

MARCO NAPOLI¹, SIMONE ORLANDINI¹

Applicazione dell'intelligenza artificiale per rivelare l'evoluzione dell'uso del suolo e i cambiamenti socio-economici nelle aree rurali attraverso l'analisi fotografica

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI),
Università degli Studi di Firenze

Esaminare l'evoluzione dell'uso del suolo e comprenderne i principali fattori di sviluppo e cambiamento è cruciale per affrontare le sfide ambientali contemporanee ai fini di una pianificazione territoriale sostenibile (Haase et al., 2007; Gebhardt et al., 2014; Wessels et al., 2003). Considerata come un passo fondamentale per il monitoraggio a lungo termine del paesaggio (Neubert and Walz, 2002), la conoscenza dello sviluppo storico dell'uso del suolo fornisce approfondimenti sulla natura dinamica e aperta del territorio e sulle interazioni tra fattori biofisici, sociali ed economici che lo plasmano (Statuto et al., 2014; Pelorosso et al., 2009). Le caratteristiche attuali di un paesaggio rurale possono essere meglio comprese se si dispone di adeguate informazioni relative al suo passato (Yang et al., 2014). In tal senso, si può fare ricorso a tutte le informazioni di archivio che sono ampiamente disponibili nel nostro Paese – informazioni archiviate in tabelle, registri, fotografie, mappe, fonti spesso disperse e non omogenee che potrebbero consentire un quadro conoscitivo dettagliato e puntuale di ciò che è successo in passato – e utilizzare questa informazione attraverso modelli previsionali per pianificare lo sviluppo futuro del territorio in un'ottica di sostenibilità e resilienza (Yang et al., 2014). Spesso le informazioni possono derivare da diverse fonti di archivio e la difficoltà risiede spesso nella non omogeneità del sistema di archiviazione e nella sua vastità che rende difficoltoso l'estrazione delle informazioni realmente utili. L'IA si rivela essenziale quando si vuole studiare archivi estremamente grandi (Spina, 2023) e caratterizzati da interazioni complesse tra le informazioni archiviate. L'intelligenza artificiale (IA), con opportuna programmazione e addestramento, può contribuire ad accelerare e agevolare l'interpretazione delle fonti ed estrarre i dati necessari a decifrare l'evoluzione dell'uso del suolo e il suo impatto sulla risposta idrologica e sulla dinamica socio-economica (Batti,

2018; Yigitcanlar et al., 2021). La disponibilità dell'IA può consentire l'analisi delle caratteristiche del paesaggio in relazione a diversi aspetti, ad esempio, l'evoluzione e la reciproca interrelazione tra diversi ecosistemi, l'impatto e la sostenibilità delle attività umane, le caratteristiche visive di un paesaggio, la sua resilienza ai mutamenti del clima, ecc. L'analisi delle informazioni geografiche, derivate da carte storiche, foto e informazioni di archivio può, quindi, rivelarsi uno strumento molto potente, per un processo decisionale e una gestione più consapevole del territorio. Gli algoritmi di IA possono supportare l'analisi temporale delle fonti di archivio, offrendo una prospettiva dinamica sui cambiamenti intercorsi nel tempo su un dato territorio. I cambiamenti nell'uso del suolo e nella sua gestione hanno portato alla trasformazione di diversi paesaggi culturali nelle aree rurali, con conseguenze rilevanti per le popolazioni locali, la funzionalità del paesaggio e il mantenimento dei servizi ecosistemici (Bunce et al., 2001). L'analisi delle modifiche del suolo rurale, così come del contesto ambientale e paesaggistico più ampio in cui avvengono, è importante per comprendere le profonde trasformazioni legate all'intervento umano e agli eventi naturali. Frequentemente, i principali risultati emersi dall'interrogazione della cartografia evidenziano una perdita della complessità del paesaggio agrario. In sintesi i cambiamenti paesaggistici evidenziano quelle che sono state le trasformazioni nel modello di agricoltura: diminuzione della presenza dell'agricoltore sul territorio, semplificazione del sistema colturale e passaggio dell'agricoltura da intensiva a estensiva, rinaturalizzazione, perdita della complessità del paesaggio e diminuzione della sua capacità di attrattiva (Schmitz et al., 2003). L'informazione ottenuta attraverso l'IA potrebbe essere integrata nei modelli idrologici per simulare l'impatto dei cambiamenti nell'uso del suolo su processi critici come scorrimento superficiale, ricarica delle acque sotterranee ed erosione. Inoltre, combinare i dati delle immagini con indicatori socio-economici potrebbe consentire di svelare le intricate relazioni tra i cambiamenti dell'uso del suolo e lo sviluppo economico del territorio. Potrebbero essere sviluppati modelli predittivi per prevedere futuri cambiamenti nell'uso del suolo, risposte idrologiche e tendenze socio-economiche, fornendo agli stakeholder e ai decisori politici informazioni utili ai fini pianificatori. Inoltre, potrebbero essere utilizzati strumenti di visualizzazione alimentati da IA per presentare i risultati in modo accessibile, garantendo una comunicazione efficace di informazioni complesse a diverse parti interessate. Infine, il recupero delle informazioni di archivio relative all'evoluzione del territorio possono contribuire a fornire o rafforzare gli elementi di identità locale, di una comunità alla ricerca di valori e simboli da valorizzare. Di seguito, vengono presentati casi studio illustrativi per evidenziare l'applicazione pratica di questi concetti.

