

Telerilevamento e GIS per la valutazione e il monitoraggio delle isole di calore in ambiente urbano

Sabrina Adelfio (*), Caterina Enea (*), Giuseppe Bazan (**), Pietro Orlando (**)

(*) Università di Palermo, Scuola Politecnica, Dipartimento di Architettura, Viale delle Scienze, Edificio 14, Palermo
E-mail: sabrina.adelfio@gmail.com, eneakatia@libero.it

(**) Università di Palermo, Scuola Politecnica, Viale delle Scienze, Edificio 14, Palermo
E-mail: Giuseppe.bazan@unipa.it, pietro.orlando@unipa.it

Sommario

Le tecniche di analisi spaziale e di telerilevamento costituiscono uno strumento molto utile per la conoscenza e lo studio del fenomeno dell'isola di calore urbano (indicata anche come UHI, dall'acronimo inglese *Urban Heat Island*). Tra le molteplici cause che portano alla generazione dell'evento, nel presente studio, sono state approfondite quelle relative alle caratteristiche fisiche delle superfici e alla presenza delle diverse coperture di uso del suolo. Mediante l'utilizzo delle tecniche di telerilevamento è stato possibile elaborare delle carte di uso del suolo, poi messe a confronto con una termografia che ha permesso di rappresentare la temperatura dei corpi in esame, al fine di quantificare le variazioni di temperatura dovute all'aumento delle distanze dalla vegetazione. In particolare si vuole indagare la presenza del fenomeno nella città di Palermo, attraverso l'analisi di porzioni di territorio con caratteristiche morfologiche differenti.

Abstract

The techniques of spatial analysis and Remote Sensing represent an useful tool for the knowledge and the study of the Urban Heat Island phenomenon (English acronym UHI). In this study, among the different causes that lead to the generation of the event, those regarding physical features of the surface and the presence of different land use/cover such as: the high cover of urban areas and the lack of green areas have been examined. The Remote Sensing techniques allow to create maps of the land use/cover, then, in order to estimate the different in temperature due to the distance to the vegetation, the temperature of the bodies already tested have been compared with a thermal map. In detail the aim of the research is to examine the presence of the phenomenon in Palermo, through the analysis of portion of soil with different morphological features.

Introduzione

Negli ultimi secoli l'aumento demografico mondiale e la crescita incontrollata delle città hanno causato significativi cambiamenti del territorio da parte dell'uomo. Una delle conseguenze provocate da questa trasformazione è la formazione dell'UHI. Questa si presenta come un evento microclimatico che si verifica nelle aree urbanizzate e consiste in un notevole aumento della temperatura nell'ambito urbano rispetto alla periferia della città e, in particolare, alle aree rurali circostanti (Oke, 1973). Nonostante il fenomeno sia noto almeno dal XIX secolo, solamente negli ultimi decenni ha suscitato l'interesse del mondo scientifico, divenendo una problematica su cui i pianificatori urbani stanno ponendo una grande attenzione. Gli studi finora effettuati ne distinguono tre tipologie:

- ❖ Isola di calore atmosferica (*Atmospheric UHI - AUHI*), che si distingue ulteriormente in:
 - ❖ Isola di calore dello strato limite urbano, situato al di sopra dell'altezza media degli edifici (*Urban Boundary Layer - UBL*);

- ❖ Isola di calore dello strato della copertura urbana, ubicato sotto l'altezza media degli edifici (*Urban Canopy Layer - UCL*);
- ❖ Isola di calore di superficie o epidermica (*Surface UHI – SUHI*);
- ❖ Isola di calore del sottosuolo (*Subsurface UHI*).

Questi diversi tipi di isola di calore sono certamente correlati, infatti l'interazione tra il *Boundary Layer*, il *Canopy Layer* e il *Surface Layer* genera o meno la presenza sopra la città di un'isola di calore. Tuttavia è importante distinguerli, poiché differiscono per cause, strumenti di misurazione e dinamiche temporali. Le isole di calore atmosferiche si manifestano in prevalenza di notte e possono essere negative di giorno, viceversa quelle di superficie raggiungono la massima intensità durante le ore diurne. Per dedurre con sufficiente precisione la temperatura superficiale delle coperture al suolo è stato utilizzato il Telerilevamento Termico (*Thermal Remote Sensing - TRS*), effettuato con sensori che acquisiscono informazioni nella sottobanda dell'infrarosso termico. Il TRS permette, dunque, di misurare la quantità di radiazione elettromagnetica emessa dalla superficie terrestre nelle lunghezze d'onda che appartengono alla regione dell'infrarosso termico. In seguito, attraverso l'utilizzo integrato delle tecnologie di telerilevamento implementate in ambiente GIS, è stato possibile analizzare le caratteristiche della struttura urbana e, in particolare, comprendere come variano le temperature all'aumentare della distanza dalle aree verdi.

