

CONSUMI ENERGETICI E STRUTTURA URBANA. UNA PROPOSTA
METODOLOGICA PER LA SOSTENIBILITÀ DELLE SCELTE DI GOVERNO DEL
TERRITORIO.

Roberto GERUNDO¹, Michele GRIMALDI²

SOMMARIO

Fino ad ora, la pianificazione urbana ha lasciato la tematica energetica in secondo piano, ma con l'insorgere della attuale emergenza globale, caratterizzata dall'ormai evidente situazione critica relativa ai cambiamenti climatici e dalle importanti modificazioni dell'attuale paradigma energetico, tale tematica diventa centrale.

Il lavoro, testato nell'ambito della redazione dello strumento urbanistico comunale di un comune della provincia di Napoli (Italia), Palma Campania, propone una metodologia per l'individuazione di ambiti di criticità energetica del tessuto insediativo, al fine di integrare i quadri di conoscenza tipici della pianificazione urbanistica strutturale e supportare strategie di sviluppo territoriale che tengano in debito conto la questione energetica, ad esempio, individuando priorità di intervento per la mitigazione dei consumi energetici alla scala urbana. In particolare, si è implementato in ambiente Gis, un approccio di analisi spaziale di tipo locale, fondato sulla kernel density estimation (KDE), un metodo di stima della densità finalizzato a osservare particolari assetti distributivi di eventi puntuali nello spazio.

¹ Università degli Studi di Salerno, via Ponte Don Melillo - 84084, Fisciano (SA), e-mail: r.gerundo@unisa.it.

² Università degli Studi di Salerno, via Ponte Don Melillo - 84084, Fisciano (SA), e-mail: migrimaldi@unisa.it.

1 Introduzione

Le città sono grandi consumatori di energia, circa il 67% della domanda mondiale di energia primaria e il 71% delle relative emissioni di gas a effetto serra (AIE, 2008) si concentrano al loro interno.

Il consumo di energia è la conseguenza di decisioni prese in una varietà di scale, temporali e spaziali. Vi sono decisioni che hanno un carattere di reversibilità, ad esempio, la sostituzione degli impianti di riscaldamento per migliorarne l'efficienza.

Ma vi sono decisioni che attengono alla sfera della pianificazione urbanistica che riguardano l'ubicazione degli edifici e delle attività, la giacitura delle reti di trasporto, che determinano trasformazioni di lungo periodo (Morris, 1994). Per le città già esistenti, azioni di espansione urbana e progetti di modifica possono portare a miglioramenti nei consumi energetici (de Wilde & van Den Dobbelsteen, 2004), tenendo conto che l'organizzazione urbana è forse l'aspetto più difficile su cui intervenire per migliorarne l'efficienza energetica. Emerge, quindi, la necessità di integrare la variabile energetica nel processo di pianificazione urbanistica. In particolare, è necessario irrobustire il quadro conoscitivo in fase di pianificazione urbanistica strutturale, al fine di supportare strategie di riqualificazione energetica, individuando le parti di tessuto urbano che necessitino di specifici interventi, al fine di indirizzare le scelte di pianificazione.

Obiettivo del presente contributo è la costruzione di una metodologia che consenta di controllare quantitativamente il grado di sostenibilità energetica dei tessuti urbani esistenti, mediante il riconoscimento di ambiti di criticità energetica. Tale metodologia si basa sugli approcci seguiti negli studi di microclimatologia urbana, ovvero parte dalla considerazione che all'interno di un agglomerato urbano è possibile distinguere diverse Urban Climate Zone (UCZ), attribuendo a ciascuna di esse una diversa capacità di modificazione del clima locale. Tale classificazione proposta da Oki (WMO, 2006) si basa su di uno schema di classificazione (Ellefsen 1990 e 1991) incentrato sulla contiguità, altezza e tipologia degli edifici, nonché sulle caratteristiche dei tessuti insediativi.