ANALISI DELL'EVOLUZIONE DEL PAESAGGIO AGRARIO DELLA PIANA FIORENTINA-PRATESE ED EFFETTO DEL PROGRESSIVO ABBANDONO DELLE SISTEMAZIONI IDRAULICHE

A partire dagli anni '50 dello scorso secolo, nel bacino del Mediterraneo, tre fenomeni hanno influenzato e ridisegnato la configurazione delle aree rurali: la meccanizzazione agricola, l'accelerato declino della vita rurale tradizionale e un aumento della mobilità individuale (Domon et al., 2010). In numerosi Paesi sviluppati, si osserva un preciso schema di trasformazione della copertura del suolo, con le pianure che vengono sempre più destinate all'urbanizzazione, all'espansione delle infrastrutture e all'insediamento di industrie e manifatture, a scapito delle superfici agricole (Marraccini et al., 2015; Russo et al., 2014). Una evoluzione analoga si è osservata nella Piana Fiorentina-Pratese come riportato nello studio riportato in Napoli et al. (2022). In quest'analisi si è studiata la porzione della rete idrica delle acque basse della Piana di Sesto Fiorentino. L'analisi è stata svolta acquisendo informazioni di archivio relative a 3 diversi anni, 1954, 1988 e 2010 dei quali sono disponibili anche le orto-foto aree dell'area di studio (fig. 1). Negli anni '50 l'agricoltura era la principale forma di sostentamento. Questo lo si può ben osservare dalla foto aerea del 1954. Il territorio risulta molto frammentato. I terreni agricoli sono molti ma di piccole dimensioni, in quanto la meccanizzazione dell'epoca non consentiva una gestione su larghe superfici. Per la quasi totalità della superficie, i terreni erano coltivati in modo avvicendato con cereali, legumi, tuberi, a piante tessili, foraggere e industriali. È stato messo a punto un algoritmo per analizzare le orto-foto e individuare gli elementi lineari corrispondenti a canali, capifossi e affossature di campo. Nel 1954, il reticolo idrico principale era sostanzialmente costituito dall'attuale Gora di Sesto che attraversava centralmente questa superficie. Ed era lì che confluivano la maggior parte dei capifossi di quel periodo. Nel 1954 i campi avevano una larghezza media di circa 12 m (variando tra un minimo di 9 m e un massimo di 17 m) e una lunghezza media di circa 105 m (variando tra un minimo di 45 m e un massimo di 206 m) e il volume di affossatura era di circa $210 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. In generale, le aree agricole della Piana Fiorentina-Pratese, nel corso degli anni presi in considerazione in questa analisi, hanno risentito dei cambiamenti avvenuti sul territorio. Si consideri che le aree edificate hanno occupato gran parte dell'area che era a prevalenza agricola causando la scomparsa del reticolo secondario e rendendo l'area impermeabile. Quindi si può asserire che sia il reticolo principale che quello secondario abbiano visto aumentare i loro volumi da invasare a causa della progressiva edificazione avvenuta nella Piana Fiorentina-Pratese. Considerando inoltre che il reticolo secondario dei campi è parzialmente scomparso,



