IMMAGINI MULTISPETTRALI A SUPPORTO DELLA PIANIFICAZIONE URBANISTICA E DEL CIM (CITY INFORMATION MODELING).

N. Pascucci[1]

[1] DICEAA, Department of Civil, Environmental Engineering and Architecture, University of L'Aquila, Via G Gronchi 18, 67100, L'Aquila, Italy– nicole.pascucci@graduate.univaq.it

Parole chiave: Immagini multispettrali, Worldview 2, Landsat 8, Isole di calore urbane, CIM, UHI, 3D, Smart City

Keywords: Multispectral Images, Worldview 2, Landsat 8, Urban Heat Islands, CIM, UHI, 3D, Smart City

Abstract

Lo studio presenta un'analisi relativa all'elaborazione di dati attraverso l'impiego di immagini satellitari multispettrali ad alta e media risoluzione. Le nuove informazioni verranno estratte sia da indici spettrali specifici che da algoritmi di clustering. L'obiettivo primario è ottenere nuove elaborazioni per l'aggiornamento delle informazioni preesistenti, attualmente raccolte dalle fonti ufficiali a livello regionale. Successivamente, i dati ottenuti confluiranno in un database unificato e aggiornato, costituendo così un'estesa rappresentazione in 3D dell'ambiente urbano, nota come CIM (City Information Modeling). Questo modello si rivelerà di grande utilità per la pianificazione e la gestione urbana, creando una struttura parametrica dettagliata del territorio di studio, al quale sarà possibile associare una vasta gamma di informazioni, contribuendo al monitoraggio e alla gestione efficace dell'area urbana.

This work presents a study on processing additional information using high and medium-resolution multispectral satellite images. The new information will be derived from specific spectral indices as well as clustering algorithms. The primary objective is to gain novel insights for updating existing information, sourced from official regional authorities. Subsequently, the acquired data will be amalgamated into an updated and unified database, thus constituting an extended 3D urban model known as CIM (City Information Modeling). This model will serve as a valuable asset for urban planning and management, creating a comprehensive parametric representation of the subject city. A wide array of information types can be associated with this model, contributing to the monitoring and effective administration of the urban area.

1. Introduzione

La "Smart City" è la nuova frontiera per la gestione delle città ed è un concetto multidisciplinare che coinvolge molti attori e scienze. Uno dei temi legati alla Smart City comprende lo sviluppo di nuovi strumenti per la gestione della città, in particolare per la pianificazione urbanistica. In questo processo sono coinvolti due nuovi temi, la conoscenza del territorio e le nuove tecnologie con le relative pratiche. (Di Ludovico D. et al., 2019; Dominici D. et al. 2022; Pascucci N. 2023).

Nell'ambito della conoscenza territoriale, le tecniche geomatiche hanno assunto un ruolo di primaria rilevanza per la comprensione e per la gestione del patrimonio e delle aree urbane. La geomatica, pertanto, può essere delineata come una disciplina dedicata alla conoscenza, alla misurazione, al monitoraggio e alla gestione "intelligente" del territorio e di conseguenza delle sue strutture e infrastrutture. Nel corso degli ultimi decenni, si sono sviluppati nuovi strumenti, tra cui la scansione laser, le immagini acquisite tramite UAV, i sistemi di mappatura mobile e il telerilevamento, che contribuiscono a creare modelli metrici 3D georeferenziati e certificati, i quali forniscono informazioni qualitative dettagliate sul territorio. I risultati della geomatica, per tali motivi, sono molto utili per creare database digitali in cui convergono diverse informazioni necessarie per sviluppare un sistema integrato di gestione della città digitale. Inoltre, grazie allo sviluppo dei Sistemi Informativi Geografici (GIS), il concetto di città digitale è stato ampiamente implementato.

Oggi, per la pianificazione urbana, viene proposto un nuovo concetto di City Information Modelling (CIM), che apporta grandi benefici alla costruzione e alla gestione delle città (Xun Xu et al., 2014). In letteratura, il CIM è definito come un'analogia del Building Information Modeling (BIM) nell'urbanistica ed è stato concepito come un'espansione 3D del GIS (3DIS o sistema informativo 3D) arricchito da viste multilivello (layers) e multiscala e da un inventario di elementi 3D con le loro relazioni. (Stojanovski 2013).

