie ambientali, in base alla quale nelle more dell'individuazione dei nuovi ispettori ambientali le attività ispettive si svolgono in conformità alle disposizioni vigenti alla data di entrata in vigore del Dpr stesso.

SEMPLIFICAZIONE DEI CONTROLLI. NOVITÀ DAL DLGS 103/2024

Dlgs n. 103 del 12 luglio 2024, pubblicato sulla Gu del 18 luglio 2024 recante "Semplificazione nei controlli amministrativi effettuati sulle attività economiche"

Il Dlgs 103/2024 non è riferito esclusivamente ai controlli ambientali, ma è certamente applicabile anche a questa tipologia di verifiche.

La norma in questione, attuativa di una legge delega del 2022, ha un contenuto eterogeneo, presenta a una prima lettura aspetti interpretativi che vanno approfonditi e per alcuni profili prevede atti o provvedimenti attuativi non ancora emanati.

A tal riguardo si segnala ad esempio l'art. 3 del decreto rubricato *"Sistema di identificazione e valutazione del livello di rischio basso"* tramite il quale viene (o meglio verrà) introdotto un sistema di identificazione e gestione del rischio, anche riferito alla protezione ambientale, cui gli operatori economici possono accedere su base volontaria, e a cui consegue un *"report certificativo"* di cd. "basso rischio". Il possesso di tale report dovrebbe generare un alleggerimento dei controlli programmati sulle attività economiche. Si segnala tuttavia che la norma in questione per avere piena operatività necessita dell'emanazione da parte dell'ente UNI di specifiche norme tecniche o prassi di riferimento che dovranno essere successivamente approvate con decreto del Ministero delle Imprese e del made in Italy. Invece tra le disposizioni immediatamente applicabili (e quindi dal 2 agosto 2024 data di entrata in vigore del Dlgs 103/2024) si segnala

l'art. 6 che prevede una nuova procedura estintiva basata su una diffida amministrativa che l'organo di controllo applica qualora accerti, per la prima volta nell'arco di un quinquennio, violazioni che comporterebbero una sanzione amministrativa pecuniaria non superiore nel massimo a 5.000 euro.

Si tratta di un meccanismo volto a ridurre, ove possibile, l'irrogazione di sanzioni per violazioni formali o di minore gravità, prevedendo la possibilità, al ricorrere dei presupposti, di rimuovere gli effetti lesivi della violazione in luogo del pagamento della sanzione pecuniaria. Come detto questa norma si applica solo per fattispecie punite con sanzioni amministrative non superiori nel massimo edittale a 5.000 euro, casistica che, a un primo sommario esame, non parrebbe particolarmente frequente nella normativa ambientale.

Da segnalare anche l'art. 4 del decreto che introduce un rafforzamento dell'utilizzo del fascicolo informatico d'impresa, già previsto dall'articolo 2, comma 2, lettera b), della legge 29 dicembre 1993, n. 580, che dovrebbe diventare uno strumento di supporto alla programmazione, al coordinamento, allo svolgimento e alla rendicontazione delle attività di controllo. Corollario del rafforzamento dell'utilizzo di tale fascicolo il divieto, in applicazione del principio comunitario cd. *once only*, di richiedere la produzione di documenti e informazioni già presenti nel fascicolo stesso o comunque già in possesso delle amministrazioni che effettuano i controlli.

Il successivo art. 5 al comma 3, riprendendo almeno in parte principi già presenti o desumibili nella normativa ambientale esistente, richiama invece la distinzione tra i controlli immediati (effettuati in caso di richieste dell'autorità giudiziaria, di segnalazioni circostanziate provenienti da soggetti pubblici o privati e comunque ogni qualvolta emergano situazioni di rischio) e i controlli programmati che devono essere pianificati dalle amministrazioni con intervalli temporali correlati all'effettiva gravità del rischio che l'attività ispezionata può produrre sulle componenti ambientali.

Il comma 8 dell'art. 5 prevede inoltre che, fatti salvi tutti i casi già richiamati nel comma 3 dello stesso articolo in cui si renda necessario eseguire controlli immediati, l'amministrazione fornisce in formato elettronico, almeno dieci giorni prima del previsto accesso presso i locali dell'attività economica, l'elenco della documentazione necessaria alla verifica ispettiva.