Fig. 1 Rete idrica delle acque basse della Piana di Sesto Fiorentino, Gora di Sesto. Asse principale della gora di sesto (giallo) e capifosso (blu) presenti nel 1954, nel 1988 e 2013

queste aree allo stato attuale sono soggette a un ricarico sempre maggiore. Nel 1988, la meccanizzazione era più avanzata e ciò è ben visibile dal fatto che gli appezzamenti agricoli hanno aumentato le loro dimensioni e si notano già i primi cambiamenti per quanto riguarda la Gora di Sesto che, se nel 1954 aveva un andamento frastagliato, nel 1988 risulta avere un andamento più rettilineo dovuto alla deviazione di questo canale ad opera dell'uomo. In particolare si è osservato un aumento della larghezza media dei campi del 42%, arrivando a circa 17 m (variando tra un minimo di 9 m e un massimo di 32 m) mentre la lunghezza media ha subito incrementi del 10%, risultando di circa 116 m (variando tra un minimo di 45 m e un massimo di 266 m). Volume affossatura stimato di circa $133 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Nel 1988, la lunghezza e la larghezza dei campi sono mediamente aumentati rispetto al 1954 del 42% e del 10%, portando a una riduzione del volume di affossatura del 37%. Nel 2010 il reticolo secondario risultava ulteriormente ridotto. In particolare si è osservato un aumento della larghezza arrivando a circa 23 m (variando tra un minimo di 12 m e un massimo di 42 m) e della lunghezza media risultando di circa 128 m (variando tra un minimo di 62 m e un massimo di 266 m). Nel 2010, la lunghezza e la larghezza dei campi sono mediamente aumentati rispetto al 1954 del 92% e del 22%, portando a una riduzione del volume di affossatura del 45%.

Riducendo il volume di affossatura, si può diminuire direttamente la capacità del terreno di assorbire, trattenere e drenare l'acqua in modo adeguato. Questo perché il volume di affossatura gioca un ruolo fondamentale nel determinare la quantità di acqua che può essere trattenuta nel terreno e la sua disponibilità per le piante. Di conseguenza, una riduzione del volume di

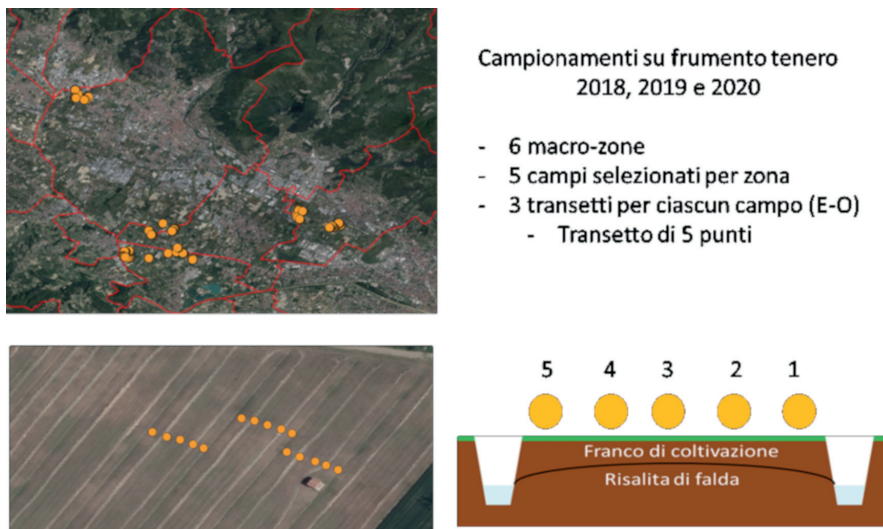


Fig. 2 Ubicazione degli appezzamenti di terreno in cui sono stati svolti i campionamenti e schema di campionamento

affossatura può compromettere l'efficienza del drenaggio, causando potenzialmente problemi come ridotti tempi di corrivazione, che possono sovraccaricare il reticolo idraulico superiore, e portare a ristagni idrici nel suolo.

Inoltre, durante le annate particolarmente piovose, i problemi legati alla regimazione idrica diventano evidenti anche dal punto di vista agricolo, con ristagni profondi che causano condizioni di asfissia radicale e ristagni superficiali che favoriscono la proliferazione di malattie. Le piante di cereali, in particolare, manifestano una forte apprensione, soprattutto durante i periodi freddi, nei confronti del ristagno d'acqua nel terreno. Tale condizione può compromettere lo sviluppo delle piante a causa dell'asfissia radicale e aumenta il rischio di attacchi da parte di fusariosi, septoriosi, oidio e ruggini.