Questo lavoro si propone di sperimentare metodologie innovative al fine di ampliare e arricchire il panorama teorico e applicativo della ricerca contemporanea nel campo della pianificazione urbana, in particolare nella costruzione di Modelli Informatici di Città (CIM), considerando fondamentale l'utilizzo della geomatica come conoscenza primaria del territorio. Nello specifico, l'utilizzo dell'elaborazione di immagini multispettrali a supporto di un determinato territorio contribuisce al monitoraggio e alla rappresentazione di nuovi livelli di informazione e conoscenza, integrabili con quelli preesistenti, consentendo la realizzazione di un sistema CIM integrato per la pianificazione urbana. Come mostra la Figura 1, l'area di studio comprende una vasta parte della città de L'Aquila e alcune aree limitrofe. Queste zone sono state influenzate dall'evento sismico del 2009 e sono soggette a un processo continuo di trasformazione, rendendolo un caso unico.

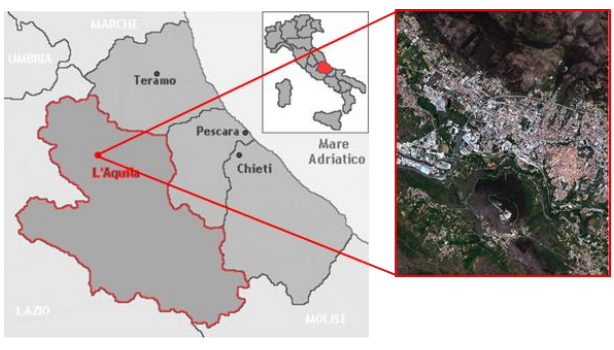

Figura 1. Posizione della città dell'Aquila all'interno della regione Abruzzo e zoom dell'area oggetto d'esame (in rosso).

2. Metodologia

Come precedentemente introdotto, lo studio riguarda l'utilizzo di immagini satellitari multispettrali per estrarre informazioni da integrare con i livelli provenienti dai Geoportali ufficiali, al fine di costruire un modello CIM per la gestione delle Smart City. Inizieremo dunque dall'utilizzo delle immagini multispettrali ottenute tramite il telerilevamento, sfruttando l'effettiva conoscenza dell'estrazione automatica (o semi-automatica) dei dati legati alla copertura del suolo e all'estrazione di informazioni dettagliate sulle aree studiate.
La Figura 2 illustra il flusso operativo seguito per la realizzazione del CIM, nel quale, partendo dall'elaborazione e dall'analisi delle immagini multispettrali, sono estratte e aggiunte nuove informazioni a quelle già esistenti in un modello parametrico 3D.

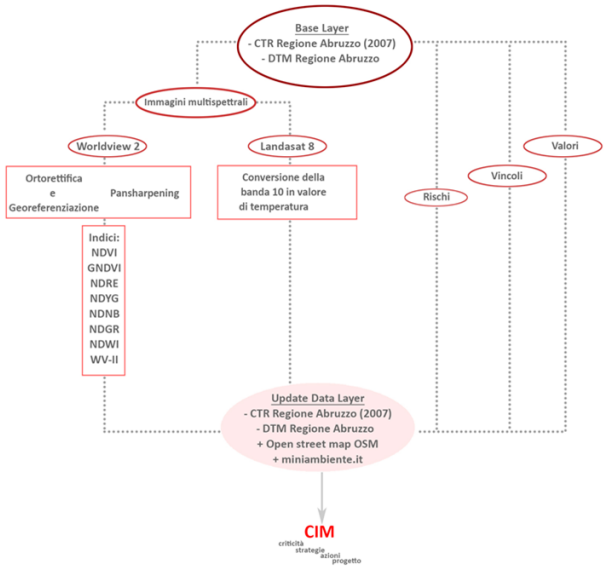

Figura 2. Workflow proposto dall'analisi delle informazioni dalle immagini multispettrali alla creazione del CIM.