OSSERVATORIO ECOREATI

A cura di **Giuseppe Battarino** (magistrato) e **Silvia Massimi** (avvocata)

Con l'osservatorio sulla casistica applicativa della legge 22 maggio 2015 n. 68, *Ecoscienza* mette a disposizione dei lettori provvedimenti giudiziari sia di legittimità che di merito, con sintetici commenti orientati alle applicazioni concrete della legge. Per arricchire l'osservatorio giurisprudenziale chiediamo ai lettori (operatori del Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente e non solo) di **trasmettere alla redazione tutti i provvedimenti che ritengono significativi (dovutamente anonimizzati):** decreti e ordinanze, prescrizioni, sentenze ecc.

I contributi possono essere inviati a ecoscienza@arpae.it

L'INGIUSTO PROFITTO NEL TRAFFICO ILLECITO DI RIFIUTI

Cassazione Penale, Sezione III, sentenza n. 35118 del 29 maggio - 19 settembre 2024

La Cassazione ha esaminato una sentenza di assoluzione emessa dalla Corte d'appello di Roma che riformava la sentenza di condanna emessa dal Tribunale di Tivoli per il reato di attività finalizzate al traffico illecito di rifiuti (articolo 452-quaterdecies del codice penale).

Il reato era contestato a due imputati, entrambi coinvolti in qualità di soci, nonché legale rappresentante uno e direttore tecnico l'altro, di una società avente a oggetto "la realizzazione, manutenzione e gestione di impianti di trattamento rifiuti e gestione di discariche pubbliche private", che inoltre gestiva un impianto di stoccaggio e trattamento dei rifiuti (in base ad autorizzazione rilasciata dalla Regione Lazio ai sensi dell'articolo 208 Dlgs 152/2006). L'accusa era di avere, in concorso fra loro e anche attraverso trasportatori non identificati, gestito abusivamente oltre 3.821 tonnellate di rifiuti metallici (il cui valore è stato stimato non inferiore a 586.829 euro).

I rifiuti anzidetti venivano conferiti da soggetti non autorizzati – rimasti estranei al processo in questione – i quali raccoglievano e trasportavano in violazione dell'articolo 193, comma 4, Dlgs 152/2006 (eccedendo le quantità per i conferimenti occasionali di privati) e in difetto di autorizzazione di cui all'articolo 212, commi 5 e 8, Dlgs 152/2006, e infine li conferivano al centro di trattamento rifiuti della società gestita dagli imputati, i quali a loro volta li ricevevano in assenza di documentazione idonea a tracciarne la provenienza e li commercializzavano sotto forma di materiale derivante da attività di recupero di rifiuti autorizzata.

Il Tribunale di Tivoli aveva ritenuto integrati gli illeciti, sotto il profilo oggettivo e soggettivo, osservando che, per effetto delle condotte contestate, la gestione aziendale era divenuta meno costosa e aveva consentito di incrementare notevolmente il volume degli affari.

Mediante servizi di osservazione e controllo della polizia giudiziaria, finalizzati a verificare le modalità di conferimento di rottami ferrosi nell'impianto, erano stati accertati numerosi accessi da parte di veicoli colmi di rottami metallici che ne uscivano poco dopo privi di carico; da un accesso ispettivo effettuato nell'impianto era emerso che risultavano stoccate 1.836 tonnellate di rifiuti a fronte di un limite massimo di 1.500 indicato nell'autorizzazione, nonché che a fronte dei conferimenti (quasi tutti effettuati da soggetti non iscritti all'Albo nazionale dei gestori ambientali) venivano emesse autofatture dagli imputati dal cui esame era stato possibile quantificare i rifiuti metallici ricevuti in assenza di ulteriore documentazione (formulari) e senza annotazione nel registro aziendale di carico e scarico dei rifiuti.

Le autofatture in questione erano 2.595, relative a 153 soggetti conferitori, di cui solo quattro iscritti all'Albo nazionale dei gestori ambientali, per un quantitativo complessivo di rifiuti metallici conferiti pari, come detto, a oltre 3.821 tonnellate; nel modello unico di dichiarazione ambientale e nel registro di carico e scarico erano stati annotati conferimenti di rifiuti metallici da parte di "privati" per svariate tonnellate identificati da un unico Fir e da codice Cer 1704 riferibile a rifiuti di metallo provenienti da operazioni di costruzione e demolizione.

Era stato disposto il sequestro preventivo dell'impianto nel corso delle indagini: intervenuta la revoca, altri servizi di osservazione avevano dimostrato che l'impianto aveva continuato a ricevere numerosi conferimenti di rifiuti metallici da parte di soggetti non iscritti all'Albo (192 in circa un mese di osservazioni) e in totale assenza di documentazione. L'impianto era stato nuovamente sequestrato.