Negli anni 2018, 2019 e 2020, è stata condotto un campionamento volto a determinare le perdite di produzione di frumento tenero dovute a problemi nella regimazione idraulica del suolo. Sull'intera Piana Fiorentina-Pratese, sono state individuate 6 aree campione, di cui 3 con interdistanza tra le affossature ampia e quindi con drenaggio idrico insufficiente e 3 con una buona gestione delle affossature. In ciascuna area, sono stati selezionati 5 appezzamenti coltivati a frumento tenero, e in ciascun appezzamento sono stati raccolti campioni lungo 3 transetti (5 campioni a transetto) (fig. 2).

Complessivamente, sono stati raccolti e analizzati 450 campioni per ogni anno considerato. L'analisi ha rivelato che nelle zone con un efficiente drenaggio

idraulico, la perdita di superficie coltivabile media data dai fossi (tare) era di circa il 6.5% con una resa in granella media di circa 5.4 t ha⁻¹ (superficie al netto della tara). Nelle aree con cattivo drenaggio, la perdita media di superficie coltivabile è stata del 3.5% con una resa in granella significativamente inferiore rispetto alle superfici ben drenate con una produzione di granella media di circa 4.7 t ha⁻¹ (superficie al netto della tara). Questo dimostra l'importanza di una corretta gestione della regimazione idraulica per migliorare la produttività e le rese.

ANALISI DELL'EVOLUZIONE DEL PAESAGGIO AGRARIO DELLA VALLE DEL TORRENTE ELSA: L'EFFETTO DEL PROGRESSIVO ABBANDONO DELLE SISTEMAZIONI IDRAULICHE E DEL CAMBIAMENTO DELL'USO DEL SUOLO SULLE PORTATE A SCALA DI BACINO

L'IA può essere addestrata per riconoscere gli usi del suolo a partire dall'analisi delle orto-foto aeree ed individuare gli elementi tipici delle sistemazioni idraulico agrarie. Uno studio in tal senso è stato condotto sulle orto-foto aere degli anni 1954, 1978, 1988, 1996 e 2007, al fine di valutare l'impatto della riduzione delle affossature e del cambiamento nell'uso del suolo sulla dinamica dei deflussi nel bacino del torrente Elsa, a monte di Castelfiorentino (Napoli et al., 2017) (fig. 3).

Secondo lo studio, tra il 1954 e il 2007, le superfici agricole eterogenee, caratterizzate da campi più piccoli e una maggiore affossatura, si sono ridotte di circa il 64% (tab. 1). In contrasto, lo studio ha evidenziato un aumento dei seminativi intensivi, degli oliveti e dei vigneti specializzati, e una limitata espansione dell'area forestale. Nel medesimo intervallo temporale, l'analisi delle orto-foto aeree e delle fonti di archivio, ha portato a stimare una significativa contrazione dell'intensità sistematoria, sia in termini di lunghezza (-39%) che di volume delle affossature (-63%).

ANNO	FORESTE E AREE SEMINaturali	AREE AGRICOLE ETERogenee	SEMINATIVI INTENSIVI	OLIVETI SPECIALIZZATI	VIGNETI SPECIALIZZATI	SUPERFICI ARTIFICIALI
1954	41.7%	49.9%	7.2%	0.2%	0.7%	0.3%
1978	42.0%	25.0%	28.1%	0.5%	3.3%	1.1%
1988	42.4%	22.7%	24.9%	1.8%	6.6%	1.6%
1996	43.3%	20.9%	22.6%	2.2%	8.6%	2.4%
2007	43.5%	18.2%	23.4%	2.8%	9.6%	2.5%

Tab. 1 *Distribuzione dell'uso del suolo nel bacino del torrente Elsa negli anni presi in considerazione per lo studio*