I livelli di dati provenienti da fonti ufficiali utilizzati includono ad esempio: DBTR (Database Territoriale Regionale) in formato open-data, alla scala di 1:5.000 e datato prima dell'evento sismico del 2009 e quindi da aggiornare (disponibile gratuitamente dal sito http://opendata.regione.abruzzo.it/). Per questa ragione, il recupero di nuove informazioni, specialmente attraverso l'acquisizione di dati spaziali tramite tecniche di remote sensing, non solo ha permesso il continuo e attuale aggiornamento dei data layers in corso, ma fluirà anche insieme ad altre informazioni all'interno del CIM.

3. Materiali e metodi

Questa sezione inizia con la presentazione delle due diverse tipologie di immagini multispettrali utilizzate: una ad altissima risoluzione da satellite WorldView2 (WV2) e, una a media risoluzione da satellite Landsat 8, al fine di estrarre nuovi layers informativi.
Il satellite WV2 acquisisce immagini multispettrali ad 8 bande con risoluzione di 0,50 m nel pancromatico e 2 m nel multispettrale (https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview-2).
Landsat 8 fornisce immagini pancromatiche con una risoluzione di 15 m e immagini multispettrali con una risoluzione di 30-100 m. Rispetto ai satelliti precedenti il Landsat 8 è dotato di sensori OLI (Operational Land Imager), in grado di acquisire una ulteriore banda prima del blu (per lo studio degli ambienti lacustri e costieri) ed una banda 9 per lo studio della nuvolosità, e due bande TIR (Thermal Infrared Sensor) nell'infrarosso termico. (https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8). Prima dell'estrazione delle informazioni, vengono effettuate operazioni di pre-elaborazione, come la georeferenziazione, l'ortorettifica e il pansharpening per l'immagine WV2, e alcune conversioni per estrarre informazioni sulla temperatura per le immagini Landsat 8.

3.1 Elaborazione di dati dall'immagine WorldView2

Tra i vari approcci utilizzati per estrarre informazioni utili dalle immagini WV2, vi è l'utilizzo degli indici spettrali. Quest'ultimi sono costruiti combinando differenze, somme e rapporti, come riporta la formula (1) (Dermais & Biagi, 2002).

$$x_i = \frac{x_i^k - x_i^m}{x_i^k + x_i^m} \quad (1)$$

Gli indici vengono altresì impiegati per identificare tipi specifici di copertura del suolo e risultano particolarmente utili per la mappatura delle aree urbanizzate. A tale scopo, sono stati selezionati alcuni indici per estrarre informazioni utili alla costruzione di un CIM.
I primi risultati riguardano la mappa tematica relativa alla vegetazione, come mostra la Figura 3, i quali sono stati ottenuti attraverso le seguenti formule (2), (3) e (4):

NDVI, Normalized Difference Vegetation Index
Questo indice permette la discriminazione della vegetazione e descrive il livello di vigoria della coltura in esame (Wolf A., 2010).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

GNDVI, Green Normalized Difference Vegetation Index
Indice utile per stimare il quantitativo di biomassa verde. Rispetto all'NDVI è più adatto per colture in fase di sviluppo avanzato (Gitelson et al.,1996).

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN} \quad (3)$$

NDRE, Normalized Difference Red Edge
Un ulteriore indice è NDRE, col quale è possibile ricavare principalmente: la quantità di clorofilla fogliare (quanto appare verde una foglia), il vigore vegetativo, il rilevamento dello stress, la necessità di fertilizzazione e l'assorbimento d'azoto.(Fitzgerald et al., 2010).

$$NDRE = \frac{NIR - REDEDGE}{NIR + REDEDGE} \quad (4)$$

Figura 3. A destra l'indice NDVI per Identificare le aree con presenza di vegetazione e il livello di vigore; al centro GNDVI per la stima del quantitativo di biomassa verde; a sinistra NDRE per individuare il diverso contenuto di clorofilla nelle foglie.

Tramite gli indici riportati di seguito (5) e (6), si è identificato e distinto i diversi tipi di manti di copertura presenti dell'edificato esistente nell'area di interesse ed è stato possibile indentificare la presenza di amianto, come da Figura 4.

