

Valutazione della dispersione termica urbana con metodi satellitari

Mauro Caprioli (**), Ugo Falchi (*), Mario Scarano (*), Maria Zicarelli (*)

(*) Università degli Studi di Napoli Parthenope, Centro Direzionale di Napoli – isola C4, 80143, Napoli
(mario.scarano, ugo.falchi, maria.zicarelli)@uniparthenope.it

(**) Politecnico di Bari, via Orabona n.4, 70124, Bari
(m.caprioli@poliba.it)

Sommario

Così come dimostrato dal fenomeno delle Urban Heat Island (Oke, 1973), le attività antropiche, le variazioni dell'uso del suolo, la progressiva permeabilizzazione con conseguente riduzione dell'evapotraspirazione, fanno sì che la città presenti valori di temperatura superiori rispetto all'intorno rurale. Questo studio si propone di analizzare le relazioni che intercorrono fra la temperatura e una serie di parametri urbani (densità urbana, verde, materiali, altezza degli edifici, ecc.) in modo da tener conto di questi aspetti per la pianificazione di interventi urbanistici ed energetici che mirano alla mitigazione del fenomeno climatico urbano descritto.

La ricerca si suddivide, dunque, in due binari paralleli: *l'analisi fisico-morfologica* della città di Bari, per la quale si utilizzano in ambiente GIS i dati *Land Use* e *CTR* forniti dal SIT della Regione Puglia, per lo studio e l'individuazione dei parametri suddetti; *l'analisi termica* della stessa area utilizzando le bande termiche delle immagini satellitari ASTER.

Dai primi risultati emersi è possibile evidenziare come l'influenza reciproca dei parametri è molto articolata e non descrivibile con un modello semplificato, ma occorre un'analisi multivariata che permetta di rappresentare le interazioni delle variabili in modo accurato.

Abstract

As demonstrated by the phenomenon of the Urban Heat Island (Oke, 1973), human activities, changes in land use, progressive permeabilization with the consequent evapotranspiration reduction, make the city temperature values higher than in the countryside. This study aims to analyze the relationships between temperature and a series of urban parameters (urban density, green, materials, etc.) in order to take account of these aspects in the urban planning to mitigate urban climatic phenomenon.

The research is so divided in two parallel tracks: the analysis of the physical structure of the city of Bari, for the study and the identification of the parameters above, and the thermal analysis of the same area using thermal bands of ASTER satellite imagery.

From the initial results can be highlighted as the mutual influence of the parameters is rather complex and can't be described with a simplified model, but it takes a multivariate analysis that allows to represent the interactions of the variables in an accurate manner.

Introduzione

L'interesse crescente nei confronti del benessere termico e, più in generale, del cosiddetto *comfort urbano*, ha favorito l'articolarsi di ricerche e analisi finalizzate alla comprensione e all'individuazione di processi capaci di influenzare e mitigare il clima urbano attraverso interventi strategici. In letteratura sono presenti numerosi studi aventi come oggetto l'analisi termica urbana (Arnfield, 2003; Voogt, Oke, 2003; Sobrino, 2004; Santamouris, 2007), ma sono ancora rade le ricerche che, oltre ad indagare le cause del fenomeno dell'UHI, ne propongano delle strategie di

intervento per la mitigazione (Greater London Authority, 2006). Il presente studio si propone, dunque, di muoversi in tale direzione.

Lo stato attuale delle conoscenze si può sintetizzare in tre punti fondamentali.

Innanzitutto alcuni studi (Stewart, 2007) hanno dimostrato come un terzo delle ricerche in tale ambito non fornisce una descrizione delle caratteristiche dei luoghi, che vengono classificati in due sole categorie: “area urbana” e “area periurbana”. Gli altri due terzi forniscono una rappresentazione dei luoghi solo qualitativa, definendo genericamente all’interno della città aree omogenee, per es. residenziali, industriali, rurali, agricole, ecc. (Voogt, Oke, 2003; Stewart et al., 2009; Ellefsen, 1991).

In secondo luogo occorre sottolineare come in letteratura siano presenti numerosi tentativi di individuazione di parametri urbani di riferimento per lo studio della temperatura (Davenport et al., 2000; Baklanov et al., 2004), ma mancano metodologie generalizzate che permettano di applicare lo stesso modello di analisi a differenti casi di studio ottenendo risultati confrontabili.