Area di studio

La città di Palermo si trova ad una latitudine di 38°06'56"N e longitudine di 13°21'41"E, con un'altitudine di 14 m s.l.m. Il Comune si estende per una superficie pari a 160,59 Km² con una popolazione di 678 492 abitanti. La città è caratterizzata da un clima temperato delle medie latitudini con estati asciutte e calde e inverni freschi e piovosi. Nell'analisi condotta è stata presa in considerazione una strisciata corrispondente alla zona Ovest di Palermo delimitata a nord dalla borgata marinara di Mondello e a sud dalla valle del fiume Oreto.



Figura 1 – Strisciata immagine MIVIS 2002.

La scelta dell'area è stata orientata dalla presenza di differenti tipologie di tessuto urbano, al fine di verificare il comportamento delle temperature al variare delle differenti coperture di uso del suolo. Sono, infatti, presenti aree consolidate ad alta densità, con tessuto diffuso a media e bassa densità e aree verdi di notevole estensione. Tra le infrastrutture presenti, Viale della Regione Siciliana è quella che segna maggiormente il territorio, attraversandolo da nord a sud. Questa, se da un lato rappresenta un fondamentale elemento di decongestionamento del traffico urbano, dall'altro provoca un inquinamento acustico e atmosferico tale da ridurre la qualità della vita e della salute dei cittadini. Tale impatto viene testimoniato da dati relativi alle emissioni di CO (g/Km) ricavate con l'applicazione del metodo COPERT II (*COmputer Programme to calculate Emission from Road Traffic*) nell'ambito delle attività del progetto CORINAIR (COoRdination Information AIR) (Corriere, 2011). Da qui la necessità di eseguire analisi più approfondite con l'obiettivo di quantificare le variazioni di temperatura dovute all'aumento delle distanze dalla vegetazione.

Materiali e metodologia

L'immagine è stata acquisita dal sensore MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) che opera con un'elevata risoluzione spettrale e spaziale. I dati sono stati rilevati con un volo effettuato sulla città di Palermo nel luglio del 2002, intorno alle ore 12, ora che ha permesso

di ridurre le zone d'ombra data la posizione zenitale del sole. L'immagine è stata calibrata radiometricamente e corretta geometricamente al fine di eliminare le distorsioni geometriche e radiometriche dovute al sistema di acquisizione, al mezzo di propagazione del segnale, all'angolo di ripresa e all'effetto della curvatura terrestre. Successivamente l'immagine MIVIS è stata georeferenziata nel sistema cartografico di riferimento WGS84 UTM33.

Per elaborare l'immagine in esame si è fatto uso del software ENVI (*Environment for Visualizing Images*), realizzato dalla *Research Systems Inc.*, nella versione 4.3. Questa è stata sottoposta inizialmente ad una fase di calibrazione mediante l'utilizzo del metodo empirico lineare che rimuove approssimativamente l'irradianza solare, l'assorbimento atmosferico, gli effetti di *scattering* e permette di passare da valori di radianza a valori di riflettenza. A tal proposito si è fatto riferimento ad alcune misurazioni condotte su alcune porzioni di asfalto, messo in opera da poco, e su della ghiaia.

