

Elisa Filippi

Decifrare la complessità urbana attraverso l'Osservazione della Terra: sfide, applicazioni e prospettive

RIASSUNTO: Nel contesto della crescente complessità urbana e delle sfide ambientali globali, l'Osservazione della Terra rappresenta uno strumento essenziale per comprendere, monitorare e gestire i rischi ambientali e climatici anche a livello locale. Questo contributo esplora il ruolo dell'Osservazione della Terra nell'analisi dei fenomeni urbani, con particolare attenzione al monitoraggio delle isole di calore urbano, attraverso l'integrazione di dati satellitari, sensori IoT e indicatori socio-economici. Vengono presentati i casi studio di Torino e Prato, nei quali l'Osservazione della Terra è stata utilizzata per costruire indici di vulnerabilità climatica multidimensionali su scala sub-comunale, evidenziando la correlazione tra morfologia urbana, fragilità sociale e impatti climatici. Il lavoro discute inoltre i principali programmi di investimento europei e italiani (Copernicus e IRIDE) e le barriere organizzative, tecnologiche e culturali all'adozione dei dati e servizi satellitari da parte delle autorità locali. Infine, si sottolinea il ruolo delle scienze umane nell'interpretazione e traduzione dei dati in conoscenza e supporto alle decisioni, suggerendo un approccio integrato alla *governance* urbana basato sulla complementarità tra sapere tecnologico e sapere umanistico.

PAROLE CHIAVE: Osservazione della Terra, Capacità di innovazione dell'Autorità Nazionale per la Sicurezza Integrata, Rischio di vulnerabilità climatica.

ABSTRACT: In response to increasing urban complexity and escalating global environmental challenges, Earth Observation (EO) has emerged as a critical instrument for understanding, monitoring, and managing climate and environmental risks, particularly at the local scale. This article investigates the application of EO in the analysis of urban dynamics, with a specific focus on monitoring Urban Heat Islands (UHIs) through the integration of satellite imagery, Internet of Things (IoT) sensors, and socio-economic indicators. Drawing on case studies from the Italian cities of Turin and Prato, the study demonstrates how EO can inform the development of multidimensional climate vulnerability indices at the sub-municipal level. Additionally, the article examines the role of key European and Italian investment programs, notably Copernicus and IRIDE, in advancing EO capabilities. Furthermore, it investigates the innovation capacity of public administrations (PAs) to adopt and integrate EO services, identifying key organisational, technological, and cultural barriers. Finally, the article underscores the value of humanities-based approaches in contextualizing and operationalizing EO data for urban governance, advocating for a transdisciplinary model that bridges technological innovation with humanistic insight.

KEY-WORDS: Earth Observation, PA Innovation capacity, Climate Vulnerability Risk.

Introduzione

Nel contesto delle profonde trasformazioni ambientali e sociali del nostro tempo, emerge la necessità di strumenti conoscitivi in grado di interpretare la crescente complessità del mondo contemporaneo. Le realtà urbane, in particolare, costituiscono un nodo critico dove si concentrano fenomeni demografici, climatici, infrastrutturali e sociali spesso interdipendenti e difficilmente governabili con approcci settoriali. L'Osservazione della Terra rappresenta uno strumento fondamentale per affrontare questa complessità, rendendo disponibili dati essenziali per monitorare l'ambiente, supportare decisioni strategiche e sviluppare politiche sostenibili attraverso un approccio trainato dai dati e dunque basato sull'evidenza.

La complessità della dimensione urbana

Tra i diversi ambiti nei quali la complessità delle trasformazioni in atto sta emergendo con maggiore nettezza, si distingue la dimensione urbana. Il ruolo delle città è infatti cruciale, poiché sono sempre più al centro di sfide complesse e multidimensionali (OCSE, 2023)¹. A testimonianza di tale fenomeno può essere letta la consapevolezza crescente dell'UE del ruolo centrale delle città e delle regioni nel raggiungimento degli obiettivi dell'Agenda urbana per l'UE² e della doppia transizione (Bianchi 2024 JRC)³ che ha portato alla definizione a livello europeo di strumenti di programmazione a sostegno delle loro azioni. Secondo recenti stime dell'ONU circa il 55% della popolazione mondiale vive attualmente in aree urbane, una percentuale destinata a salire fino al 68% entro il 2050 (UN DESA, 2018)⁴, mentre in Europa, la quota supera già il 75%. In questi contesti si concentrano significative sfide climatiche e sociali, tra cui l'inquinamento atmosferico, l'aumento delle isole di calore urbano (EEA, 2024)⁵, la vulnerabilità socioeconomica, e l'aumento dell'esposizione ai rischi

¹ OECD. *A Territorial Approach to Climate Action and Resilience*; Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris 2023.