La Corte d'appello aveva assolto gli imputati ritenendo insussistente l'elemento psicologico del reato evidenziando, da un lato che l'impianto fosse autorizzato anche al trattamento di rifiuti diversi da quelli metallici (in particolare, i rifiuti urbani contraddistinti dal codice Eer 20), dall'altro che la società aveva provveduto a contabilizzare i rifiuti metallici nel Mud e nel registro di carico e scarico da parte dei "privati", emettendo anche autofatture recanti il prezzo di acquisto e il quantitativo di metallo conferito (documenti sulla cui scorta è stato possibile quantificare l'entità dei rifiuti); desumendo che i rifiuti fossero in tal modo documentati e verificabili nella loro provenienza, seppur venissero indistintamente classificati con il medesimo codice. La Corte d'appello aveva anche ritenuto mancante la prova della non congruità degli importi corrisposti dalla società ai conferitori non autorizzati, ipotizzando il ragionevole dubbio che attraverso l'attività contestata agli imputati la gestione aziendale fosse diventata effettivamente meno costosa o avesse determinato un qualsiasi vantaggio.

La Cassazione ha annullato la sentenza di secondo grado, ritenendo "non ragionevole" il dubbio sollevato in sede di appello, ovvero tale da confrontarsi in modo adeguato con le ragioni della condanna, essendosi limitato il giudice di secondo grado a una lettura alternativa delle medesime prove.

In particolare, aver escluso l'esistenza del profitto (e del risparmio di spesa) sul rilievo che la società degli imputati avesse emesso comunque le autofatture, e dare per scontato che tutti i rifiuti conferiti fossero in tal modo documentati (e verificabili nella loro provenienza, posto che essi venivano indistintamente classificati con il medesimo codice), non è stato ritenuto sufficiente a ribaltare la condanna in primo grado. Inoltre, aver dimenticato che dopo il primo dissequestro la società non avesse più emesso autofatture a fronte dei pur numerosi conferimenti effettuati, ha lasciato ulteriore spazio alla conferma della condanna, mancando la prova della incongruenza dei prezzi praticati dall'impianto ai conferitori non autorizzati.

Secondo la Cassazione l'accettazione di rifiuti per quantità così ingenti, da parte di chi non è autorizzato a conferirli, vizia la corretta dinamica del rapporto contrattuale, ponendo la società acquirente in una posizione di forza che lo altera; mentre l'unilaterale predisposizione di fatture di acquisto non equivale a genuinità del dato documentalmente ricavabile. Quanto al profitto (e al dolo del profitto), per l'integrazione del delitto di attività organizzate per il traffico illecito di rifiuti, il fine di conseguire un ingiusto profitto non deve necessariamente assumere natura di ricavo patrimoniale, potendo consistere anche solo nella riduzione dei costi aziendali o anche in vantaggi di altra natura.

Si tratta di un orientamento oramai cristallizzato: l'applicazione dell'articolo 452-quaterdecies del Codice penale prosegue davanti alle corti, e richiede, in sede di indagini, l'acquisizione di dati patrimoniali e contabili che diano conto in maniera ampia dell'attività dei soggetti indagati.

MEDIATECA

Libri, video, podcast, rapporti e pubblicazioni di attualità • A cura della redazione di Ecoscienza



EUROPE'S STATE OF WATER 2024

The need for improved water resilience

Agenzia europea per l'ambiente (Eea),
Eea Report 7/2024
110 pp, www.eea.europa.eu

Il rapporto è la più ampia valutazione dello stato di salute dell'acqua in Europa, basata sull'analisi di oltre 120.000 corpi idrici superficiali e 3,8 milioni di km² di aree di acque sotterranee. Ne emerge un quadro che evidenzia come l'Europa non sia sulla buona

strada per raggiungere i propri obiettivi di migliorare la salute delle acque come previsto dalla normativa dell'Unione. Serve quindi una migliore gestione per migliorare la resilienza, alleggerire le pressioni e assicurare un'acqua di buona qualità e in quantità adeguate a cittadini e imprese. Gli impatti maggiori vengono dall'agricoltura (che è anche il settore che ne consuma di più). Nonostante i miglioramenti, gli ecosistemi acquatici sono ancora molto colpiti da sostanze chimiche inquinanti, nutrienti e pesticidi. Anche la degradazione degli habitat è diffusa. Un'altra sfida è rappresentata dal cambiamento climatico, che contribuisce ad accentuare i problemi.

I dati sulle acque sono riportati sulla piattaforma europea Wise.