Sono state compiute molteplici elaborazioni con le tecniche di classificazione *pixel-based*, utilizzando i differenti algoritmi implementati nel software ENVI, al fine di valutare e confrontare le mappe tematiche risultanti dalle differenti metodologie di classificazione. Si è potuto constatare che il risultato qualitativamente migliore e più rappresentativo per il territorio osservato è stato ottenuto con l'algoritmo SAM. Questo richiede come input un numero di aree di prova (*training areas*) o spettri di riferimento, derivanti da specifiche ROI (*Region of Interest*). Nel presente studio gli spettri input sono stati ricavati da ROI individuate nella scena, dove la metodologia seguita si è avvalsa di un'analisi visiva di sintesi additive in RGB. Ogni ROI è costituita da raggruppamenti di pixel il più possibile omogenei e rappresentativi, che serviranno ad addestrare l'algoritmo di classificazione affinché associ ogni pixel dell'immagine ad una data categoria. Le ROI utilizzate per la classificazione fanno riferimento a 5 classi di copertura del suolo (Asfalto, Vegetazione, Edifici con Tetto bianco, Edifici con Tetto rosso) più la classe Ombra. La distinzione tra Tetti rossi e Tetti bianchi è servita non solo ad individuare la tipologia di uso del suolo, ma anche ad analizzare le caratteristiche termiche dei materiali utilizzati. Anche la classe Ombra, fornisce più che informazioni relative all'uso del suolo, informazioni termiche, in quanto temperature inferiori nella classe dell'asfalto o dell'urbanizzato non sarebbe state altrimenti spiegate.

ROI NAME	COLOR	PIXELS	POLYGONOS	FILL	ORIEN	ORIENT
Ombra	Sea Green	38	3/38	Solid	45	0.10
Asfalto	Magenta	186	4/186	Solid	45	0.10
Vegetazione	Green	472	12/147	Solid	45	0.10
Edifici con tetto bianco	Cyan	60	5/60	Solid	45	0.10
Edifici con tetto rosso	Red	30	3/30	Solid	45	0.10
Suolo nudo	Yellow	34	2/34	Solid	45	0.10

Figura 2 – ROI strisciata immagine MIVIS 2002.

Nel processo decisionale di classificazione sono state utilizzate le bande da 1 a 32 e da 93 a 102. Le bande centrali sono state escluse al fine di evitare sovrapposizioni tra le firme spettrali, con conseguenti errori di classificazione dei pixel. Attraverso il processo di classificazione si passa da un'immagine composta da *Digital Number* ad un'immagine di classi corrispondenti alle categorie di usi del suolo. Nonostante la classificazione ottenuta mediante l'utilizzo dell'algoritmo SAM sia stata la migliore, si è potuto riscontrare come una medesima classe tematica fosse al suo interno molto variegata e risultasse costituita da classi spettrali differenti fra loro. L'errore che può essere commesso durante il processo di classificazione è quello di assegnare un pixel ad una categoria o classe diversa da quella a cui appartiene. Per avere contezza dell'errore commesso, si ricorre alla "verifica di accuratezza" che prevede la realizzazione di una matrice di confusione, ovvero una matrice quadrata in cui vengono riportati i risultati dal confronto tra la mappa tematica prodotta in

seguito alla classificazione e la verità di riferimento. La matrice ha dimensione $q \times q$, dove q è il numero delle classi o categorie nella mappa; le colonne rappresentano i dati di riferimento (verità), mentre le righe rappresentano i dati della classificazione. Il software ENVI può calcolare una matrice di confusione utilizzando la *ground true image* oppure le *ground true ROIs*. Nel presente lavoro è stato utilizzato il secondo metodo che prevede la realizzazione di ulteriori ROI di verità a terra, che saranno confrontate con le ROI utilizzate per la classificazione delle immagini. Il prodotto dell'analisi comprende una valutazione di accuratezza totale in percentuale (*Overall Accuracy*), data dal rapporto tra i pixel classificati correttamente e i pixel totali; il coefficiente kappa; la matrice di confusione, nella cui diagonale vengono rappresentati i pixel classificati correttamente; gli errori di commissione (percentuale di pixel in più nella classe); gli errori di omissione (percentuale di pixel lasciati fuori dalla classe di appartenenza); le precisioni *producer and user* (utente e produttore) per ogni classe. La precisione *producer* è la probabilità che un pixel nell'immagine classificata venga assegnato alla classe x dato che la classe di verità a terra è x . La precisione *user* è la probabilità che la classe di verità a terra sia x dato che il pixel è stato assegnato alla classe x nella classificazione.

Di seguito si riportano la verifica di accuratezza dell'intera strisciata presa in esame.

Overall Accuracy: (617/870) 70,9195%; Coefficiente Kappa: 0,6547

CLASS	TETTI ROSSI	SUOLO NUDO	ASFALTO	OMBRA	TETTI BIANCHI	VEGETAZIONE	TOTALE
Unclassified	0	0	0	0	69	0	69
Tetti rossi	127	0	0	0	0	0	127
Suolo nudo	40	111	0	0	0	0	151
Asfalto	0	54	46	0	0	0	100
Ombra	0	35	55	108	0	0	198
Tetti bianchi	0	0	0	0	50	0	50
Vegetazione	0	0	0	0	0	175	175
Totale	167	200	101	108	119	175	870

Figura 3 – Ground Truth (pixels).