NDYG (Normalized Difference Yellow Green)
Utilizzando la banda Yellow e Green permette di isolare le coperture con tegole da materiali differenti (Stamou et al., 2012).

$$NDYG = \frac{YELLOW - GREEN}{YELLOW + GREEN} \quad (5)$$

NDNB (Normalized Difference NIR1 and Blue)
Tramite la combinazione delle bande NIR1 e Blue è possibile evidenziare la presenza di amianto nell'area oggetto di studio (Hamedianfar A. et al. 2015).

$$NDNB = \frac{NIR1 - BLUE}{NIR1 + BLUE} \quad (6)$$

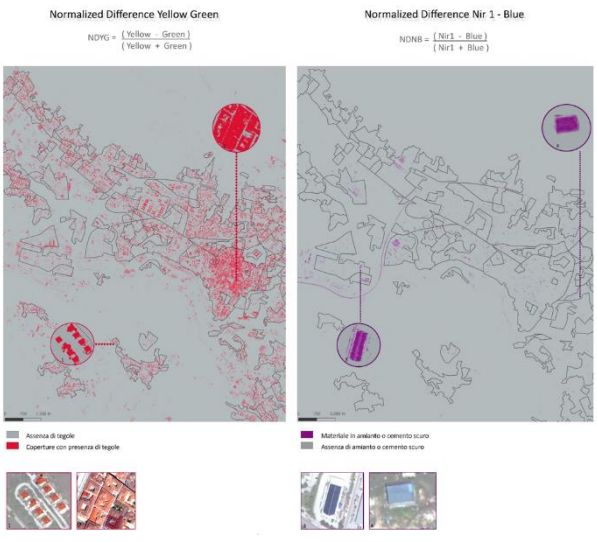

Figura 4. A destra l'indice NDYG per Identificare le coperture con presenza ti tegole; a sinistra NDNB per individuare il materiale contenente l'amianto.

Gli ultimi indici utilizzati come riportano la (7) e la (8) sono il NDWI e il WV-II:

NDWI (Normalized Difference Water Index)
Utilizza le bande Coastal e NIR2 ed è, utile per lo studio di aree caratterizzate dall'acqua (Wolf A., 2010). Come mostrato nella figura 5, la mappa tematica relativa a questo indice ha classificato la presenza e l'assenza di acqua in relazione a stagni, fiumi e corpi d'acqua naturali e la presenza di acqua in elementi antropogenici come piscine.

$$NDWI = \frac{COASTAL - NIR2}{COASTAL + NIR2} \quad (7)$$

WV-II (WorldView New Iron Index)
Con l'uso delle bande Green, Yellow e Blue si identificano i pixel ricchi di ossido di ferro (Baptista G. et al. 2017).

$$WV\text{-}II = \frac{GREEN * YELLOW}{BLUE * 1000} \quad (8)$$

In aggiunta, al fine di ottenere una stima preliminare della classificazione della qualità del manto stradale è stata eseguita una classificazione non supervisionata utilizzando il metodo K-means, riportata in Figura 5, confrontando un campione di strade, grazie ai dati concessi dal Comune dell'Aquila.

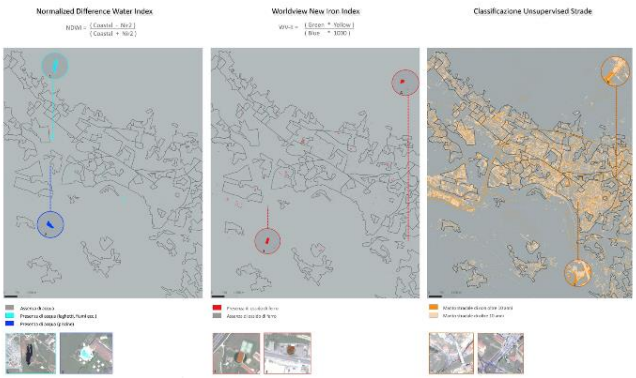

Figura 5. A destra l'indice NDWI per Identificare le aree con presenza d'acqua; al centro WV-II per individuare la presenza di ossido di ferro; a sinistra una classificazione non supervisionata per una prima stima della qualità del manto stradale.