Terzo aspetto da considerare è il dato termico. L’analisi riguarda un territorio di notevole estensione; per tale motivo l’unico strumento a disposizione che permette di indagare su una scala così vasta è il dato da satellite. Questo porta, tuttavia, ad una serie di noti inconvenienti. Le immagini satellitari ASTER nel termico hanno una risoluzione geometrica pari a 90 m: in un pixel di tale estensione potrebbero essere racchiuse – e dunque mescolate – informazioni appartenenti a superfici anche molto diverse. Al contrario però, si può far affidamento su ben 5 bande nel *thermal infrared* (TIR), che consentono una migliore approssimazione della determinazione dell’emissività ϵ . Il risultato delle analisi risulta essere comunque troppo grossolano, anche se ugualmente utile per indagini su vasta scala. Per una sperimentazione adeguata occorrerebbe disporre di immagini aeree nell’infrarosso termico, ma tali risorse sono rare e costose, soprattutto se l’inquadramento si sviluppa su un’area così estesa.

Dati e metodologia

Come caso di studio è stata scelta la città di Bari per la particolare presenza di aree con caratteristiche urbane e morfologiche omogenee, facilmente riconoscibili e classificabili, che dunque si prestano in modo ottimale per la definizione dei parametri urbani di riferimento.

Per l’analisi fisico-morfologica è stato utilizzato il software ArcGIS, avvalendosi dei dati *CTR* e *Land Use* ottenuti dal Sistema Informativo Territoriale della Regione Puglia.

Per l’analisi termica sono state utilizzate una serie di sette immagini ASTER diurne acquisite in un lasso di tempo che va da Luglio 2001 al Luglio 2006, e il software ENVI per le elaborazioni.

Di seguito verranno presentate le due metodologie. Prima di descrivere le varie fasi dell’analisi fisico-morfologica, occorre fare alcune premesse per sottolineare la necessità di una tale indagine. La superficie urbana è notevolmente eterogenea a causa della presenza di edifici e di aree impermeabili che hanno proprietà, come albedo ed emissività, differenti rispetto al suolo e alla vegetazione. Anche l’orientamento prevalentemente verticale dell’edificato altera il trasferimento dell’energia radiante. Tutto questo rende difficile la correlazione fra l’andamento della temperatura e le caratteristiche della superficie analizzata (Baklanov et al., 2004), a meno di riferirsi a parametri omogenei che si ripropongono costantemente nella gran parte dei casi di studio.

In letteratura sono proposti numerosi esempi di classificazione; in (Ellefsen, 1991) si propone di utilizzare parametri come la disposizione del costruito, i materiali, le caratteristiche meteorologiche; la WMO propone, invece, di riferirsi a sette *Urban Climate Zones* (WMO, 2008; Oke, 2004); in (Feherenbach et al., 2001) viene proposta una classificazione automatica tramite analisi di immagini satellitari; ciò che emerge è che non esiste uno schema di classificazione universale (Baklanov et al., 2004). Tuttavia è possibile individuare un set di parametri – legati alla superficie – che possono essere relazionati al fenomeno fisico che si vuole analizzare.

Questi sono suddivisibili in tre categorie: *Urban Cover*, *Three dimensional structure*, *Urban Materials*.

Nella prima categoria (figura 1) si individuano tre parametri che descrivono la *presenza di edificato, di verde e di superfici impermeabili*; questi sono facilmente calcolabili reperendo i dati da sistemi informativi territoriali, foto aeree o immagini satellitari.




(a) Urban Cover			descrizione	valori tipici
λ_P	Indice d'area piana degli edifici		rapporto tra l'area piana coperta da edifici e l'area piana totale	Urbano: 35% - 65% Suburbano: 15% - 40%
λ_V	Indice d'area piana della vegetazione		rapporto tra l'area piana coperta da vegetazione (o terreno nudo) e l'area piana totale	Urbano: 0% - 35% Suburbano: 35% - 70%
λ_I	Indice d'area piana delle superfici impermeabili		rapporto tra l'area piana coperta da superfici impermeabili (esclusi edifici, strade parcheggi) e l'area piana totale	Urbano: 20% - 50% Suburbano: 10% - 40%

Figura 1. Tabella dei parametri "Urban Cover"; rielaborata a partire da (Baklanov et al., 2004).