CLASS	COMMISSION %	OMISSION %	COMMISSION (pixels)	OMISSION (pixels)
Tetti rossi	0	23,95	0/127	40/167
Suolo nudo	26,49	44,50	40/151	89/200
Asfalto	54,00	54,46	54/100	55/101
Ombra	45,45	0	90/198	0/108
Tetti bianchi	0	57,98	0/50	69/119
Vegetazione	0	0	0/175	0/175

Figura 4 – Errori di commissione e omissione.

CLASS	PROD. ACC. %	USER. ACC. %	PROD. ACC. (pixels)	USER. ACC. (pixels)
Tetti rossi	76,05	100,00	127/167	127/127
Suolo nudo	55,50	73,51	111/200	111/151
Asfalto	45,54	46,00	46/101	46/100
Ombra	100,00	54,55	108/108	108/198
Tetti bianchi	42,02	100,00	50/119	50/50
Vegetazione	100,00	100,00	175/175	175/175

Figura 5 – Precisioni utente e produttore.

Si è cercato a questo punto di migliorare i risultati fin qui ottenuti eseguendo un'operazione di filtraggio che consiste nell'eliminare i pixel che in realtà non appartengono alla classe corretta. Tale operazione sfrutta, per determinare il valore del pixel di destinazione, il valore di alcuni pixel ad

esso più vicini. Nel caso specifico si è scelto un quadrato di 3x3 pixel in cui quello in esame si trova in posizione centrale. In questo modo è stato possibile risolvere le problematiche connesse alla presenza di pixel isolati presenti in altre classi.

Successivamente l'immagine classificata è stata importata in ambiente GIS come *shapefile*, elaborata con il software ArcGIS 10.0 e ulteriormente corretta, in quanto sono state riscontrate anomalie nella classificazione del suolo nudo, erroneamente individuato come Edifici con tetto rosso. È stata quindi fatta una *query* selezionando tutti i poligoni classificati come Tetti rossi che presentavano una superficie maggiore di 5000 mq, per verificare di volta in volta la reale classe di appartenenza. Si sono riscontrati, inoltre, degli errori relativi alla classe dell'Asfalto che spesso presentava al suo interno porzioni rocciose di Suolo nudo; anche queste sono state di volta in volta verificate e corrette. Non avendo, inoltre, inserito all'interno delle ROI la classe Acqua il mare viene classificato come Ombra. In questa fase di correzione, pertanto, il mare è stato ritagliato dall'immagine in modo da non tenerne conto nelle successive elaborazioni. Pur non essendo l'Ombra, una tipologia di copertura di uso del suolo, è stato necessario mantenerla come classe a sé, in quanto le zone d'ombra creavano dei problemi nella classificazione. Sono state così ottenute le immagini finali, sulle quali sono state calcolate le percentuali di coperture di uso del suolo. Nella strisciata si ha il 27,80% di Suolo nudo, il 22,53% di Vegetazione, il 19,52% di Ombra, il 13,03% di Asfalto, il 9,52% di Edifici con tetto rosso e il 7,60% di Edifici con tetto bianco.



Figura 6 – Classificazione finale – Strisciata immagine MIVIS 2002.

Dall'immagine MIVIS è stata poi realizzata una termografia prendendo in considerazione le bande dell'infrarosso termico (dalla 93 alla 102 corrispondenti alle lunghezze d'onda comprese tra 8,2 e 12,7 μm). In particolare estraendo la banda 93 (con lunghezza d'onda compresa tra 8,20 e 8,60 μm) è stato possibile ricavare valori di emissività delle superfici, ossia valori di temperatura. Le informazioni ottenute con la realizzazione dell'immagine termica sono servite a comprendere come le componenti del paesaggio urbano influenzino le dinamiche della radiazione termica e come vi sia dunque una forte correlazione tra caratteristiche delle superfici urbane e temperatura. Per rappresentare le variazioni di temperatura è stata utilizzata una graduazione di colori che va dal verde delle zone più fredde al rosso delle zone più calde. Importando le immagini in ambiente GIS è stato possibile calcolare le temperature medie di ogni classe di uso del suolo. Nell'intera strisciata la temperatura media più elevata si ha per il Suolo nudo con 36,99°, seguono gli Edifici con tetto rosso e l'Asfalto con 36,02°, gli Edifici con tetto bianco con 34,47°, la Vegetazione con 30,81° e per ultima l'Ombra con 28,99°.

