



## Consumo energetico e caratteristiche della morfologia urbana

**Marialuce Stanganelli**

Università di Napoli

Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio

Email: [stangane@unina.it](mailto:stangane@unina.it)

Tel. 081.7682311

**Marco Soravia**

Provincia di Napoli

Email: [msoravia@provincia.napoli.it](mailto:msoravia@provincia.napoli.it)

---

### **Abstract**

*Il paper indaga sul fenomeno delle Isole di Calore Urbane analizzando in particolare l'influenza delle principali caratteristiche della morfologia urbana: forma dei lotti, altezza media degli edifici, densità edilizia, rapporto di copertura e percentuale di aree verdi. Lo studio è stato svolto a partire dall'analisi di casi reali relativi al territorio della Provincia di Napoli. L'identificazione delle aree soggette a isole di calore è stata effettuata attraverso la realizzazione di una carta termica (Termografia) della provincia di Napoli ottenuta elaborando immagini satellitari iperspettrali con tecniche di telerilevamento. Tale carta ha permesso di selezionare alcune aree urbane campione al cui interno sono stati rilevati i principali parametri urbanistici, attraverso tecniche di telerilevamento o di analisi spaziale. Per ciascun parametro è stata analizzata la correlazione "temperatura - parametro urbanistico". Il principale risultato consiste nella messa a punto di un abaco che consente di stimare le possibili variazioni di temperatura attese all'incremento o decremento di ciascun parametro urbanistico.*

### **Le isole di calore urbane**

L'“Isola urbana di calore” è un'anomalia termica che interessa alcuni ambiti edificati che manifestano temperature molto più elevate rispetto a quelle delle aree rurali circostanti. L'intensità dell'isola di calore può essere quantificata come la massima differenza tra la temperatura media dell'aria urbana e quella dell'ambiente rurale circostante. Rispetto a quest'ultimo, l'incremento di temperatura è più evidente di notte che di giorno; di giorno la differenza di temperatura tra area urbana e suburbana può variare tra +1°C e +3°C mentre di notte può raggiungere valori che vanno da +7 a +12°C (Goward, 2009).

Tale fenomeno si manifesta in particolar modo nelle grandi metropoli che impiegano in modo estensivo materiali da costruzione che trattengono il calore. La diffusa cementificazione, la prevalenza delle superfici asfaltate sulle aree verdi, l'uso di materiali edilizi con bassa capacità di disperdere il calore, sono tra le principali cause delle isole di calore urbane. A queste cause si aggiungono altri fattori dovuti alla localizzazione dell'area urbana (morfologia del luogo, caratteristiche del microclima, presenza di grandi masse di acqua) nonché alle attività antropiche svolte sul territorio (emissioni degli autoveicoli, degli impianti industriali, dei sistemi di condizionamento ad uso domestico).

In estate, la presenza di questo fenomeno determina numerosi problemi, che vanno dai picchi di domanda di consumo energetico, ai costi di climatizzazione, all'inquinamento e all'emissione di gas serra, a problemi di salute che interessano soprattutto le fasce più deboli della popolazione. Il fenomeno diviene pericoloso nel corso delle ormai sempre più frequenti ondate di calore estivo che possono provocare in ambito metropolitano black out energetici e un notevole incremento della mortalità delle tra anziani e ammalati.

Gli studi condotti sinora si sono principalmente soffermati sulle modalità per rilevare le temperature all'interno delle isole di calore e sulle caratteristiche termiche dei materiali edilizi. Il paper in oggetto analizza come, a

parità di materiali utilizzati, anche la struttura urbana possa contribuire in larga percentuale al verificarsi di questo fenomeno.

## La metodologia di analisi

L'incidenza della forma urbana nella determinazione delle isole di calore è ampiamente riconosciuta a livello scientifico, sebbene poco studiata in forma parametrica (Zhang, 2009). Lo studio proposto analizza nello specifico la correlazione tra alcuni indicatori della forma urbana e le temperature raggiunte all'interno delle isole di calore urbano e giunge ad individuare l'incidenza dei singoli indicatori sul fenomeno. Il campo di applicazione è quello della provincia di Napoli.