La seconda categoria (figura 2) contiene parametri che descrivono la *configurazione morfologica* dell'agglomerato urbano; anche in questo caso, è possibile ricavare i dati necessari al calcolo da modellazioni tridimensionali della città o dal SIT.








(b) Three dimensional structure			descrizione	valori tipici
z_H	altezza media degli edifici		media pesata dell'altezza di tutti gli edifici, calcolata utilizzando come pesi l'area degli edifici stessi	Urbano: 4 - 8 m Suburbano: 8 - 20 m Edifici alti: > 20 m
λ_F	rapporto di esposizione frontale (o indice d'area frontale)		rapporto fra l'area frontale totale degli edifici e l'area totale della superficie piana (inclusando la vegetazione può quadruplicarsi)	Urbano: 0,1 - 0,3 Suburbano: 0,1 - 0,6 Edifici alti: > 0,4
λ_C	rapporto di esposizione completa (o indice d'area totale)		rapporto tra l'area della superficie totale tridimensionale e l'area totale della superficie piana	Urbano: 1,3 - 1,8 Suburbano: 1,5 - 2,0 Edifici alti: > 2
V_F	volume degli edifici normalizzato		rapporto tra il volume degli edifici e l'area totale della superficie piana	Urbano: 1 - 3 m ³ /m ² Suburbano: 3 - 15 m ³ /m ² Edifici alti: > 15 m ³ /m ²
D_x	distanza caratteristica tra elementi		distanza tra i centroidi degli edifici $D_x = L_x + W_x$	
W_x	larghezza caratteristica dei canyon urbani		ampiezza media dello spazio libero tra gli edifici	
λ_S	rapporto di verticalità dei canyon urbani		rapporto tra altezza e larghezza dei canyon $\lambda_S = z_H / W_x$	Urbano: 0,1 - 0,5 Suburbano: 0,5 - 2 Edifici alti: > 2
L_x	larghezza media degli edifici			
λ_B	rapporto tra altezza e larghezza degli edifici		$\lambda_B = z_H / L_x$	Urbano: < 1 Suburbano: 1 - 3 Edifici alti: > 2
ψ_S	Sky view factor			Urbano: 0,3 - 0,6 Suburbano: 0,6 - 0,9

Figura 2. Tabella dei parametri "Three dimensional structure"; rielaborata a partire da (Baklanov et al., 2004).

L'ultima categoria, infine, è di importanza primaria, in quanto è dalle caratteristiche della superficie indagata, e quindi dal *materiale*, che dipendono le proprietà della radiazione e la determinazione dell'emissività.

Nel presente lavoro di ricerca sono stati calcolati questi parametri in riferimento a diverse aree omogenee, individuate secondo il sistema di classificazione presente in (Selicato, 2003). Le classi sono: *tessuto intricato compatto*: centro storico della città caratterizzato da alta densità dell'edificato, blocchi edilizi disposti secondo una maglia irregolare; *tessuto reticolare a grana grossa*: quartiere ottocentesco, strutturato secondo una griglia regolare e composto da blocchi di grandi dimensioni ad alta densità; *tessuto reticolare a grana media*: strutturato secondo una griglia con maglie di dimensioni intermedie; *tessuto reticolare a grana fine*: griglia semi-reticolare con maglie di dimensione ridotta e bassa densità dell'agglomerato urbano; *tessuto organico a grana media*: reticolo non regolare ad alta densità composto da edifici di medie dimensioni; *forme aperte*: struttura irregolare caratterizzata da bassa densità, edifici di grosse dimensioni e localizzata

prevalentemente nelle aree suburbane; *frammenti di tessuto*: gruppi di edifici isolati e localizzati prevalentemente nelle aree periferiche; *edifici e complessi produttivi e commerciali*: grandi aree impermeabili, localizzate prevalentemente in ambito perturbano; *edifici e complessi specializzati per grandi attrezzature*: aree che ricomprendono grandi servizi urbani – stadio, ospedali, università, fiera, ecc. – collocati all'interno della città. La ripartizione delle aree è evidente nella figura 3.