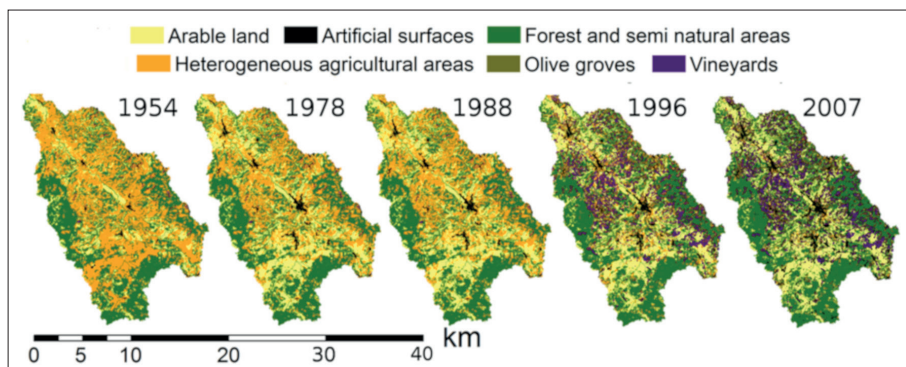


Fig. 3 Mappe di uso del suolo (risoluzione di 200 m) per gli anni 1954, 1978, 1988, 1996 e 2007 ottenute dall'analisi delle orto-foto aeree. Immagine da Napoli et al. (2017)

I cambiamenti nell'uso del suolo, dalla conversione di terreni agricoli tradizionali a terreni agricoli meccanizzati e aree urbane, si allineano alle tendenze globali (Hu et al., 2004; Tripathi et al., 2005). Utilizzando i dati meteorologici relativi agli anni oggetto di studio, l'uso del suolo e il reticolo idraulico ottenuto attraverso l'analisi delle orto-foto, gli autori hanno modellizzato le portate del torrente Elsa attraverso il modello Soil and Water Assessment Tool (ArcSWAT) e li hanno confrontati con i valori delle portate misurate sul torrente Elsa nello stesso periodo. Dal 1954 al 2007, il flusso di base medio è diminuito di circa $10,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. La variazione del flusso di base non è significativamente imputabile alla variazione delle piogge e delle temperature misurate nello stesso intervallo temporale. Questa diminuzione può essere attribuita a diversi fattori, tra cui la riduzione del ricaricamento delle acque sotterranee, causata principalmente dai cambiamenti nell'uso del suolo e dalla diminuzione delle affossature (Rose e Peters, 2001; Tripathi et al., 2005; Zhou et al., 2013). Inoltre, va menzionato l'aumento costante dei prelievi da falda per scopi agricoli, industriali e civili, registrato dal 1954 e in continua crescita in parallelo all'aumento della popolazione (Jinno et al., 2009). L'impermeabilizzazione del suolo porta a un aumento dei volumi di deflusso e dei picchi di flusso. Secondo gli autori l'uso del suolo influisce principalmente sui picchi di flusso e sul flusso totale piuttosto che non sul flusso di base. La media annuale del flusso di picco è aumentata dell'81,8% tra il 1954 e il 2007, con variazioni tra i diversi anni climatici. In particolare, gli eventi estremi hanno registrato aumenti ancora maggiori, con un aumento medio del 131,1% nel picco di flusso massimo. L'aumento di superfici urbanizzate, vigneti e oliveti a rittochino, nonché la generale riduzione dell'intensità sistematoria nei terreni coltivabili, contribuiscono significativamente all'aumento del picco di flus-

so. Le percentuali di contributo alla generazione di deflusso per ciascun uso del suolo indicano che l'urbanizzazione (2,2%), i vigneti (8,9%), gli oliveti (2,6%) e i terreni coltivabili (16,2%) sono i principali driver dei flussi di picco nel bacino del torrente Elsa. Gli autori hanno dimostrato che la configurazione territoriale del 1954 era efficace nel gestire i deflussi allungando i tempi di corrivazione e contribuendo così a minimizzare le portate di picco del torrente Elsa. L'analisi ha evidenziato che la rete di affossature più estesa, presente nel 1954, avrebbe potuto mitigare gli impatti delle "bombe d'acqua" registrate negli ultimi anni di indagine. Alcuni studi (Du et al., 2012; Jinno et al., 2009) evidenziano l'impatto delle aree impermeabili sulle inondazioni e sul cambiamento del flusso di acque superficiali. Tuttavia, nel contesto di questa ricerca, gli autori enfatizzano che il principale impatto sulla generazione delle portate di picco è attribuibile alla gestione del territorio del bacino, concentrandosi specificamente sull'uso del suolo e sull'intensità sistematoria. Questa analisi aiuta a comprendere come le variazioni nell'uso del suolo influenzino la generazione di deflusso, offrendo approfondimenti sulle diverse contribuzioni all'interno di diverse classi di copertura del suolo e l'intensità delle sistemazioni idraulico agrarie adottate.

RECUPERARE LA STORIA DELL'EVOLUZIONE DEL TERRITORIO. LA PERCEZIONE DEL PAESAGGIO RURALE

La domanda a cui si deve rispondere è: qual è la percezione del territorio? Il recupero delle informazioni d'archivio sull'evoluzione del territorio può contribuire a fornire o rafforzare gli elementi di identità locale di una comunità che cerca valori e simboli da valorizzare.