Lo studio è stato articolato in quattro fasi:

1. Raccolta ed elaborazione dei dati telerilevati e realizzazione della termografia dell'area di studio;
2. Individuazione di aree urbane campione soggette al fenomeno dell'Isola di calore urbano;
3. Individuazione delle principali caratteristiche della struttura urbana nelle aree campione: costruzione della carta dell'indice di vegetazione, e individuazione degli indicatori;
4. Confronto tra le aree campione ed analisi delle correlazioni tra caratteristiche della struttura urbana e variazioni di temperatura.

Il primo step affrontato è stato quello relativo all'individuazione di aree soggette al fenomeno dell'isola di calore urbana. Vi sono due tipi di isola di calore: quella superficiale e quella atmosferica. Le isole di calore superficiali si riferiscono alle temperature delle superfici esposte alle radiazioni solari che sono più calde dell'aria circostante. In estate, la temperatura superficiale può raggiungere anche i 50° C durante il giorno, la differenza con la temperatura dell'aria è minore durante la notte. Le isole di calore urbane atmosferiche si riferiscono invece alla presenza di aria più calda nelle aree cittadine se comparata con l'aria delle aree non urbanizzate circostanti, questo fenomeno è più debole nel corso del giorno e diviene più marcato durante la notte a causa del lento rilascio di calore da parte delle superfici delle aree urbane.

Per individuare le isole di calore urbane gli esperti usano metodi sia diretti che indiretti (Goward, 2009; Zhang, 2009). I metodi diretti si avvalgono delle stazioni meteorologiche fisse e dei rilevatori mobili delle temperature per ottenere una rete di punti a temperatura nota nell'arco della giornata. Nel presente lavoro è utilizzato un metodo di individuazione indiretta, basato sul telerilevamento attraverso cui è possibile individuare le isole di calore urbano superficiali.

Tecniche di telerilevamento sono state utilizzate anche per l'individuazione del verde all'interno delle aree urbane. Gli alberi e la vegetazione in generale danno un considerevole apporto nell'attenuazione delle grandi masse di calore tramite il processo di evotraspirazione attraverso cui le piante rilasciano acqua nell'aria circostante, che evaporando sottrae calore all'ambiente. Inoltre, la restante aliquota di radiazione solare assorbita dalle piante e non utilizzata per evapotraspirazione e fotosintesi, viene riflessa e quindi non viene né assorbita né successivamente riemessa. Di conseguenza, in presenza di una superficie vegetata si registrano valori di temperatura più bassi rispetto alle aree circostanti che ne sono prive.

La vegetazione è facilmente riconoscibile attraverso osservazioni satellitari poiché il comportamento della stessa rispetto alla radiazione solare in tutto lo spettro elettromagnetico produce una specifica firma spettrale caratterizzata da uno caratteristico andamento del coefficiente di riflettanza.

La realizzazione della termografia ha consentito di individuare alcune aree campione in cui il fenomeno dell'innalzamento della temperatura rispetto all'ambiente circostante era particolarmente evidente. Le aree prescelte sono tutte uguali in termini di dimensioni (1 km<sup>2</sup>), simili nelle destinazioni d'uso prevalente e nei materiali costruttivi utilizzati ma presentano diversi valori di temperatura media e diverse caratteristiche della geometria urbana, in tal modo si è cercato di ridurre il numero di parametri che possono influenzare l'effetto isola di calore urbano ai soli indicatori elaborati.