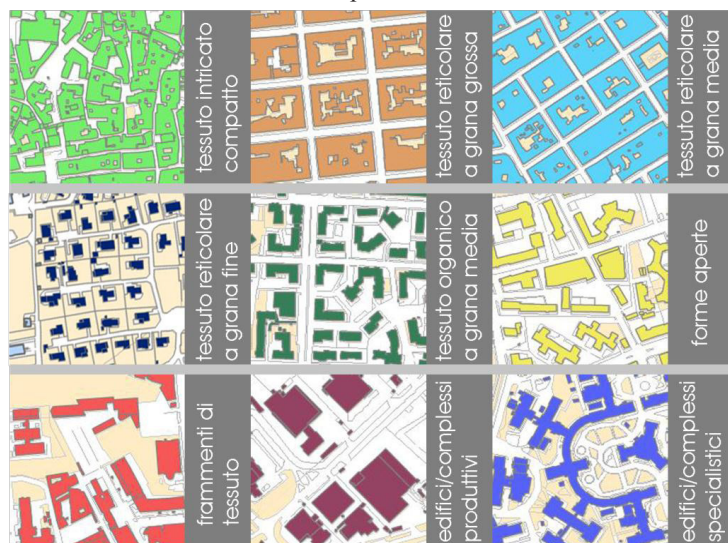


Figura 3. Classificazione delle aree omogenee della città di Bari.

Ciascuna di queste presenta valori omogenei dei parametri di (Baklanov et al., 2004); questo permette una prima considerazione: i risultati ottenuti sono compatibili con le classificazioni di (Oke, 2004; Davenport et al., 2000; Ellefsen, 1991) – figura 4.

Urban climate zone	Image	Roughness class	Aspect ratio	% built (impermeable)	Urban climate zone	Image	Roughness class	Aspect ratio	% built (impermeable)
1. Intensely developed urban with detached close-set high-rise buildings with cladding, e.g. downtown towers		8	> 2	> 90%	5. Medium development, low density suburban with 1 or 2 storey houses, e.g. suburban houses		6	0.2-0.6, p to > 1 with trees	35-65
2. Intensely high density urban with 2-5 storey, attached or very-close set buildings often of bricks or stone, e.g. old city core		7	1.0-2.5	> 85	6. Mixed use with large buildings in open landscape, e.g. institutions such as hospitals, universities, airports		5	0.1-0.5, depends on trees	< 40
3. Highly developed, medium density urban with row or detached but close-set houses, stores and apartments, e.g. urban housing		7	0.5-1.5	70-85	7. Semi-rural development, scattered houses in natural or agricultural areas, e.g. farms, estates		4	> 0.05, depends on trees	< 10
4. Highly developed, low or medium density urban with large low buildings and paved parking, e.g. shopping malls, warehouses		5	0.05-0.2	70-95					

Figura 4. Differenti morfologie urbane disposte in ordine decrescente rispetto al potenziale d'impatto sul clima locale (WMO, 2008).

Le immagini utilizzate per l'analisi termica sono le ASTER Level-1B, dalle quali è possibile ottenere, a partire dal Digital Number (DN) la radianza al sensore utilizzando l'*Unit Conversion Coefficient (Normal Gain)* di ciascuna banda, fornito con le immagini stesse. Si è proceduto dunque con la correzione atmosferica, applicando l'algoritmo ISAC, *In-Scene Atmospheric Compensation* (Young et al., 2002). Tale processo mira ad eliminare l'influenza dell'atmosfera sul dato di radianza acquisito nelle cinque bande del termico. La radianza così espressa è funzione non solo della temperatura – incognita che si vuole individuare – ma anche dell'emissività ϵ . Gli algoritmi più

diffusi, come l'algoritmo TES di separazione temperatura-emissività e l'algoritmo *Emissivity Normalization* (ITT, 2010) determinano la temperatura assumendo un fissato valore di emissività ϵ costante su tutta l'immagine. In questo studio si è ritenuto più opportuno far riferimento a valori differenti di ϵ al fine di ottenere una stima della temperatura più accurata. Si è proceduto quindi con la classificazione dell'immagine, mediante l'algoritmo *Maximum Likelihood Classification*, in diverse categorie (acqua, suolo nudo, vegetazione, superficie asfaltata, coperture degli edifici) per ciascuna delle quali è stata creata una maschera, in modo da associare ad ogni classe un valore specifico di emissività. Per ognuna di queste si è proceduto con l'estrazione dell'immagine della temperatura di corpo nero T_B (*Brightness Temperature*) applicando l'inversione della legge di Planck (Smith, 2005):