Un caso emblematico è rappresentato dai terrazzamenti e dai ciglionamenti. Per anni, elementi cruciali del territorio agricolo, come le sistemazioni idraulico-agrarie, sono stati considerati nostalgici retaggi del passato, rappresentando un elemento paesaggistico che in alcuni casi ostacolava un progresso meccanico e una specializzazione agricola inarrestabili. Affossature, terrazzamenti e ciglionamenti venivano demoliti per fare spazio a campi più ampi e facilmente accessibili con mezzi meccanici. In alcuni casi, queste imponenti opere, costruite con fatica dai contadini e mezzadri nel corso degli anni, sono state oggetto di disprezzo come segno di un passato mezzadrile da superare, dimenticare o rimuovere. Tuttavia, le sistemazioni idraulico-agrarie rappresentano un segno emblematico della realtà del territorio e nel corso dei secoli hanno contribuito a plasmarlo. La loro presenza, sebbene inizialmente fastidiosa per la razionalizzazione delle lavorazioni, è diventata una risorsa

per l'agricoltura, un elemento di paesaggio apprezzato da turisti e visitatori sempre più attenti alla ricerca di autenticità e carattere. È necessario spostare l'attenzione su questi elementi del paesaggio agrario, considerandoli non solo strutture con molteplici valenze, ma anche elementi di marketing territoriale in quello che definirei il "patrimonio culturale" di un territorio.

L'intelligenza artificiale può contribuire in diversi modi alla comprensione e valorizzazione del territorio. L'IA può analizzare grandi quantità di dati storici e archivi per identificare pattern e tendenze nell'evoluzione del territorio. Questo contribuisce a una comprensione più approfondita delle trasformazioni e delle influenze che hanno plasmato la regione nel corso del tempo. Utilizzando tecniche di intelligenza artificiale è possibile creare ricostruzioni virtuali degli antichi terrazzamenti e ciglionamenti, offrendo una prospettiva visiva di come apparivano in passato. Questa rappresentazione può essere utile per preservare e comunicare la storia e l'identità locale. L'intelligenza artificiale può essere impiegata per valutare l'impatto ambientale delle modifiche apportate al territorio nel corso del tempo. Ciò può includere l'analisi dell'uso del suolo, delle risorse idriche e della biodiversità, contribuendo a decisioni più informate sullo sviluppo futuro. Attraverso algoritmi di analisi del testo, l'IA può identificare opinioni e sentimenti espressi nelle interazioni online o in documenti storici riguardanti i terrazzamenti e ciglionamenti. Ciò può aiutare a comprendere meglio le percezioni della comunità e guidare strategie di sensibilizzazione culturale. L'IA può essere utilizzata per sviluppare strategie di marketing territoriale, identificando gli elementi unici e culturalmente significativi, come i terrazzamenti, da promuovere per attirare turisti. Analisi dei comportamenti online e delle preferenze dei visitatori può contribuire a ottimizzare campagne promozionali. In sintesi, l'intelligenza artificiale può svolgere un ruolo significativo nell'approfondire la comprensione del territorio, preservare la sua storia, valutare l'impatto ambientale delle modifiche e supportare iniziative di marketing territoriale.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In conclusione, l'intelligenza artificiale (IA) con opportuna programmazione e addestramento, può contribuire ad accelerare e agevolare l'interpretazione delle fonti ed estrarre i dati necessari a decifrare l'evoluzione dell'uso del suolo e il suo impatto sulla risposta idrologica e sulla dinamica socio-economica. La disponibilità dell'IA può consentire l'analisi delle caratteristiche del paesaggio in relazione a diversi aspetti, quali l'evoluzione e la reciproca interrelazione tra diversi ecosistemi, l'impatto e la sostenibilità delle attività umane, le caratteri-

stiche visive di un paesaggio, la sua resilienza ai mutamenti del clima, ecc. L'IA può consentire una dettagliata analisi delle informazioni geografiche, derivate da carte storiche, foto e informazioni di archivio e può, quindi, rivelarsi uno strumento molto potente per un processo decisionale e una gestione più consapevole del territorio. L'applicazione dell'IA per la rivelazione dell'evoluzione dell'uso del suolo e i cambiamenti socio-economici nelle aree rurali attraverso l'analisi fotografica rappresenta un approccio innovativo e fondamentale per comprendere e gestire in modo sostenibile il territorio e per uno sviluppo equilibrato e resiliente delle comunità rurali.