² Urban Agenda for the EU. Pact of Amsterdam. Disponibile online: <https://futurium.ec.europa.eu> ultimo accesso febbraio 2025

³ G. Bianchi, C. Matti, D. Pontikakis, R. Reimeris, K.H. Haegeman, M. Miedzinski, C. Sillero Illanes, S. Mifsud, S. Sasso, E. Bol *et alii*. *Innovation for Place-Based Transformations*, Ispra 2024.

⁴ Urban and rural population growth and world urbanization prospects, World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, pp 9-31, 2019

⁵ EEA, Europe's air quality status 2024, <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024>

derivanti dal cambiamento climatico, come ondate di calore, alluvioni e stress idrico. Questi fattori rappresentano sfide complesse per la pianificazione urbana e richiedono soluzioni integrate e basate su dati accurati e georeferenziati. Secondo l'Ufficio delle Nazioni Unite per gli Affari dello Spazio Extra-atmosferico (UNOOSA), le applicazioni spaziali, come l'Osservazione della Terra, svolgono un ruolo cruciale nel supportare il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs), in particolare l'SDG 11, che mira a rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili⁶.

Osservazione della Terra: definizione e potenzialità applicative nelle città italiane

L'Osservazione della Terra è definita dal Group on Earth Observation (GEO) come «la raccolta di informazioni sui sistemi fisici, chimici e biologici del pianeta Terra. Essa comprende il monitoraggio e la valutazione dello stato e dei cambiamenti dell'ambiente naturale e antropico»⁷. L'attività di monitoraggio si realizza tramite l'acquisizione di dati attraverso tre principali categorie di strumenti tecnologici: (i) i satelliti e i loro sottosistemi, (ii) gli aerei e i droni, e (iii) le misurazioni *in situ*, anche tramite sensori fissi a terra. La principale categoria di interesse in questo articolo è costituita dai satelliti di Osservazione della Terra. È bene richiamare come a seconda dei sensori di cui i satelliti sono dotati, questi possono essere suddivisi in: satelliti ottici multispettrali e iperspettrali, e satelliti radar (SAR - Synthetic Aperture Radar).

Tra le numerose applicazioni dei dati satellitari di Osservazione della Terra, particolarmente significativo in ambito urbano è il monitoraggio delle «isole di calore urbano» (UHI - Urban Heat Island). Con isole di calore urbano si intende un fenomeno microclimatico per cui le aree urbane registrano temperature significativamente più elevate rispetto alle zone circostanti (rurali o comunque non urbanizzate), a causa dell'accumulo e del rilascio di calore da parte delle superfici artificiali (asfalto, cemento), della ridotta presenza di vegetazione e dell'intensità delle attività antropiche. L'effetto si verifica in particolare nelle ore notturne causando differenze termiche anche superiori ai 10 °C rispetto alle aree non urbanizzate. (Copernicus Climate Service)⁸.

⁶ United Nations Office for Outer Space Affairs. *European Global Navigation Satellite System and Copernicus: Supporting the Sustainable Development Goals-Building Blocks Towards the 2030 Agenda*; United Nations, New York 2019.

⁷ Group on Earth Observations, <https://earthobservations.org>.