Gli indicatori utilizzati in ogni area di studio sono:

- Indice di impermeabilità delle superfici non edificate: pari al rapporto tra gli spazi aperti non permeabili (strade, cortili, parcheggi ossia di superfici asfaltate e pavimentate) e la superficie totale non edificata dell'area;
- Percentuale di aree verdi in rapporto alla superficie totale dell'area;
- Rapporto di copertura territoriale pari al rapporto tra la superficie coperta totale e la superficie territoriale;
- Localizzazione geografica: indica la posizione geografica di ogni area campione in relazione alle zone limitrofe, cioè se si tratta di un'area interna, di un'area costiera, di un'area collinare, ecc.;
- Densità edilizia territoriale: rappresenta il rapporto tra la somma dei volumi dei fabbricati, espressa in metri cubi e la superficie totale dell'area espressa in metri quadri;
- Quota altimetrica media sul livello del mare: indica l'altitudine media dell'area campione rispetto al livello del mare, misurata in metri sul livello del mare;
- Altezza media dell'edificato: espressa in metri, fornisce la misura dell'altezza media di tutti gli edifici presenti all'interno di ogni area di studio.

Il confronto tra i valori che ciascun indicatore assume nelle diverse aree e la temperatura media rilevata attraverso la termografia ha consentito l'analisi delle correlazioni tra morfologia urbana e incrementi di temperatura.

## Termografia e carta della vegetazione

I dati utilizzati sono stati acquisiti dal sensore aviotrasportato MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer), nell'ambito del Progetto di collaborazione tra l'Istituto del CNR LARA e il Sistema Informativo Territoriale della Provincia di Napoli.

Il MIVIS è un sensore che opera con un'elevata risoluzione spettrale e spaziale che registra la radiazione proveniente dalla superficie terrestre. L'elevata risoluzione spettrale deriva dall'elevato numero di canali di acquisizione: infatti la radiazione proveniente dalla superficie terrestre viene suddivisa in 102 canali, ciascuno con un piccolo intervallo della lunghezza d'onda. L'elevata risoluzione spaziale delle immagini ottenute dal sensore MIVIS, invece, permette di avere un maggior dettaglio nel numero e nelle caratteristiche geometriche degli elementi che compongono le immagini, con una dimensione del pixel di 3x3m che consente un'analisi più precisa e dettagliata dei fenomeni.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il software ENVI 4.7 (Environment for Visualizing Image della "Research System Inc"), che permette la visualizzazione e l'analisi di dati in formati differenti.

La realizzazione della termografia ha interessato l'intera provincia di Napoli che consta di 92 comuni. Il territorio oggetto d'analisi, data la sua dimensione, non è stato rilevato in un'unica levata, ma in un periodo che va dal 28 giugno 2005 al 27 luglio 2005. Ciò ha dato luogo ad evidenti differenze di temperature tra gruppi di strisciate realizzate in giornate diverse, di ciò si è tenuto conto nella selezione delle aree campione, selezionando aree che appartengono ad una singola levata.

L'intera copertura aerea è composta da 116 strisciate necessarie a coprire i 1170 km<sup>2</sup> della provincia di Napoli.

Da tali dati si è ottenuta una termografia, ovvero un'immagine bidimensionale in grado di rappresentare la temperatura attraverso la misurazione dell'intensità della radiazione infrarossa emessa dai corpi in esame.

La termografia è stata realizzata analizzando il canale 93 di ogni striscia il quale fornisce valori di temperatura che, in voli a quota non elevata (quota di volo media di 1500 metri), è approssimabile alla temperatura misurata al suolo (Mauro e Di Lullo, 2005).

Il canale 93 di ogni striscia, comprende l'intervallo di lunghezza d'onda che va da 8,2 µm a 8,6 µm non visibile all'occhio umano perché appartenente all'infrarosso termico. L'importanza del canale 93 risiede non solo nel fatto che la banda di acquisizione dell'infrarosso termico rileva la temperatura dei corpi ma anche perché in questo intervallo l'energia elettromagnetica rilevata è solo la radianza emessa dai corpi. Infatti, la quantità di energia emessa per unità di superficie e per unità di intervallo di lunghezza d'onda non risente della radiazione solare riflessa. Inoltre l'intervallo 8,2 ÷ 8,6 µm del canale 93 ricade nella finestra atmosferica che va da 8 µm a 14 µm dove l'interposizione dell'atmosfera tra la superficie terrestre e il satellite è quasi del tutto insignificante.