RIASSUNTO

La comprensione dell'evoluzione dell'uso del suolo è cruciale per lo sviluppo sostenibile. L'intelligenza artificiale (IA) può contribuire a decifrare l'evoluzione dell'uso del suolo e il suo impatto sulla risposta idrologica e sulla dinamica socio-economica. In tale contesto, l'IA può contribuire ad analizzare le foto, con una combinazione sinergica di riconoscimento delle immagini, analisi delle serie temporali, rilevamento di oggetti ed estrazione di caratteristiche. Gli algoritmi di IA possono supportare l'analisi temporale delle immagini, offrendo una prospettiva dinamica sui cambiamenti dell'uso del suolo nel tempo. Tecniche per individuare oggetti specifici nelle immagini, come edifici ed elementi agricoli (solchi, terrazzi, ecc.), consentono di migliorare la granularità della modellazione dell'uso del suolo. Modelli possono correlare le caratteristiche derivate dalle immagini con i dati rilevati sul campo, consentendo una previsione accurata. L'integrazione dell'IA nei modelli idrologici simula l'impatto dei cambiamenti nell'uso del suolo su processi critici come il deflusso superficiale, il ricaricamento delle falde e l'erosione. Inoltre, la combinazione di dati di immagine con indicatori socio-economici svela le relazioni tra i cambiamenti dell'uso del suolo e lo sviluppo economico. L'utilizzo di tecniche di IA consente di integrare informazioni da diverse fonti. Infine, lo sviluppo di modelli predittivi può fornire ai decisori politici informazioni pratiche.

ABSTRACT

Applying AI to uncover land use evolution and socio-economic changes in rural areas through photo analysis. Understanding the evolution of land use is crucial for sustainable development. Artificial intelligence (AI) can support deciphering the evolution of land use and its interconnected impact on hydrological response and socio-economic dynamics. This lecture delves into the application of AI to analyze photos, utilizing a synergistic combination of image recognition, time series analysis, object detection, and feature extraction. AI algorithms can support the temporal analysis of imagery, providing a dynamic perspective on land use changes over time. Advanced techniques for pinpointing specific objects within images, such as buildings and agricultural features (furrows, terraces, etc.), allow

to enhance the granularity of land use modeling. Machine learning models can correlate image-derived features with ground truth data, enabling accurate prediction and modeling of land use evolution. Integrating AI into hydrological models to simulate the impact of land use changes on critical processes like surface runoff, groundwater recharge, and erosion. Further, combining image data with socio-economic indicators to unravel the intricate relationships between land use changes and economic development. Utilizing AI techniques to seamlessly integrate diverse data sources for a holistic understanding. Finally, developing predictive models to forecast future land use changes, hydrological responses, and socio-economic trends, empowering policymakers with actionable insights.