⁸ <https://climate.copernicus.eu/demonstrating-heat-stress-european-cities>

Numerosi studi sono stati condotti sul tema a livello europeo ed italiano. Un caso particolarmente rilevante è rappresentato dallo studio condotto sulla città di Torino da Ellena *et al.* (2023)⁹, in cui è stato sviluppato un modello di valutazione del rischio climatico urbano su scala micro-territoriale, adottando come unità di analisi, la sezione di censimento ISTAT. Il modello proposto dallo studio integra tre componenti fondamentali del rischio: pericolo, esposizione e vulnerabilità. Il pericolo viene rappresentato dalla presenza e intensità dell'effetto delle isole di calore urbano, stimato attraverso dati satellitari di superficie e temperatura. L'esposizione considera la densità e la tipologia della popolazione residente nelle diverse sezioni di censimento (ognuna riferita a circa 300 abitanti), mentre la vulnerabilità viene calcolata combinando variabili socio-demografiche come l'età avanzata, la disabilità, la condizione economica e l'isolamento sociale. Lo studio conferma il forte legame tra la presenza di superfici impermeabili e l'intensità del fenomeno delle isole di calore urbano, in particolare nelle aree ad alta densità abitativa e con maggiori fragilità socio-economiche. Le zone a rischio elevato sono risultate concentrate principalmente nelle periferie densamente popolate (ad esempio, Barriera di Milano, Mirafiori nord e sud, Vanchiglietta), e in parte nel centro storico, mentre le aree industriali – pur fortemente soggette al fenomeno – sono risultate meno rilevanti in termini di rischio complessivo per la bassa densità di popolazione residente. Una chiave di lettura rilevante emersa è l'influenza persistente della storia urbanistica e industriale della città sulla distribuzione attuale del rischio: molte aree costruite negli anni Sessanta attorno a poli industriali, con scarse dotazioni di verde e servizi pubblici, mostrano ancora oggi condizioni morfologiche e climatiche critiche che aumentano la componente di vulnerabilità. Similmente, nella città di Prato, un indice di vulnerabilità climatica dinamico è stato sviluppato integrando dati satellitari Sentinel-2 e Landsat con sensori IoT installati sul territorio, e un insieme articolato di dati socioeconomici locali, inclusivi di variabili relative al reddito medio, al livello di istruzione, alla composizione anagrafica (percentuale di anziani soli e nuclei familiari monogenitoriali), alla tipologia contrattuale abitativa e alla densità abitativa (Studio preliminare PAESC, Città di Prato, 2024). L'indice, aggiornato regolarmente, è stato implementato nell'ambito di un modello urbano più ampio orientato alla costruzione di un gemello digitale (*digital twin*)

⁹ M. Ellena, G. Melis, N. Zengarini, E. Di Gangi, G. Ricciardi, P. Mercogliano, G. Costa, *Micro-scale UHI risk assessment on the heat-health nexus within cities by looking at socio-economic factors and built environment characteristics: The Turin case study (Italy)*, *Urban Climate*, Volume 49, 2023, 101514, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101514>

della città, finalizzato a simulare scenari futuri di impatto climatico e valutare in tempo reale l'efficacia delle politiche di adattamento. Questo approccio ha permesso non solo una mappatura dettagliata della vulnerabilità climatica a scala sub-comunale, ma anche l'identificazione di zone prioritarie per interventi di rafforzamento infrastrutturale e rigenerazione urbana. Il caso di Prato rappresenta un esempio emblematico di integrazione tra tecnologie di Osservazione della Terra e strumenti avanzati di *governance* urbana *data-driven*. Ciò che appare rilevante evidenziare è come in entrambi i casi trattati l'utilizzo del dato satellitare sia stato funzionale all'elaborazione di un indice multidimensionale. Questo approccio ha permesso di sviluppare una valutazione articolata delle condizioni di vulnerabilità sociale ed economica della popolazione, con forte attenzione alla dimensione territoriale. In particolare, l'analisi geolocalizzata della vulnerabilità ha reso possibile identificare non solo le aree più esposte agli impatti climatici, ma anche quelle in cui tali impatti si sovrappongono a situazioni di potenziale disagio socioeconomico strutturale.

Investimenti strategici a livello europeo e nazionale: il ruolo del programma Copernicus e di IRIDE

Sulla base della consapevolezza del valore di dati e servizi di Osservazione della Terra ottenuti dai dati satellitari, il livello di investimenti pubblici a livello europeo è cresciuto considerevolmente negli ultimi anni. In particolare, l'investimento più importante in Europa è rappresentato da "Copernicus", il programma di Osservazione della Terra finanziato dall'Unione Europea considerato il più importante fornitore mondiale di dati spaziali¹⁰, con oltre 150 terabyte al giorno, forniti in un formato aperto e gratuito. Il programma Copernicus è articolato in sei servizi tematici, che mirano a elaborare e trasformare i dati di Osservazione della Terra in informazioni rilevanti per una serie di temi rilevanti di interesse urbano e regionale. Un esempio interessante è il caso dell'Urban Atlas¹¹ (progettato nell'ambito del Copernicus Land Monitoring Service), che fornisce mappe dettagliate della copertura del suolo/uso del suolo, comprese mappe degli alberi, misurazioni dell'altezza dei blocchi di edifici e stime della popolazione, per 788 aree urbane funzionali in tutta Europa.