3.2 Estrazione di dati dalla banda termica

Oggi, lo stato termico dell'ambiente urbano è di grande interesse per i ricercatori, gli enti istituzionali e per i cittadini stessi. La conoscenza degli scambi energetici della superficie urbana è di primaria importanza per lo studio della climatologia urbana.
Le informazioni termiche sintetiche possono essere acquisite utilizzando tecniche di telerilevamento, attraverso sensori che operano nella banda dell'infrarosso termico (TIR).
Per ottenere una prima valutazione e confronto della temperatura qualitativa dell'area, sono state prese in considerazione tre immagini Landsat 8 (https://ers.cr.usgs.gov), considerando l'acquisizione avvenuta durante vari anni nello stesso periodo estivo. Le immagini analizzate sono:
• Un'immagine del 5 agosto 2013, acquisita alle 09:49:12
• Una seconda immagine del 18 luglio 2018, acquisita alle 09:46:23
• Un'ultima immagine del 21 luglio 2019, acquisita alle 09:47:10.
I dati provenienti da Landsat Collections Level-1 possono essere adeguati alle grandezze di riflettanza e/o radianza caratteristiche dello strato superiore dell'atmosfera, noto come Top of Atmosphere (TOA). Questa correzione richiede l'utilizzo dei coefficienti di riscalatura radiometrica inclusi nel file di metadati

fornito insieme al prodotto. Inoltre nello stesso file di metadati sono altresì contenute le costanti termiche indispensabili per la conversione dei dati riferiti alla banda termica in valori di temperatura (Anderson I., 2016).
Per ottenere la temperatura superficiale del terreno (Land Surface Temperature LST), è necessario calcolare, in un primo momento, la temperatura di luminosità (Brightness Temperature BT), utilizzando non solo la radianza spettrale delle bande TIR ma anche le costanti termiche, come riporta la formula (9) (Markham, 1986).

$$\text{BT:} \quad \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda}+1\right)} \qquad (9)$$

ove L_λ = Radianza spettrale della TOA
K_1 e K_2 = sono le costanti di conversione termica specifiche della banda (disponibili nel file di metadati dell'immagine Landsat 8)

Successivamente, utilizzando l'indice NDVI, come da formula (10) è stata estratta la percentuale di vegetazione (Proportion of Vegetation Pv) (Rouse et al., 1974).

$$\text{Pv:} \quad \left[\frac{NDVI-NDVImin}{NDVImax-NDVImin}\right]^2 \qquad (10)$$

Poi è stata ottenuta l'emissività del suolo (ε) (Van de Griend e Owe, 1993), così da calcolare, infine, la temperatura superficiale del terreno (Land Surface Temperature LST) applicando la seguente formula (11), suggerita da Stathopoulou e Cartalis (2007):

$$\text{LST:} \quad \frac{BT}{\left\{1+\left|\left[\frac{W\times BT}{P}\times \ln(\varepsilon)\right]\right\}} \qquad (11)$$

ove W = indica la lunghezza d'onda della radianza emessa

Come mostra la Figura 6, tramite i risultati della LST sono state ottenute le mappe delle temperature di superficie, per il set di dati considerato.

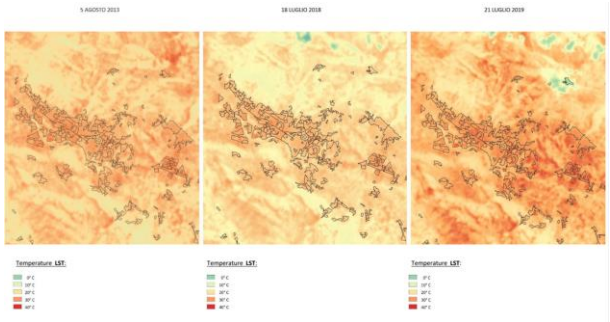

Figura 6. Temperatura LST (Land Surface Temperature LST) per le tre scene considerate: a destra il 5 agosto 2013, al centro il 18 luglio 2018 ed a sinistra il 21 luglio 2019..