In questo intervallo le particelle componenti l'atmosfera si lasciano attraversare dalla radiazione elettromagnetica e quella che giunge al sensore è quindi proprio la radianza emessa dai corpi terrestri senza l'interferenza dell'atmosfera che si manifesta attraverso i fenomeni di assorbimento o diffusione.

Un'operazione propedeutica all'analisi di un territorio vasto come quello della provincia di Napoli è stata la mosaicatura in un'unica immagine delle numerose strisciate che compongono il rilievo MIVIS. L'immagine mosaicata ottenuta, inquadrata nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Roma40 (vigente all'epoca dell'esecuzione del rilievo) è stata poi convertita nell'attuale sistema di riferimento UTM-WGS 84.

La rappresentazione dell'immagine mosaicata in classi di temperatura garantisce un'immediata lettura dei valori presenti, evidenziando valori elevatissimi di alcuni elementi, oltre i 50 °C, che stanno a testimoniare delle anomalie termiche che sono alla base dello sviluppo del fenomeno Isola di Calore Urbana.

Grazie all'elevata risoluzione geometrica è possibile individuare i singoli manufatti che raggiungono tali picchi anomali. L'elevata risoluzione geometrica, quindi, gioca un ruolo fondamentale per un'analisi di maggior dettaglio che permette di ricavare le proprietà termiche dei diversi elementi naturali o antropici presenti nella termografia (fig.1) (Akbari e Konopaki, 1998).

Dal confronto in sovrapposizione tra ortofoto digitale e la termografia (fig.1) risulta evidente il ruolo svolto dai materiali edilizi: nell'ambito della stessa area troviamo superfici che superano i 50°C accanto a superfici al di sotto dei 35°C. Raggiungono le temperature maggiori i tetti con manto bituminoso di colore nero e i grandi spazi asfaltati (parcheggi, piazze).

Per quanto riguarda la carta della vegetazione, si è rilevato che la maggior parte degli indici di vegetazione esistenti in letteratura sono basati sulle differenze significative di riflettanza all'interno dello spettro elettromagnetico riscontrabili nella firma spettrale e si basano sull'analisi del rapporto tra determinate bande dove vi sono diversi comportamenti di riflessione e assorbimento (Bresciani et al., 2009).