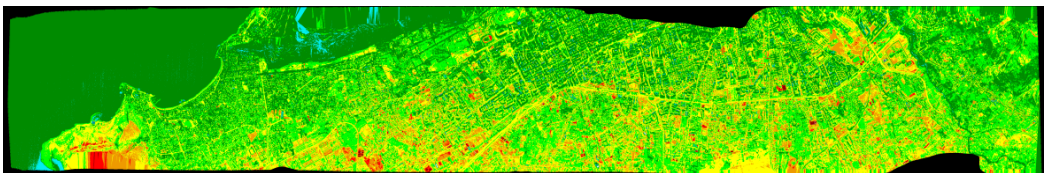


Figura 7 – Termografia – Strisciata immagine MIVIS 2002.

Nonostante il Suolo nudo sia caratterizzato da una superficie permeabile in cui si ha il processo di evapotraspirazione, l'assenza totale di vegetazione e di zone d'ombra lo rende la superficie più calda. Gli Edifici con tetto rosso hanno una temperatura più elevata rispetto a quelli con Tetto

bianco, in quanto superfici con vernici o materiali chiari riflettono gran parte della radiazione proveniente dal sole, assorbendone quantità irrisorie. Inoltre, un tessuto a bassa densità intervallato da vegetazione può contribuire all'abbassamento delle temperature; tuttavia anche il tessuto consolidato presenta temperature inferiori a causa della formazione di zone d'ombra tra gli edifici. L'asfalto delle strade e dei grandi parcheggi crea delle vaste superfici impermeabilizzate e assorbe una quantità notevole di radiazione, a causa del colore scuro dei manti bituminosi. Al contrario i tetti bianchi, per le loro proprietà riflettenti, e la vegetazione presentano temperature inferiori. Quest'ultima, infatti, caratterizza i suoli permeabili favorendo il processo di evapotraspirazione e garantisce la presenza di zone d'ombra. Le informazioni ottenute dall'analisi termica hanno confermato la presenza di elevate temperature in corrispondenza di forti emissioni di CO₂, nello specifico l'attenzione è stata rivolta su due tratti stradali di Viale della Regione Siciliana, quantificando le variazioni di temperatura dovute all'aumento delle distanze dalla vegetazione. Al fine di verificare il comportamento delle temperature in aree con tipologie di tessuto urbano a bassa densità edilizia e in assenza di forti emissioni di CO₂, sono state prese in considerazione due porzioni di territorio caratterizzate dalla presenza di aree verdi. L'analisi prevede innanzitutto di estrapolare la vegetazione dalla classificazione effettuata precedentemente e importarla in ambiente GIS, dove saranno costruiti cinque buffer con larghezza di 3 m attorno alle aree verdi, aumentando progressivamente la distanza da queste. Il primo parte direttamente dal limite esterno della vegetazione (si indicherà in seguito a una distanza di 0 m), il secondo da una distanza di 3 m, il terzo di 6 m, il quarto di 12 m e infine l'ultimo di 18. Successivamente i buffer così costruiti vengono intersecati con la classificazione, al fine di calcolare le temperature medie di ogni classe all'interno di ogni buffer, per comprenderne il comportamento all'aumentare delle distanze dalla vegetazione. Sotto si riportano le variazioni di temperatura in C° (asse Y) rapportate all'aumento delle distanze in m dalla vegetazione (asse X).

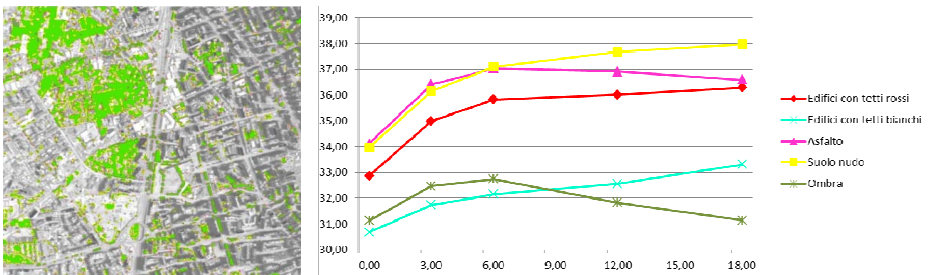


Figura 8 – Variazioni di temperatura a diverse distanze dalla vegetazione per classi di copertura di uso del suolo – Immagine 1.