In tal modo, si ottengono categorie di tessuti urbani, ai quali sono riconosciute specifiche caratteristiche. Da tale classificazione emergono sette livelli di categorie di tessuto urbanizzato, differenziati innanzitutto in termini di densità del costruito (Figura 1).

Tuttavia, tale approccio non dettaglia il modo in cui caratterizzare le diverse componenti del tessuto insediativo.

Nel presente lavoro si propone un metodo basato su di un approccio di tipo locale, kernel density estimation, con lo scopo di individuare ambiti di criticità energetica della organizzazione urbana.

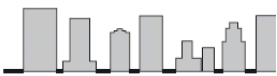






Urban climate zone ^a	Image	Roughness class ^b	Aspect ratio ^c	% built (impermeable) ^d
1. Intensely developed urban with detached close-set high-rise buildings with cladding, e.g. downtown towers		8	> 2	> 90%
2. Intensely high density urban with 2-5 storey, attached or very-close set buildings often of bricks or stone, e.g. old city core		7	1.0-2.5	> 85
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
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
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
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
7. Semi-rural development, scattered houses in natural or agricultural areas, e.g. farms, estates		4	> 0.05, depends on trees	< 10

Figura 1 – Simplified classification of distinct urban forms arranged in approximate decreasing order of their ability to have an impact on local climate (Oke, 2004)

2 Influenza della organizzazione urbana sul bilancio energetico di superficie

Per comprendere l'interazione della struttura urbana con i consumi energetici, si parte dal presupposto che la densità del costruito comporti un effetto diretto sui consumi energetici ma anche un forte impatto sul clima urbano, che indirettamente incide sui consumi energetici per servizi quali riscaldamento e raffreddamento (Steemers, 2003).

Gli effetti diretti sono connessi all'orientamento, all'esposizione e alla forma dei singoli edifici (Ratti, 2005), mentre, quelli indiretti sono dovuti all'aumento di temperatura che si produce nelle aree urbane, fenomeno noto come *isola di calore urbana* (UHI) (Ewing Rong, 2008). D'altra parte, la geometria della struttura urbana e le proprietà termiche delle relative superfici sono i due principali parametri che influenzano il clima urbano (Oke, 1987; Oke et al, 1991). Infatti, l'urbanizzazione può incidere sul clima locale di una città più intensamente e più rapidamente di quanto non faccia il riscaldamento globale (...). L'analisi della interazione tra struttura urbana e consumi energetici trova una formale esplicitazione nella

equazione del bilancio energetico di superficie (Parham; Fariborz, 2010). Per una superficie in equilibrio energetico, vale la seguente relazione:

$$R_n = Q_H + Q_E + Q_G = R_g (1-A) - R_L \quad (1)$$

che esprime come gli input energetici e cioè la radiazione netta (R_n) sono utilizzati per riscaldare l'aria a contatto con il suolo (innescando un flusso di calore sensibile Q_H); evaporare o traspirare, se ci sono dei vegetali, l'acqua (innescando un flusso di calore latente Q_E); riscaldare l'interno del suolo (innescando un flusso di calore nel suolo Q_G).

La radiazione netta (R_n) è frutto, a sua volta, del bilancio tra la radiazione solare globale in arrivo (R_g), al netto dell'albedo (A), e l'emissione di radiazione a onda lunga della superficie della Terra (R_L). I gas serra, insieme alle nubi e al pulviscolo atmosferico, agiscono sul termine R_L , intercettandolo in parte e reirradiandolo verso il suolo. In tal modo, limitano il raffreddamento della superficie terrestre per irraggiamento verso lo spazio.

La presenza di un'area urbana modifica i termini dei due bilanci e introduce due termini nuovi, il flusso di calore antropogenico Q_F e il flusso di calore immagazzinato nella struttura urbana ΔQ_S .

Q_F è una sorgente aggiuntiva di calore che deriva dalle attività umane e dai consumi energetici che esse comportano, come traffico, riscaldamento, combustione industriale, produzione e uso di energia elettrica.