Questa procedura è utile per identificare possibili isole di calore (o Urbani Heat Island UHI) nel territorio, ovvero aree urbane significativamente più calde rispetto alle zone rurali circostanti a causa delle attività antropiche. I nuovi dati ottenuti dalle immagini multispettrali sono stati quindi aggiunti al DBTR attraverso procedure di analisi spaziale in GIS, per aggiornare le informazioni raccolte nelle fonti regionali ufficiali.

3.3 Realizzazione ed utilizzo del CIM

Tutte le informazioni estratte dalle immagini multispettrali vengono aggiunte agli open data geografici, al fine di ottenere una mappa di base aggiornata per costruire il CIM. Inoltre, il Digital Elevation Model DEM, (realizzato tramite interpolazione tra i dati di altimetrici ricavati dal DBTR (D'Uva et al.2020); con dimensione delle celle di 10 m per lato e sistema di riferimento UTM-WGS84) è stato utilizzato per creare il sistema di riferimento delle superfici e ottenere il modello 3D dell'area di studio.
Tuttavia, come ribadito in precedenza il DBTR è un file datato prima del terremoto del 2009, quindi è stato aggiornato con i nuovi edifici e con le recenti trasformazioni avvenute nell'area, utilizzando i seguenti file:
- Per gli edifici preesistenti, uno shapefile scaricato dal sito http://wms.pcn.minambiente.it, poiché è più aggiornato rispetto al DBTR;
- Infine, uno shapefile nuovo creato appositamente per gli edifici mancanti con l'aiuto di OpenStreetMap (OSM).
Infine, sono stati studiati e inseriti altri dati provenienti da fonti ufficiali riguardanti il rischio idraulico, idrogeologico, pirologico e la microzonazione sismica del territorio e l'analisi dei vincoli e dei valori presenti nell'area di studio
Successivamente, tutte le informazioni istituzionali consultate e ottenute sono state "collegate" ai livelli appropriati, con un plugin specifico Grasshopper, nonché un linguaggio di programmazione visuale e di modellazione parametrica che viene eseguito all'interno dell'applicazione CAD (Computer Aided Design) di Rhinoceros 3D, che esporta i dati dallo strumento GIS e li importa in un modellatore tridimensionale, creando così un vero e proprio modello 3D della città e del territorio limitrofo aggiornato formato dall'integrazione di dati diversi. Il risultato sarà quindi un modello di progettazione urbana esteso (CIM), a cui possono essere associati diversi tipi di informazioni. Le figure 7 e 8 mostrano rispettivamente una panoramica del modello parametrico 3D con le caratteristiche geometriche e gli attributi qualitativi memorizzati nel database ed il CIM con una tabella riepilogativa con tutte le informazioni aggiunte.

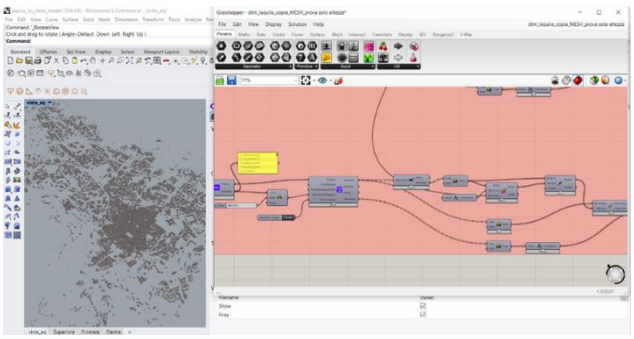

Figura 7. Panoramica del CIM, nel rettangolo giallo sono contenute le informazioni estratte dalle immagini multispettrali.

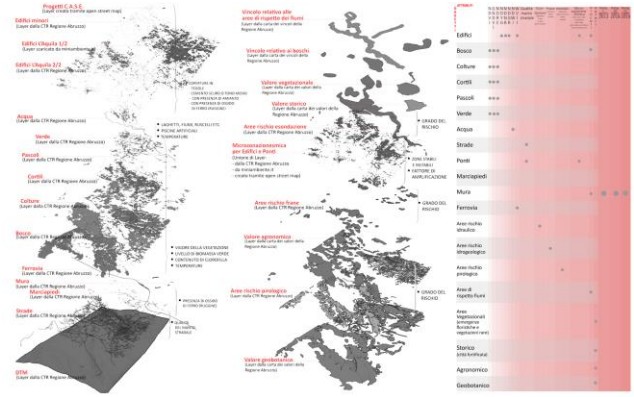

Figura 8. Il CIM e la tabella di riepilogo con le informazioni aggiunte a sinistra.