$$T_B = \left(\frac{hc}{k\lambda} \right) \left(\frac{1}{\ln \left(\frac{2hc^2 \lambda^{-5}}{B_\lambda} + 1 \right)} \right) \quad [1]$$

con $h = 6,626068 \cdot 10^{-34}$ [Js], $k = 1,38066 \cdot 10^{-23}$ [J/deg], $c = 2,997925 \cdot 10^8$ [m/s], λ = lunghezza d'onda [m], B_λ = radianza di corpo nero misurata [$W/m^2 sr$], T_B = temperatura di brillantezza [K]. Dalla T_B , definita l'emissività della superficie ϵ , si calcola la temperatura superficiale T_s mediante la relazione:

$$T_s = \frac{T_B}{\epsilon^{1/4}} \quad [2]$$

I risultati ottenuti sono stati sommati algebricamente ottenendo un'immagine completa della temperatura che tiene conto delle differenti emissività dei materiali caratteristici di ciascuna classe.

Analisi e risultati

Le immagini termiche ottenute dal processamento delle immagini ASTER hanno una risoluzione geometrica di 90 x 90 m, quindi si è ritenuto opportuno utilizzare una cella di queste dimensioni come campione per il confronto fra i parametri urbani e il dato termico. La figura 5 mostra la distribuzione dei dati di temperatura superficiale per ogni tipologia di morfologia urbana.

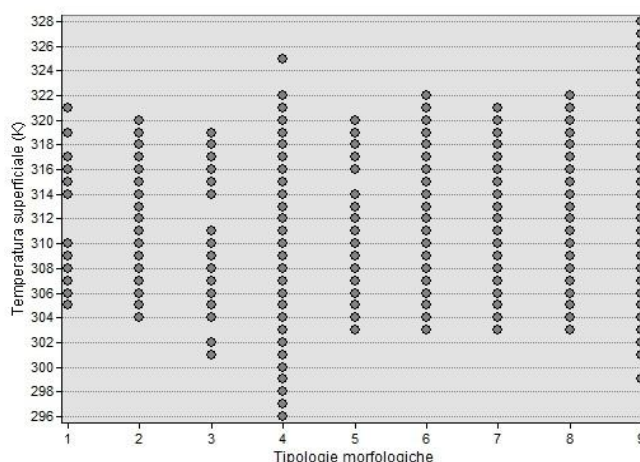


Figura 5. Distribuzione dei dati della temperatura superficiale per ogni tipologia urbana.

Si nota come la forbice maggiore di valori di temperatura si verifica in corrispondenza delle aree morfologiche 4 (tessuto reticolare a grana fine) e 9 (edifici e complessi specializzati per grandi attrezzature), che si contraddistinguono per la pluralità di superfici eterogenee. Nel primo caso

infatti è presente, oltre all'edificato, una notevole quantità di verde e questo giustifica la presenza di valori più bassi della temperatura; nel secondo caso, al contrario, le superfici asfaltate e impermeabili sono molto elevate – a causa dei parcheggi a servizio delle attrezzature – e questo provoca una concentrazione di valori più alti di temperatura.

Risulta quindi evidente come le caratteristiche dell'area urbana influenzino i valori della temperatura. Per comprendere tale relazione occorre studiare come ogni singolo parametro si rapporta con la temperatura in modo da definirne il tipo di dipendenza.

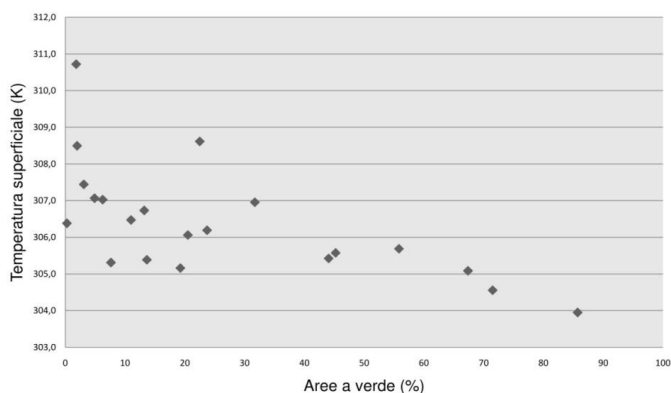


Figura 6. Distribuzione della dispersione della percentuale di aree a verde - riferite alle celle campione - rispetto alla temperatura.