¹⁰ EU Court of Auditors. *Special Report 07/2021: EU Space Programmes Galileo and Copernicus: Services Launched, but the Uptake Needs a Further Boost*; EU Court of Auditors, Luxembourg 2021

¹¹ Copernicus Land Monitoring Service. Urban Atlas. Available online: <https://land.copernicus.eu/en/products/urban-atlas>

In aggiunta al contributo italiano alla realizzazione del programma Copernicus, e ad integrazione di altre costellazioni nazionali di Osservazione della Terra (come CosmoSkymed e Prisma), un nuovo e più recente investimento pubblico a livello nazionale è rappresentato dal programma IRIDE. Finanziato nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), con più di 1 miliardo di euro, IRIDE rappresenta il più importante investimento spaziale nell'ambito del PNRR europei. Il programma è volto alla realizzazione di una costellazione di circa 60 satelliti entro il 2026¹², organizzati in sei diverse subcostellazioni, equipaggiati con sensori ottici e radar. L'investimento mira a rafforzare la capacità tecnologica nazionale nel settore spaziale, rafforzando l'autonomia e la sovranità tecnologica del Paese. Il programma IRIDE si propone inoltre di facilitare la produzione seriale di satelliti, favorendo una transizione dall'attuale modello artigianale a uno più industrializzato. I dati acquisiti dal programma saranno in grado di fornire informazioni preziose, con caratteristiche performanti sia in termini di risoluzione spaziale che di tempo di rivisita, fondamentali per analizzare la qualità dell'aria, monitorare cambiamenti climatici e il loro impatto sulla copertura del suolo, sulla gestione delle risorse idriche e per rilevare movimenti del terreno. Inoltre, saranno attivati servizi specifici per le emergenze come nel caso di alluvioni, frane, incendi, o valanghe. In questo contesto, una menzione rilevante va dedicata al programma IRIDE EOS4LPA dedicato nello specifico a potenziare l'*uptake* dei dati satellitari da parte delle autorità locali e regionali¹³.

Sfide e barriere all'adozione dei dati EO

Nonostante i significativi investimenti e l'ampio riconoscimento scientifico del valore delle tecnologie di Osservazione della Terra, il loro utilizzo da parte delle autorità locali e regionali (LRAs) rimane limitato, attestandosi appena al 6% del mercato europeo. Recenti studi condotti su un campione di città e regioni italiane¹⁴, mettono in evidenza come le barriere all'adozione ed utilizzo di questi dati siano multidimensionali, ovvero siano da ricondurre a fattori

¹² Si tratta della misura: M1.C2.I4.2 Earth Observation Programmes, National Recovery and Resilience Plan, 2021.

¹³ E. Filippi, A. Aiello, *Reasons, Objectives and Potential Impact of the Italian NRRP Investment for the «Iride» Earth Observation Programme*, in «L'industria» 2024, 1, 113-158.

¹⁴ Filippi, Aiello, *Barriers, Benefits, and Influential Factors of Adopting Earth Observation Satellite Data at Local and Regional Levels*, in «Sustainability», 2025, 17 (1), 145.

tecnologici, ma anche ad aspetti che rendono centrale il fattore umano, come la dimensione di formazione e motivazione individuale, elementi socioculturali, organizzativi ed ambientali. Oltre alle caratteristiche della tecnologia che viene utilizzata, e alla necessità di potenziare l'allineamento tra i bisogni conoscitivi dell'ente e i requisiti dei servizi tecnologici offerti, un ruolo centrale viene giocato ad esempio dalla formazione e dal ruolo della leadership. La formazione in particolare risulta cruciale. I dati di Osservazione della Terra, infatti, per essere utilizzati appieno, devono prima essere correttamente rappresentati ed interpretati. Tale processo richiede un insieme di competenze diverse: digitali, ma anche ambientali e di analisi socioeconomica. Queste sfide richiedono strategie mirate di *capacity-building*, formazione continua del personale pubblico e politiche che favoriscano l'integrazione sistematica dell'EO nei processi decisionali locali e regionali.