4. Risultati e conclusion

Questo articolo presenta una metodologia innovativa in grado di creare modelli avanzati per lo sviluppo futuro. Risulta evidente che le immagini satellitari hanno svolto un ruolo importante nell'individuare ulteriori informazioni da includere, insieme alle fonti aggiuntive. Infatti, è emerso che il potenziale del telerilevamento tramite immagini satellitari multispettrali è essenziale sia per approfondire e conoscere meglio l'area di studio sia per ottenere informazioni aggiornate in un breve periodo di tempo. È emerso come tutte le informazioni reperite sono confluite nel CIM, il quale permette il monitoraggio e la gestione di più aspetti contemporaneamente nell'area di studio. Ad esempio, l'indice NDNB relativo all'amianto rende possibile identificare e successivamente bonificare le aree che ne hanno necessità. Mentre l'uso delle informazioni relative alla LST può essere utile per migliorare e conseguentemente ridurre il cosiddetto effetto isola di calore, sempre più presente all'interno degli insediamenti urbani. Inoltre, l'NDVI può essere molto utile per una stima qualitativa preliminare di possibili nuove costruzioni e superfici impermeabili (ad esempio strade, marciapiedi, piazze, parcheggi) presenti nel territorio in tempo reale, contribuendo così all'aggiornamento della base di dati del DBTR. In aggiunta, Integrando diversi indici di vegetazione come il GNDVI e l'NDRE, è possibile ottenere informazioni più dettagliate sullo stato della vegetazione e ottenere ulteriori dati utili per gli sviluppi futuri. Ancora, l'NDWI è adatto per un possibile aggiornamento del DBTR con nuovi corpi idrici, come le piscine, elementi che possono essere utili in caso di incendi, come riportato in diversi studi. Un esempio di come funziona il sistema CIM è stato applicato nel caso di incendio in un dormitorio di Huazhong presso University of Science and Technology a Wuhan (Xun Xu et al., 2014). Il sistema CIM contiene informazioni sulla posizione geografica del campus, sugli edifici e sulla presenza di acqua nelle aree circostanti, importanti in caso di emergenza incendio, riducendo i tempi di intervento e apportando benefici. Infatti, nel caso di studio è stato dimostrato come il CIM sia utile per ridurre i tempi di intervento, percorrenza e l'approvvigionamento idrico in caso di incendio, perdite di gas, cortocircuiti e altri eventi.
In conclusione, l'insieme di informazioni estratte dalle immagini multispettrali consentirà il futuro monitoraggio di diversi aspetti delle aree in esame utilizzando nuove tecnologie digitali, come ad esempio il CIM. Quest'ultimo nonostante sia ancora agli inizi e richiede ulteriori studi, è chiaro che contribuirà a concepire nuovi modelli digitali all'avanguardia, i quali tengono conto del dinamicità e della specificità del territorio in grado di proporre soluzioni diversificate sulla base dei dati di partenza, mirando alle richieste precise e tempestive della città e del territorio ed offrendo la possibilità di seguirne l'evoluzione nel tempo.

Bibliografia

Anderson I. (2016), Converting Landsat 8 Thermal Band 10 to Temperature values, Hexagon Geospatial Community https://supportsi.hexagon.com/s/article/Converting-Landsat-8-Thermal-Band-10-to-Temperature-values?language=en_US (Accessed 02 December 2022).

Baptista G. M. de M., Teobaldo D. (December 2017), WorldView-2 sensor for the detection of hematite and goethite in tropical soils. DOI:10.1590/S0100-204X2017001200008

D'Uva D., Eugeni F. (2020) DTM to NURBS - A parametric approach to landscape modelling. Sustainability 2021, 13(4), 2379; https://doi.org/10.3390/su13042379

Dermais A. & Biagi L. (2002). Telerilevamento. Informazione territoriale mediante immagini da satellite. Milano: Casa editrice Ambrosiana.