RENDICONTAZIONE DI SOSTENIBILITÀ E VALUTAZIONE DELLE PERFORMANCE ESG

Un'indagine sull'applicazione di standard e normative da parte delle aziende

A cura di Luca Poma e Giorgia Grandoni, Organismo Italiano di Business Reporting (Oibr), 2024, 79 pp, <https://creatoridifuturo.it>



Il presente lavoro di indagine – che riprende una ricerca originariamente commissionata dal Parlamento europeo – ha lo scopo di mantenere vivo il dibattito in merito alle attuali prassi di rendicontazione di sostenibilità, individuando uno standard condiviso per la validazione delle

performance aziendali in tema Esg nonché per implementare la qualità informativa di questa forma di rendicontazione.

L'offerta costante e continua di informazioni autorevoli e affidabili, infatti, diventa una leva strategica per costruire intorno all'organizzazione un ottimale clima reputazionale, orientando in maniera positiva e trasparente i comportamenti di acquisto dei cittadini. La ricerca può essere scaricata al link <https://bit.ly/3YIfq0A>

Luca Poma è docente di Scienze della comunicazione e Reputation management all'Università Lumsa e all'Università della Repubblica di San Marino. Giorgia Grandoni è ricercatrice presso il Centro studi della start-up innovativa ex L 221/12 Reputation management. (Stefano Martello)



LINEE GUIDA SNPA PER L'APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA DI ESTINZIONE DELLE CONTRAVVENZIONI AMBIENTALI, EX PARTE VI-BIS D.LGS. 152/2006 - AGGIORNAMENTO 2024

Linee guida Snpa, n. 52/2024

A cura di Snpa
104 pp., www.snpambiente.it

Il documento costituisce un aggiornamento delle precedenti Linee guida (aggiornamento 2021), in considerazione delle novità normative intervenute nel biennio

2022-2023 e dell'evoluzione degli indirizzi e orientamenti applicativi emersi a livello nazionale e a seguito dell'esperienza maturata dalle componenti del Snpa. Il testo è aggiornato alle disposizioni e indirizzi emanati fino a febbraio 2024, raccolti su segnalazione delle componenti del Snpa e consultabili sulla [Banca dati ecoreati di Arpat](#). Tra queste anche le nuove indicazioni normative riguardanti la destinazione dei proventi delle sanzioni e le disposizioni relative alle modalità di riscossione di tali proventi da parte dello Stato.

In questa revisione è stata completamente riformulata la parte contenente le prescrizioni tipo, che ora è più dettagliata, tratta una casistica più ampia e contiene specifiche indicazioni per la valutazione dell'assenza di danno ambientale o pericolo concreto e attuale di danno ambientale, che è prerequisito necessario per l'applicazione della procedura estintiva trattata.



LINEE GUIDA PER LA VERIFICA DEGLI EVENTUALI IMPATTI SULL'AMBIENTE MARINO DEI TERMINALI DI RIGASSIFICAZIONE E GASDOTTI DI COLLEGAMENTO

Linee guida Snpa, n. 53/2024

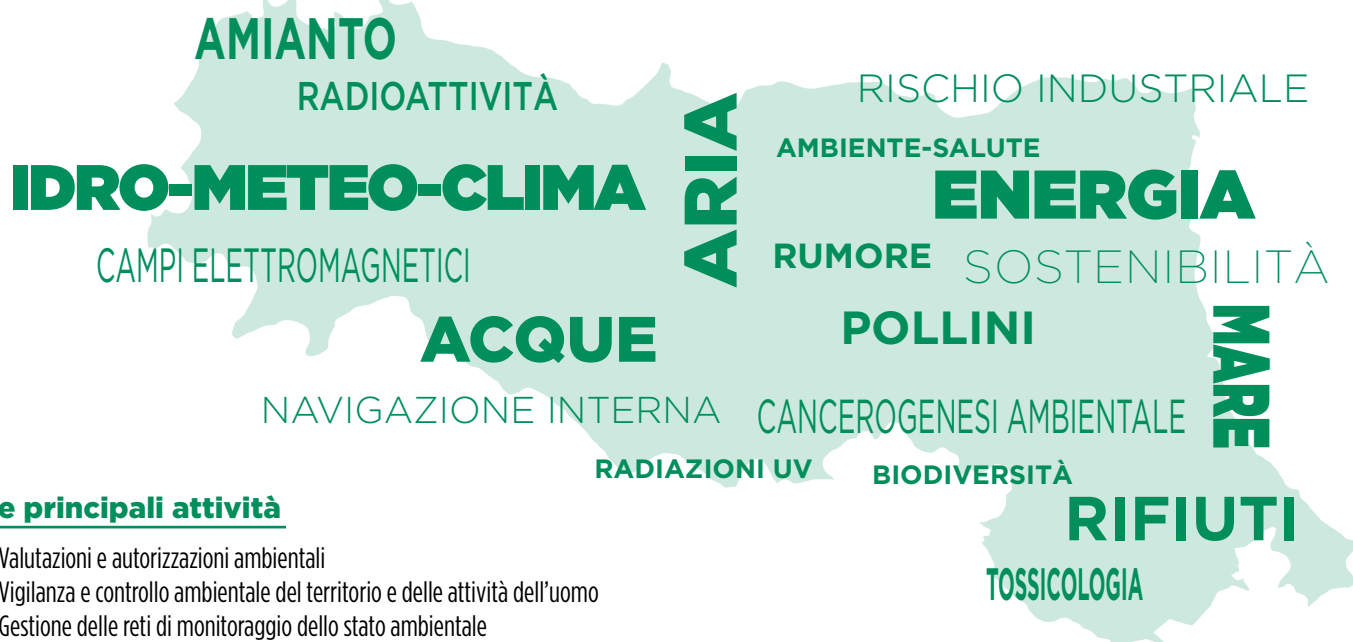
A cura di Snpa
104 pp., www.snpambiente.it