In questo diagramma (figura 6) è presentata la dispersione della temperatura in relazione alla percentuale di verde presente nella cella campione di 90 x 90 m. Si può notare come il sensore termico risulta essere poco sensibile quando la presenza di verde è limitata: per valori inferiori al 20% riconosce diversi valori di temperatura; ciò dimostra che in questa fascia il verde non è in relazione con la temperatura. Al di là di tale limite, si configura, al contrario, un andamento dei punti che esprime in modo diretto il legame fra i due parametri. Quanto emerge trova riscontro in analisi termiche già effettuate sulla stessa area (Loconte et al., 2012).

Altro esempio significativo, che dimostra la complessità del legame “parametri-temperatura” è il seguente.

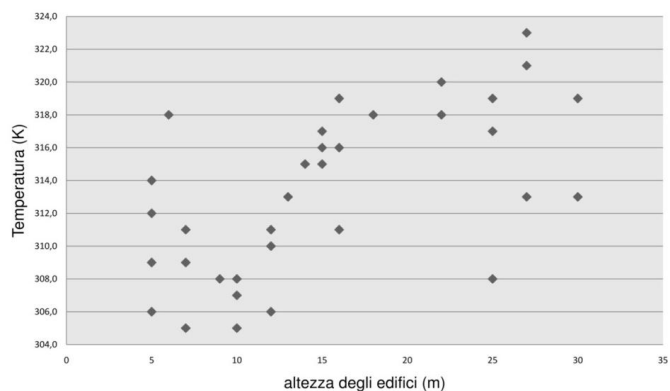


Figura 7. Diagramma che mette in relazione il valore dell'altezza degli edifici con il valore corrispondente della temperatura determinato sulle celle campione.

Il grafico in figura 7 rappresenta la relazione fra la temperatura e l'altezza degli edifici. Si evidenzia come anche in questo caso è possibile notare un andamento crescente del diagramma, se si esclude

la fascia di valori anomali compresi fra le altezze dai 5 ai 10 m, che corrispondono a quelle dei capannoni e complessi produttivi riscontrabili nelle aree industriali.

Occorre sottolineare come queste analisi dualistiche fra temperatura e “singolo parametro”, non sono sufficienti a descrivere la complessità del sistema, ma sono necessarie per analizzare preliminarmente le relazioni che intercorrono fra i dati, al fine di individuare eventuali anomalie – non riconoscibili in altro modo – di cui è necessario tener conto nella fase successiva, cioè l’elaborazione di un’analisi multivariata, per la costruzione del modello descrittivo che evidenzia le relazioni e le influenze reciproche fra tutti i parametri del sistema.

Limiti e sviluppi futuri

Lo studio condotto ha preso in esame solo alcuni fra i parametri più significativi. E’ opportuno quindi riproporre l’analisi su comuni con caratteristiche simili, non solo per verificare la validità dei risultati ottenuti in relazione al contesto selezionato, ma anche per analizzare altri parametri rilevanti (caratteristiche meteorologiche, influenza del mare, temperature medie stagionali, contesto vegetazionale, inquinamento, ecc.), cosa possibile solo mediante un confronto incrociato.

Occorre inoltre rimarcare le criticità connesse all’utilizzo di immagini satellitari. Oltre al già citato problema della risoluzione, queste presentano un ulteriore limite di carattere temporale: costituiscono una fotografia dello stato dei luoghi in un preciso istante; per validare l’analisi occorre disporre di un vasto ventaglio di immagini scattate nel corso delle stagioni e ad intervalli di alcuni anni. Vi è un secondo limite legato ai materiali e alle superfici con elevata inerzia termica: occorrerebbe considerare il tempo necessario per l’accumulo e il rilascio del calore una volta colpiti dalla radiazione solare. Anche le aree in ombra costituiscono un ulteriore problema, in quanto non sono esposte alla radiazione solare come le altre superfici; il valore della radianza, all’interno del pixel di 90 m, ne risulta influenzato. Gli spazi aperti, al contrario, sono soggetti al fenomeno opposto presentando valori più elevati della temperatura (Rinner et al., 2011).