Di Ludovico D., Properzi P. (2020). Una urbanistica sperimentale per una società post-urbana. In: (a cura di): Talia M., La città contemporanea. Un gigante dai piedi di argilla. p. 189-195, Roma-Milano:Planum Publisher, ISBN: 9788899237226, Torino, 15 novembre 2019

Di Ludovico, D., and D. Dominici. "How to combine the Smart City and the historic centre: suggestions from a case study." A set of good practices and recommendations for Smart City resilience engineering and evaluation. AIIC Publisher, Rome (2019): 36-45.

Dominici, D., Alicandro, M., Di Ludovico, D., Pascucci , . N., & Zollini, S. (2022). Multispectral satellite images to support the CIM (City Information Modeling) implementation. GEOmedia, 26(4).https://ojs.mediageo.it/index.php/GEOmedia/article/view/1888 (Accessed 31 August 2023).

European Space Agency (ESA), "WorldView-2 Mission." https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview-2 (Accessed 31 August 2023).

Fitzgerald, G., Rodriguez, D., O'Leary, G., 2010. Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index – the canopy chlorophyll content index (CCCI). Field Crops Res., 116, pp. 318-324.

GIS Crack, "How to Calculate Land Surface Temperature with Landsat 8 Images." https://giscrack.com/how-to-calculate-land-surface-temperature-with-landsat-8-images/ (Accessed 31 August 2025).

Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Merzlyak, M.N. (1996). Use of green channel in remote sensing of global vegetation from EOS–MODIS. Remote Sensing of Environment. Remote Sensing of Environment, Volume 58, Issue 3, 1996, Pages 289-298, ISSN 0034-4257, https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7.

Hamedianfar A., Shafri H. (July 2015), Detailed intra-urban mapping through transferable OBIA rule sets using WorldView-2 very-high-resolution satellite images.
DOI:10.13140/RG.2.1.1910.8963

Hashim N., Naharudin N., Saraf N.M., Halim M.A. (August 2019), Spectral Information Extraction from Worldview-2 Image for Urban Features Identification. Conference: 2019 IEEE 10th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC). DOI:10.1109/ICSGRC.2019.8837079

Kaplan, Gordana, Ugur Avdan, and Zehra Yigit Avdan. 2018. "Urban Heat Island Analysis Using the Landsat 8 Satellite Data: A Case Study in Skopje, Macedonia" Proceedings 2, no. 7: 358. https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05171

Markham, B. L. (1986). Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. Landsat Technical Notes, 1, 3-8.

Pascucci N. (2023). Metodologia CIM (City Information Modeling) per il progetto di rigenerazione della città dell'Aquila. InGENIO. https://www.ingenio-web.it/articoli/metodologia-cim-city-information-modeling-per-il-progetto-di-rigenerazione-della-citta-dell-aquila/

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., & Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancements and retrogradation. Texas A & M University: College Station, TX, USA.

Sobrino, J. A., & Raissouni, N. (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. International journal of remote sensing, 21(2), 353-366. https://doi.org/10.1080/014311600210876

Stamou A., Theodoridou I., Papadopoulos A. (April 2012), Study and Analysis of WorldView- 2 satellite Imagery for evaluating the energy efficiency of the urban area of Kalamaria, Greece. European Journal

Stathopoulou, M., & Cartalis, C. (2007). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. Solar Energy, 81(3), 358-368. https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.014

Stojanovski T. (2013), City information modeling (CIM) and urbanism: Blocks, connections, territories, people and situations. Simulation series. 45. 86-93

U.S. Geological Survey (USGS), "Using USGS Landsat Level-1 Data Product." https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product (Accessed 31 August 2025).

Van de Griend, A. A., & Owe, M. (1993). On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. International Journal of remote sensing, 14(6), 1119-1131. https://doi.org/10.1080/01431169308904400

Wolf, A. (2010). Using WorldView 2 Vis-NIR MSI Imagery to Support Land Mapping and Feature Extraction Using Normalized Difference Index Ratios. Digital Globe.

Xun Xu, Lieyun Ding, Hanbin Luo, Ling Ma (2014), From building information modeling to city information modeling. http://www.itcon.org/2014/17 (Accessed 31 August 2023)