Il ruolo delle scienze umane

L'Osservazione della Terra, per quanto fondata su tecnologie avanzate, richiede una profonda capacità di interpretazione. La sua efficacia dipende in larga misura dalla capacità di integrare la dimensione tecnica con la conoscenza contestuale dei territori. In questo quadro, le competenze umanistiche e sociali giocano un ruolo essenziale. Geografi, sociologi, urbanisti, giuristi, antropologi e filosofi dell'etica forniscono strumenti critici per comprendere le implicazioni culturali, sociali ed economiche dei fenomeni rilevati.

La mappatura dei rischi non può prescindere dalla comprensione dei significati attribuiti agli spazi urbani, né alla popolazione che vi risiede e alla considerazione delle disuguaglianze. In questo senso, l'Osservazione della Terra non è solo uno strumento conoscitivo, ma anche una lente interpretativa. La sfida risiede nell'integrare saperi diversi, valorizzando la multidimensionalità della conoscenza come risorsa per una *governance* urbana più consapevole e inclusiva.

Se i satelliti sono gli occhi del Pianeta, allora urbanisti, sociologi e funzionari della Pubblica Amministrazione possono esserne la mente e la coscienza. Il futuro delle nostre città, e dunque del pianeta, dipenderà dalla nostra capacità di trasformare la conoscenza in azioni efficaci e responsabili.

Riferimenti bibliografici

- Bianchi, G.; Matti, C.; Pontikakis, D.; Reimeris, R.; Haegeman, K.H.; Miedzinski, M.; Sillero Illanes, C.; Mifsud, S.; Sasso, S.; Bol, E.; et al. *Innovation for Place-Based Transformations*; JRC Publications Repository: Ispra, Italy, 2024.
- Copernicus Climate Change Service, Urban Heat Island, <https://climate.copernicus.eu>, consultato il 4 aprile 2025.
- EARSC, European Earth Observation Market Report, Bruxelles, 2023.
- EEA - European Environment Agency, Europe's Air Quality Status, Copenhagen, 2024, <https://www.eea.europa.eu>.
- Marta Ellena, Giulia Melis, Nicolás Zengarini, Eduardo Di Gangi, Guglielmo Ricciardi, Paola Mercogliano, Giuseppe Costa, *Micro-scale UHI risk assessment on the heat-health nexus within cities by looking at socio-economic factors and built environment characteristics: The Turin case study (Italy)*, Urban Climate, Volume 49, 2023, 101514, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101514>.
- European Commission, Copernicus Programme Overview, Bruxelles, 2022.
- EU Court of Auditors. *Special Report 07/2021: EU Space Programmes Galileo and Copernicus: Services Launched, but the Uptake Needs a Further Boost*; EU Court of Auditors: Luxembourg, 2021.
- Filippi, E.; Aiello, A., *Reasons, Objectives and Potential Impact of the Italian NRRP Investment for the «Iride» Earth Observation Programme*, in «L'industria», 2024, 1, 113-158.
- Filippi, E., Aiello, A. (2025), *Barriers, Benefits, and Influential Factors of Adopting Earth Observation Satellite Data at Local and Regional Levels*, in «Sustainability», 17 (1), 145.
- Fondazione per il Futuro delle Città, Urban Heat Island Mapping Report, Firenze, 2023.
- GEO - Group on Earth Observations, <https://earthobservations.org>, consultato il 3 aprile 2025.
- OECD. *A Territorial Approach to Climate Action and Resilience*; Organisation for Economic Co-operation and Development: Paris, France, 2023.
- Studio preliminare PAESC, Comune di Prato, 2024.
- United Nations Office for Outer Space Affairs. *European Global Navigation Satellite System and Copernicus: Supporting the Sustainable Development Goals-Building Blocks Towards the 2030 Agenda*; United Nations: New York, NY, USA, 2019.
- UN DESA – United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Urbanization Prospects, New York, 2018, <https://population.un.org>.
- Urban Agenda for the EU. Pact of Amsterdam, 2016. Disponibile online: <https://futurium.ec.europa.eu> (ultimo accesso febbraio 2025).