A tale scopo ci si propone di confrontare i risultati ottenuti da immagini satellitari, una volta completata l’analisi, con quelli ottenuti da immagini aeree, in modo da valutare l’attendibilità dei primi e l’eventuale scostamento.

Riferimenti bibliografici

- Arnfield, A.J. (2003), “Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchange of energy and water, and the urban heat island”, *Int. Journal of Climatology*, 23, 1-26
- ASTER, <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>
- Baklanov A., Burzynski J., Christen A., Deserti M., De Ridder K., Emeis S., Joffre S., Karppinen A., Mestayer P., Middleton D., Piringer M., Tombrou M. (2004), “The urban surface energy budget and mixing height in european cities: data, models and challenges for urban meteorology and air quality”, *Final Report of Working Group 2 of COST-715 Action*, Demetra Ltd Publishers
- Brivio P. A., Lechi G., Zilioli E. (2006), “Principi e metodi di Telerilevamento”, Città Studi Edizioni
- Davenport A.G., Grimmond S.B., Oke T.R., Wieringa J. (2000), “Estimating the roughness of cities and sheltered country”, *Proc. 12th AMS Conf. on Appl. Climatology*, Asheville, North Carolina
- Ellefsen R. (1991), “Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary Layer in ten US cities”, *Energy & Buildings*, 15-16, 1025-1049
- Fehrenbach U., Scherer D., Parlow E. (2001), “Automated classification of planning objectives for the consideration of climate and air quality in urban and regional planning for the example of the region of Basel – Switzerland”, *Atmos. Environment*, 35 (32), 5605-5615
- Gillespie A.R., Rokugawa S., Hook S., Matsunaga T., Kahle A.B. (1998), “A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer images”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1113-1126

- Greater London Authority, King's College London, Arup, London School of Hygiene and Tropical Medicine, University of Birmingham, Brunel University, Arizona State University (2006), "London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers", pubblicato su www.london.gov.uk/mayor/environment/climate_change/, Greater London Authority
- ITT Visual Information Solutions (2010), *ENVI user's guide*
- Loconte P., Ceppi C., Lubisco G., Mancini M., Piscitelli C., Selicato F. (2012), "Climate Alteration in the Metropolitan Area of Bari: Temperatures and Relationship with Characters of Urban Context", *ICCSA 2012*
- Oke, T.R. (1973), "City size and the urban heat island", *Atmospheric Environment*, 7, 769-779
- Oke T.R. (2004), "Initial guidance to obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites", *IOM Report 81*, World Meteorological Organization, Geneva
- Rinner C., Hussain M. (2011), "Toronto's Urban Heat Island-Exploring the Relationship between Land Use and Surface Temperature", *Remote Sens.* 3, 1251-1265
- Santamouris M. (2007), "Heat island research in Europe – State of the art", *Adv. Build. En. Res.* 1, 123-150
- Selicato, F. (2003), "Bari, Morfogenesi dello Spazio Urbano", *Mario Adda Editore*, Bari
- SIT Puglia, <http://www.sit.puglia.it/>
- Sobrino J.A., Jiménez-Muñoz J.C., Paolini L. (2004), "Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5", *Remote Sensing of Environment*, 90, 434-440
- Smith R.B. (2005), "Computing the Planck Function", CEO, *Yale University*
- Stewart I.D. (2007), "Landscape Representation and the Urban – Rural Dichotomy in Empirical Urban Heat Island Literature, 1950-2006". *A. Clim. Chor.*, 40-41, 111-121
- Stewart I.D., Oke T.R. (2009) "Classifying urban climate field sites by "local climate zones" the case of Nagano", *The Seventh International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan
- Voogt J.A., Oke T.R. (2003), "Thermal remote sensing of urban climates", *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384
- Weng Q. (2009), "Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: methods, applications, and trend", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 335-344
- WMO, World Meteorological Organization (2008), "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation", *WMO-No. 8*, Seventh edition
- Young S.J., Johnson B.R., Hackwell J.A. (2002), "An in-scene method for atmospheric compensation of thermal hyperspectral data", *J. of Geophysical Research*