BIBLIOGRAFIA

- BATTY M. (2018): *Artificial intelligence and smart cities*, «Environ. Plan. B Urban Anal. City Sci.», 45 (1), pp. 3-6, 10.1177/2399808317751169.
- BUNCE R.G.H., PÉREZ-SOBA M., ELBERSEN B., PRADOS M.J., ANDERSEN E., BELL M., SMEETS P.J.A.M. (2001): *Examples of European agri-environment schemes and livestock systems and their influence on Spanish cultural landscapes*, Alterra, Wageningen.
- DOMON G. (2011): *Landscape as resource: consequences, challenges and opportunities for rural development*, «Landsc. Urban Plan.», 100, pp. 338-340.
- DU J., QIAN L., RUI H., ZUO T., ZHENG D., XU Y., XU C.Y. (2012): *Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China*, «J. Hydrol.», pp. 464-465, 127-139.
- GEBHARDT S., WEHRMANN T., RUIZ M.A.M., MAEDA P., BISHOP J., SCHRAMM M., KOPEINIG R., CARTUS O., KELLNDORFER J., RESSL R., SANTOS L.A., SCHMIDT M. (2014): *MAD-MEX: Automatic Wall-to-Wall Land Cover Monitoring for the Mexican REDD-MRV Program Using All Landsat Data*, «Remote Sens.», 6, pp. 3923-3943. <https://doi.org/10.3390/rs6053923>.
- HAASE D., WALZ U., NEUBERT M., ROSENBERG M. (2007): *Change to Central European landscapes: analysing historical maps to approach current environmental issues, examples from Saxony, Central Germany*, «Land Use Policy», 24, pp. 248-263.
- HU Q., WILLSON G.D., CHEN X., AKYUZ A. (2004): *Effects of climate and landcover change on stream discharge in the Ozark highlands, USA*, «Environ. Model. Assess.», 10, pp. 9-19.
- JINNO K., TSUTSUMI A., ALKAEED O., SAITA S., BERNDTSSON R. (2009): *Effects of land-use change on groundwater recharge model parameters*, «Hydrol. Sci.», 54 (2), pp. 300-315.
- KRÖNERT R., BAUDRY J., BOWLER I.R., REENBERG A. (1999): *Land-use changes and their environmental impact in rural areas in Europe*, «Man and Biosphere Series», 24, UNESCO, Parthenon Pub. Group, New York.
- MARRACCINI E., DEBOLINI M., MOULERY M., ABRANTES P., BOUCHIER A., CHÉRY J.-P., SANZ SANZ E., SABBATINI T., NAPOLEONE C. (2015): *Common features and different trajectories of land cover changes in six Western Mediterranean urban regions*, «Applied Geography», 62, pp. 347-356, doi:10.1016/j.apgeog.2015.05.004.
- NAPOLI M., MASSETTI L., ORLANDINI S. (2017): *Hydrological response to land use and climate changes in a rural hilly basin in Italy*, «Catena», 157, pp. 1-11, 10.1016/j.catena.2017.05.002.

- NAPOLI M., VERGARI D., ORLANDINI S. (2022): *Linee guida per la regimazione idraulico agraria della Piana Fiorentina*, Consorzio di Bonifica Medio Valdarno, pp. 96, ISBN 9791221011845.
- NEUBERT M., WALZ U. (2002): *Auswertung historischer kartenwerke für ein landschaftsmonitoring*, a cura di J. Strobl, T. Blaschke, G. Griesebner, Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2002, Heidelberg, pp. 396-402.
- PELOROSSO R., LEONE A., BOCCIA L. (2009): *Land cover and land use change in the Italian central Apennines: A comparison of assessment methods*, «Appl. Geogr.», 29, pp. 35-48.
- ROSE S., PETERS N.E. (2001): *Effects of urbanization on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA): a comparative hydrological approach*, «Hydrol. Process.», 15, pp. 1441-1457.
- RUSSO P., TOMASELLI G., PAPPALARDO G. (2014): *Marginal periurban agricultural areas: A support method for landscape planning*, «Land Use Policy», 41, pp. 97-109, doi:10.1016/j.landusepol.2014.04.017.
- SCHMITZ M.F., DE ARANZABAL I., AGUILERA P., RESCIA A.J., PINEDA F.D. (2003): *Relationship between landscape typology and socioeconomic structure: scenarios of change in Spanish cultural landscapes*, «Ecol. Model.», 168, pp. 343-356.
- SPINA S. (2023): *Artificial Intelligence in archival and historical scholarship workflow: HTS and ChatGPT*, «Umanistica Digitale», 7 (16), pp. 125-140.
- STATUTO D., TORTORA A., PICUNO P. (2014): *Spatial modeling and image processing of historical maps for rural landscape planning*, in Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering-EurAgEng 2014, Zurich, Switzerland, 6-10 July 2014.
- TRIPATHI M.P., PANDA R.K., RAGHUWANSHI N.S. (2005): *Development of effective management plan for critical subwatersheds using SWAT model*, «Hydrol. Process.», 19, pp. 809-826.
- YANG Y., ZHANG S., YANG J. (2014): *A review of historical reconstruction methods of land use/land cover*, «J. Geogr. Sci.», 2014, 24, pp. 746-766.
- YIGITCANLAR T., MEHMOOD R., CORCHADO J.M. (2021): *Green Artificial Intelligence: Towards an Efficient, Sustainable and Equitable Technology for Smart Cities and Futures*, «Sustainability», 13, 8952, <https://doi.org/10.3390/su13168952>.
- ZHOU F., XU Y., CHEN Y., XU C.-Y., GAO Y., DU J. (2013): *Hydrological response to urbanization at different spatio-temporal scales simulated by coupling of CLUE-S and the SWAT model in the Yangtze River Delta region*, «J. Hydrol.», 485, pp. 113-125.