Il documento riporta i principi ai quali Ispra e le Agenzie del territorio si riferiscono nella verifica dei potenziali impatti connessi alla realizzazione ed esercizio di

terminali di rigassificazione di gas naturale liquefatto (Gnl) e dei gasdotti di collegamento, che dovrebbero essere tenuti in considerazione nella progettazione del monitoraggio ambientale marino.

Nel documento, sono esplicitati i piani di campionamento per le differenti componenti ambientali marine, i parametri da indagare, le procedure analitiche e tutti gli elementi contenuti in un piano di monitoraggio, che possano restituire le informazioni e i dati necessari per permettere una verifica degli eventuali impatti sull'ambiente marino. Esse rappresentano uno strumento di supporto al lavoro che Ispra e le Agenzie sono chiamate dall'autorità competente usualmente a svolgere e sono il risultato di una proficua condivisione in ambito Snpa di principi, competenze ed esperienze che consentiranno di affrontare in modo più efficace, efficiente e omogeneo sul territorio le future attività svolte da Ispra e dalle Agenzie in tale ambito.

Arpae Emilia-Romagna è l'Agenzia della Regione che si occupa di ambiente ed energia sotto diversi aspetti. Obiettivo dell'Agenzia è favorire la sostenibilità delle attività umane che influiscono sull'ambiente, sulla salute, sulla sicurezza del territorio, sia attraverso i controlli, le valutazioni e gli atti autorizzativi previsti dalle norme, sia attraverso progetti, attività di prevenzione, comunicazione ambientale ed educazione alla sostenibilità. Arpae è impegnata anche nello sviluppo di sistemi e modelli di previsione per migliorare la qualità dei sistemi ambientali, affrontare il cambiamento climatico e le nuove forme di inquinamento e di degrado degli ecosistemi. L'Agenzia opera attraverso un'organizzazione di servizi a rete, articolata sul territorio. Quattro Aree prevenzione ambientale, organizzate in distretti, garantiscono l'attività di vigilanza e di controllo capillare; quattro Aree autorizzazioni e concessioni presidiano i processi di autorizzazione ambientale e di concessione per l'uso delle risorse idriche; una rete di Centri tematici, distribuita sul territorio, svolge attività operative e cura progetti e ricerche specialistici; il Laboratorio multisito garantisce le analisi sulle diverse matrici ambientali. Completano la rete Arpae due strutture dedicate rispettivamente all'analisi del mare e alla meteorologia e al clima, le cui attività operative e di ricerca sono strettamente correlate a quelle degli organismi territoriali e tematici. Il sito web www.arpae.it, quotidianamente aggiornato e arricchito, è il principale strumento di diffusione delle informazioni, dei dati e delle conoscenze ambientali.



Le principali attività

- › Valutazioni e autorizzazioni ambientali
- › Vigilanza e controllo ambientale del territorio e delle attività dell'uomo
- › Gestione delle reti di monitoraggio dello stato ambientale
- › Studio, ricerca e controllo in campo ambientale
- › Emissione di pareri tecnici ambientali
- › Concessioni per l'uso delle risorse idriche e demaniali
- › Previsioni e studi idrologici, meteorologici e climatici
- › Gestione delle emergenze ambientali
- › Centro funzionale e di competenza della Protezione civile
- › Campionamento e attività analitica di laboratorio
- › Diffusione di informazioni ambientali
- › Diffusione dei sistemi di gestione ambientale

Un robot non può recare danno a un essere umano né può permettere che, a causa del suo mancato intervento, un essere umano riceva danno.

Prima legge della robotica, Isaac Asimov