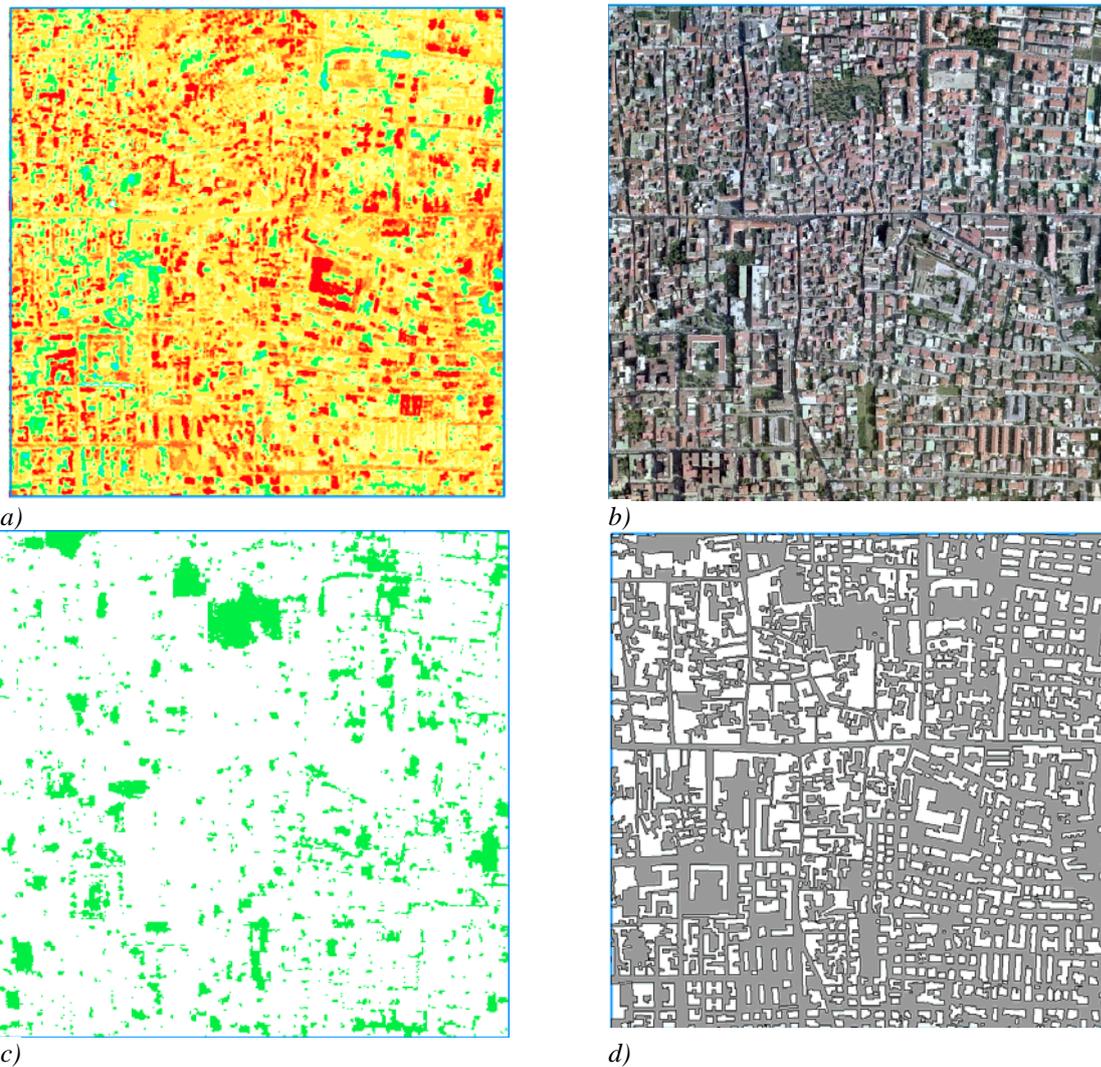


Figura 1. La prima area campione: a) termografia; b) ortofoto; c) mappa NDVI; d) mappa degli spazi aperti

Un indice molto utilizzato è l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) che è basato sulla differenza normalizzata tra i BV (brightness value) dei pixel della banda del rosso (ROSSO) (0,6 – 0,7  $\mu\text{m}$ ) e quelli della banda dell'infrarosso vicino (IR) (0,7 – 0,8  $\mu\text{m}$ ):

$$\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{ROSSO}) / (\text{IR} + \text{ROSSO})$$

Valori tipici dell'NDVI, che risulta limitato nell'intervallo (-1 + 1), sono:

- 0,2 ÷ 0,6 per la vegetazione;
- -0,1 ÷ 0,1 per suoli e rocce;
- -0,2 per l'acqua.

La carta dell'indice di vegetazione l'NDVI è stata realizzata con gli stessi dati del sensore MIVIS utilizzati per la realizzazione della termografia. Di ogni strisciata sono stati considerati due canali di acquisizione necessari per calcolare l'NDVI: il Canale 13 per la banda del rosso con un intervallo di lunghezza d'onda che va da 0,673  $\mu\text{m}$  a 0,693  $\mu\text{m}$ , e il Canale 20 per la banda dell'infrarosso vicino che va da 0,813  $\mu\text{m}$  a 0,833  $\mu\text{m}$ .

Per ottenere una carta tematica che mostri la vegetazione è stato necessario sostituire i valori decimali dell'NDVI con valori interi; effettuando un'operazione di stretching lineare che consiste nel trasformare l'immagine originaria da 32bit di risoluzione colore a 8bit dove i BV dei pixel assumono valori che vanno da 0 a 255 (cioè si passa da 2<sup>32</sup> a 2<sup>8</sup> gradazioni di colore).