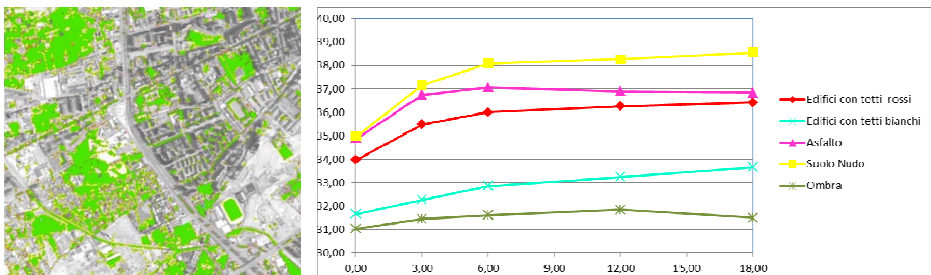


Figura 9 – Variazioni di temperatura a diverse distanze dalla vegetazione per classi di copertura di uso del suolo – Immagine 2.

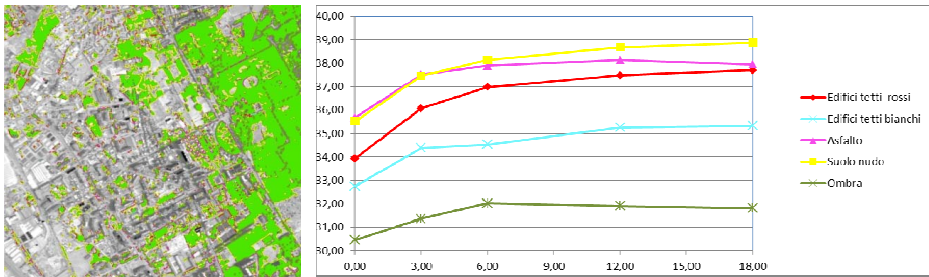


Figura 10 – Variazioni di temperatura a diverse distanze dalla vegetazione per classi di copertura di uso del suolo – Immagine 3.

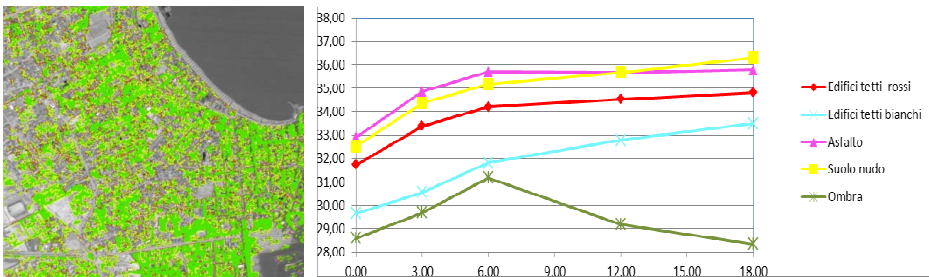


Figura 11 – Variazioni di temperatura a diverse distanze dalla vegetazione per classi di copertura di uso del suolo – Immagine 4.

Nelle immagini si può notare come le classi di uso del suolo presentino un cambiamento repentino delle temperature alle distanze di 0, 3 e 6 m dalla vegetazione, mentre le variazioni diventano meno evidenti dai 6 ai 18 m, ad eccezione della classe Ombra. In particolare le temperature di tutte le classi tendono ad innalzarsi all'aumentare della distanza dalla vegetazione, ad esclusione delle classi Asfalto e Ombra. Nello specifico si può notare come tutte le classi, ad esclusione dell'Ombra, presentino un andamento logaritmico con coefficiente di determinazione (più comunemente R^2) che varia da un minimo di circa 0,70 per l'Asfalto ad un massimo di 0,98 per il Suolo nudo. Si può scrivere, quindi, la seguente equazione:

$$\Delta T = k (\ln x_i - \ln x_{i-1})$$

Dove ΔT rappresenta la differenza di temperatura tra il buffer nella distanza x_i e il precedente x_{i-1} ; k è una costante. Pertanto è possibile determinare la differenza di temperatura in funzione della distanza dalla vegetazione, in quanto a valori bassi di ΔT corrispondono distanze ridotte tra le diverse piantumazioni di verde; viceversa fissato ΔT è possibile quantificare le distanze tra le diverse piantumazioni. Tuttavia la temperatura media dell'intero buffer non dipende più soltanto dalla distanza dalla vegetazione ma anche dalle percentuali di copertura di ogni classe presente. Inoltre, come si evince dalle ultime due immagini e grafici, una distribuzione diffusa nel territorio di aree verdi (Immagine 4) favorisce un significativo abbassamento delle temperature di circa 2 gradi, rispetto alla presenza della stessa quantità di verde (circa il 50% per entrambe le immagini), concentrato in determinate aree (Immagine 3)