Dalla carta emerge tutta la copertura vegetale del territorio provinciale di Napoli. L'elevata risoluzione geometrica permette di effettuare un'analisi molto dettagliata, individuando anche il singolo albero che presenta comunque una significativa influenza sul valore di temperatura poiché interagisce con la radiazione solare. Infatti, in presenza di vegetazione la temperatura registrata è sensibilmente più bassa, la vegetazione urbana ha un effetto sostanziale sulla riduzione della temperatura urbana e il suo incremento va considerato come una delle misure più efficaci per contrastare il fenomeno dell'Isola di Calore Urbana.

## La struttura urbana delle aree campione

Dalla cartografia ufficiale della Provincia di Napoli sono stati ricavati i valori dei principali indicatori della struttura urbana per ciascuna area, riportati in tabella I. Per il calcolo degli indicatori è stato utilizzato lo shapefile dell'edificato riportante in tabella anche i valori delle altezze degli edifici. Attraverso una operazione di "erase" tra area di studio ed edificato, si è ricavata la mappa degli spazi aperti (fig.1), dal cui computo ai fini del calcolo dell'indice delle aree non permeabili, sono stati successivamente sottratti gli spazi verdi.

Per ciascun indicatore si è studiata la correlazione con la temperatura media dell'area ricavata dalla distribuzione gaussiana dei valori di temperatura presente all'interno della termografia ed espressa in C°.

Tra rapporto di copertura e temperatura media esiste una correlazione diretta: nelle aree interne, un incremento di circa 0,26 del rapporto di copertura territoriale, determina un gradiente di temperatura di circa 4,4 °C. Si passa infatti da un rapporto di copertura territoriale pari a 0,18 e una temperatura di 38,1 °C, rappresentativi dell'area 3, a valori pari rispettivamente a 0,44 e 42,5 °C delle stesse grandezze.

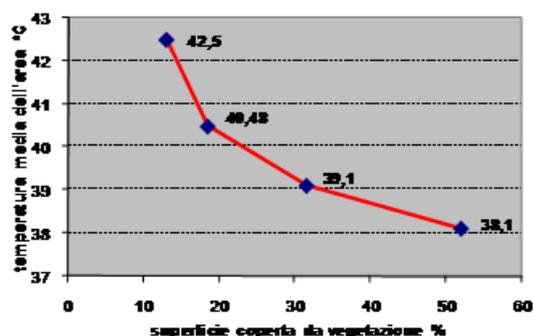
Tabella I. Valori degli indicatori delle aree campione

Area campione	Rapporto di copertura	% di aree verdi	Indice aree non-permeabili	Temperatura media C°	Localizzazione	Altezza media degli edifici (m)	Densità edilizia (m3/m2)	Quota altimetrica media
1	0.441	13.05	42.88	42.88	Inland Plain	7,49	4,17	97
2	0.25	31.55	43.4	39	Inland Plain	5.01	2.016	111
3	0.18	51.94	30.53	38,01	Inland Plain	4.92	1.23	112
4	0.425	18.51	39	40.48	Inland Plain	5.34	2.67	102
5	0.43	15	41,61	36	Coastal Area	12.35	6.45	49
6	0,192	49,98	30,81	35,5	Coastal Area	6,94	1,71	62
7	0,5	2,35	47,806	39,75	Coastal Area	21,65	12,25	19
8	0,11	73,83	14,92	34,5	Coastal Area	6,87	1,14	86

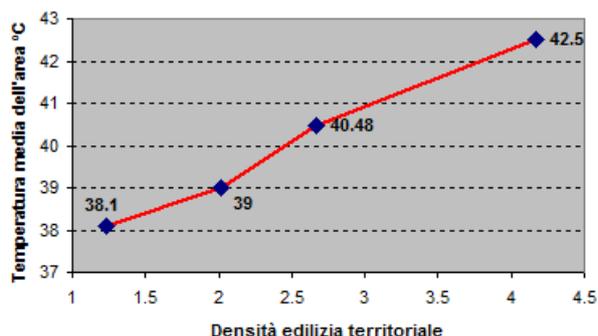
Nelle aree costiere in presenza di rapporti di copertura analoghi si hanno temperature inferiori da 3° fino a 6°C a conferma dell'effetto benefico che il mare ha sulla mitigazione delle temperature.

La "Percentuale di aree verdi" incide in maniera positiva sulla diminuzione della temperatura. Nelle aree costiere il valore della temperatura passa da 39,75 °C a 34,5 °C in corrispondenza rispettivamente di percentuali di aree verdi del 2,35% e 73,83 %. La correlazione inversa nelle aree costiere non è di tipo lineare in quanto sulla temperatura incide notevolmente anche l'esposizione rispetto al mare.

Nelle aree interne, invece, l'andamento decrescente è pressoché lineare: qui la riduzione di temperatura è influenzata solo dalla superficie vegetale. Ad una temperatura media di 42,5 °C corrisponde una superficie coperta dalla vegetazione pari a 13,05%, mentre ad una temperatura di 38,1 °C corrisponde un 51,98% di superficie vegetata. Al crescere della superficie coperta vegetata di circa al 40% corrisponde una diminuzione della temperatura di circa 4 unità (fig.2).



a)



b)

Figura 2. Grafico dell'andamento della temperatura delle aree campione interne in funzione: a) della superficie coperta da vegetazione; b) della densità edilizia territoriale

Per l'altezza media dell'edificio, si nota un andamento della temperatura crescente al crescere indicatore. Infatti quanto più alti risultano essere gli edifici, tanto più difficile risulta disperdere il calore nell'atmosfera, poiché questo rimane a lungo intrappolato nei contesti edilizi alimentando l'effetto canyon.

Nelle aree interne, si passa da una temperatura di 38,1°C con un'altezza di 4,92m ad una temperatura di 42,5°C con un'altezza di 7,49m.

Nelle aree costiere si passa da una temperatura di 34,5°C ad una di 39,75°C cui corrispondono valori dell'altezza media dell'edificio rispettivamente pari a 6,87m e 21,65m. Anche per tale indicatore l'andamento non è approssimabile a quello lineare e facendo un confronto tra aree interne e costiere, nelle prime la temperatura di 39°C è raggiunta con un'altezza pari a 5,01m, mentre in area costiera una tale temperatura è raggiunta con un'altezza nettamente superiore pari a circa 21m. Ciò dimostra, ancora una volta, l'azione dissipativa del calore da parte del mare.

L'indicatore "densità edilizia territoriale" è un indicatore di incrocio che lega l'altezza alla superficie coperta. Naturalmente, come i due indicatori primari da cui deriva, mostra un andamento crescente al crescere della temperatura: pressoché lineare per le aree interne (fig.1), spezzato per le aree costiere. Analogo andamento si riscontra per l'indice delle aree non-permeabili.

## Conclusioni

Il lavoro è ancora in progress e procede con l'incremento delle aree campione utile a validare i risultati conseguiti. Quanto sinora esposto ha un valore metodologico e di indirizzo. I primi risultati evidenziano, per le aree interne una forte correlazione positiva tra valori della temperatura e caratteristiche della morfologia urbana per quanto riguarda gli indicatori "rapporto di copertura", "indice delle aree non-permeabili", "altezza media degli edifici", "densità edilizia". Esiste invece una forte correlazione inversa tra temperatura e percentuale di aree verdi. Tali correlazioni sono confermate anche nelle aree costiere dove però acquistano maggiore peso le caratteristiche di esposizione ai venti e agli effetti di mitigazione del mare. Il fattore di esposizione fa sì che le correlazioni individuate perdano in parte quell'andamento pressoché lineare che caratterizza le aree interne meno esposte all'effetto delle brezze costiere.