Conclusioni

Le aree urbane rappresentano gli ambiti più a rischio per i cambiamenti climatici, in quanto laddove è più alta la densità abitativa maggiori sono i rischi ambientali e sociali. Le città dovranno

contribuire ad adattarsi al cambiamento climatico e allo stesso tempo mitigarlo, adottando politiche che affrontino le due problematiche in maniera integrata. Mentre l'adattamento richiede strategie, politiche e azioni specifiche a livello locale per aumentarne la resilienza al cambiamento, la mitigazione è un'azione globale che richiede sostanziali cambiamenti del comportamento individuale ed importanti innovazioni tecnologiche. Pertanto se gli interventi vengono applicati sul singolo edificio si ha come conseguenza una riduzione della temperatura delle superfici delle singole abitazioni, consentendo di ridurre il consumo di energia elettrica. Ma se le azioni di mitigazione vengono effettuate da molte strutture, le numerose riduzioni di temperatura locale e di emissioni di calore antropogenico provocano una diminuzione della temperatura di tutta la città, apportando un vantaggio per l'intera collettività e di conseguenza una migliore qualità dell'aria. Fondamentale risulta quindi contribuire alla conoscenza dei fenomeni in atto ed alle possibilità di adattamento che i centri urbani possono attuare. Nel presente studio il telerilevamento si è rivelato una tecnica eccellente per la rilevazione delle temperature, confermando che la presenza di superfici asfaltate, la continua cementificazione e l'inquinamento atmosferico sono le principali cause della generazione di calore urbano. Da qui la necessità di attuare interventi di *greening* urbano con un'ottica multiobiettivo che affianchi alle funzioni termoregolatrici, anche quelle di ottimizzare la risposta idrologica, apportando conseguenze positive sotto il profilo ambientale, ecologico ma anche estetico, sociale e culturale.

Bibliografia

- Arnfield A. J. (2003), *Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island*, in "International journal of climatology" 23
- Brivio P. A., Lechi G., Zilioli E. (2006), *Principi e metodi di Telerilevamento*, Città Studi Edizioni
- Corriere F. (2011), *Impianti ottometrici e infrastrutture puntuali per i trasporti*, FrancoAngeli
- Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University (2009), *Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China*, in "Ecological Complexity" 6
- Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University and Department of Geoinformatics, Faculty of Informatics, Mahasarakham University (2012), *Urban heat island monitoring and analysis by using integration of satellite data and knowledge based method*, in "International Journal of Development and Sustainability, Vol. 1 Number 2
- Institute of Space and Earth Information Science, Yuen Yuen Research Centre for Satellite Remote Sensing, The Chinese University of Hong Kong (2011), *Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong*, in "Remote Sensing" 3
- Key Laboratory of Soil & Water Conservation and Desert Prevention, Ministry of Education, Beijing Forest University (2008), *Study on the distribution changes of urban heat island based on heat-greyness feature space*, in "The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences" Vol. XXXVII. Part B7
- Oke T. R. (1973), *City size and the urban heat island*, Atmospheric Environment, 7.
- Oke T. R. (1995), *The heat island characteristics of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects*, in "Wind Climate in Cities"
- Oke T.R. (1997), *Urban Climates and Global Environmental Change*, in "Thompson, R.D. and A. Perry (eds.) Applied Climatology: Principles & Practices", New York
- Rizwan, Ahmed Memon, Leung Dennis Y.C. e Chunho Liu (2008), *A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*, in "Journal of Environmental Sciences" 20
- Stanganelli M., Soravia M. (2012), *Consumo energetico e caratteristiche della morfologia urbana*, in "Planum. The Journal of Urbanism", n. 25, vol 2
- State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing (LIESMARS) and Marine Science and Environmental Studies, University of San Diego (2006),