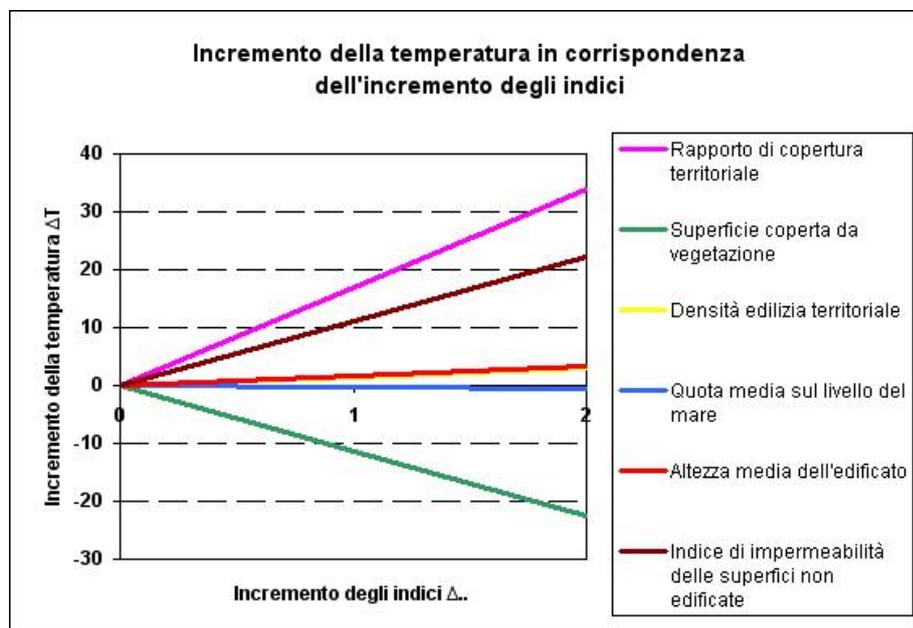


Figura 3. Abaco dell'incremento della temperatura di un'area campione interna in funzione dell'incremento unitario degli indici.

La definizione delle relazioni che evidenziano l'incremento o decremento di temperatura  $\Delta T(u)$  correlato ad un incremento unitario degli indicatori esaminati  $\Delta..$ , può trovare giustificazione nella realizzazione di un abaco che consente di stimare le variazioni di temperatura attese all'incremento di ciascun indicatore.

A parità di condizioni morfologiche, ovvero per un'area interna di pianura con altezze sul livello del mare intorno ai 100 metri, e materiali utilizzati omogenei, tale abaco, implementato e validato con gli ulteriori risultati della ricerca, può essere utile per stimare gli incrementi di temperatura desumibili da alcuni parametri di progettazione urbanistica. Nell'immediato, gli interventi principali per ridurre sensibilmente il fenomeno delle

Isole di Calore Urbane risultano essere: l'aumento delle aree verdi e alcuni interventi volti ad utilizzare materiali con un maggiore grado di riflettanza per il raffreddamento delle superfici più esposte quali tetti e pavimentazioni urbane.

## **Bibliografia**

### *Articoli*

Akbari H., Konopaki S. (1998), "The impact of reflectivity and emissivity of roofs building cooling and heating energy use", *Thermal performance of the Exterior Envelopes of Building*, VII Conference, Miami.

Bresciani M., Stroppiana D., Fila G., Montagna M., Giardino C. (2009), "Monitoring reed vegetation in environmentally sensitive areas in Italy", *Rivista italiana di Telerilevamento*, vol.41

Mauro G., Di Lullo A. (2005), "L'utilizzo dei dati iperspettrali MIVIS per un'analisi geografico – territoriale: la Media Valle del Tagliamento come caso studio", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, n.123, pp. 124-125.

Goward S. (2009), "The thermal behavior of urban landscapes and urban heat island", *Physical Geography*, vol.2.

Zhang H. (2009), "Remote sensing evaluation of UHI and spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China", *Ecological Complexity*.

## **Riconoscimenti**

I paragrafi 2 e 3 sono stati redatti da M. Soravia; i paragrafi 1, 4 e 5 sono stati redatti da M. Stanganelli.