ΔQ_S dipende dai materiali e dalla geometria della struttura urbana, ma soprattutto dalla densità di edifici. In prima approssimazione, si esprime esprimere ΔQ_S in funzione delle quantità di spazi verdi (λ_s) e di aree edificate (Oke 1981).

In complesso, dunque, le aree urbane, rispetto a quelle rurali, sono più ricche d'energia e tale squilibrio si acuisce ulteriormente in virtù di ulteriori fonti di calore presenti.

3 Metodologia

La metodologia proposta per l'individuazione di ambiti di criticità energetica necessita di un livello di conoscenza del territorio ordinariamente assunto per la redazione di uno strumento di pianificazione urbanistica strutturale su base comunale.

Essa si compone delle seguenti fasi:

- selezione di un set indicatori, per misurare l'influenza della struttura urbana su Q_F e ΔQ_S ;
- costruzione di factor map per ciascun indicatore selezionato, esaustive dell'intero tessuto insediativo;
- individuazione degli ambiti di criticità energetica.

3.1 Prima fase

La prima fase parte dalla considerazione che la geometria dei tessuti insediativi e le proprietà termiche delle relative superfici sono i due principali parametri che influenzano il clima urbano (Oke, 1987; Oke et al, 1991), sono stati selezionati un insieme di indicatori, in funzione del grado di conoscenza disponibile, che consente di misurare le caratteristiche morfometriche della struttura urbana, che influenzano rispettivamente QF e ΔQ_S .

Tabella 1 – Indicatori selezionati

<i>Indicator</i>	<i>Formula</i>	<i>Description</i>
Thermal dispersion index	S/V	S= dispersive surface area V= volume heated
Inverse coefficient of refraction	$1/\sum C_i \cdot A_i / \sum A_i$	C_i = coefficient of refraction of a given material; A_i =surface area of a specific material.
Aspect Ratio	$\sum H_i \cdot D_i / 2 \sum W_i \cdot D_i$	H_i = height of the i-th front of the building facing the street. d_i = linear extension of the i-th front of the building facing the street. W_i = distance between i-th front of the building and the street.

In merito all'influenza su QF è stato selezionato l'indice di dispersione termica (Idt) Quest'ultimo pone l'attenzione sulla compattezza dell'edificio in termini di rendimento energetico (cfr. Dlgs 192/05, Dlgs 311/06, Dir 2002/91/CE). Esso è dato dal rapporto tra la superficie disperdente, ovvero la sommatoria delle superfici a contatto con l'esterno ad esclusione delle superfici in aderenza tra gli edifici, e il volume riscaldato. A parità di volume racchiuso dall'involucro, edifici con una forma compatta ($S/V < 0,6$) presentano minori dispersioni termiche, mentre edifici con forme irregolari ($S/V \geq 0,6$) aumentano sensibilmente la superficie di scambio e, quindi, incrementano le stesse dispersioni.

In merito all'influenza su ΔQ_S , è stato selezionato l'inverse coefficient of refraction (ICrm) e l'Aspect ratio (Ar). Il primo prende in considerazione l'assorbimento/riflessione della frazione infrarossa della radiazione solare e del reirraggiamento artificiale dovuto alla morfologia urbana. Si tratta di un indicatore che consente di misurare l'albedo di tutte le superfici esposte ad irraggiamento. Valori alti di tale coefficiente manifestano una propensione all'assorbimento.

L'applicazione di tale indicatore richiede, l'individuazione della tipologia di materiale, la sua estensione superficiale e la definizione del relativo coefficiente di riflessione. Per l'individuazione delle diverse tipologie di materiale, si ricorre ad una indagine diretta,

attraverso l'interpretazione del rilievo fotografico, oppure sfruttando le potenzialità del telerilevamento termico (Quattrocchi, 2009). Per quanto attiene alla definizione dei coefficienti di riflessione ci si rifà ai valori proposti dalla norma UNI 8477/1

Tabella 2 – Valori del coefficiente di riflessione per le categorie di materiale selezionate

<i>Tipo di suolo</i>	<i>Coefficiente di riflessione</i>
Strade sterrate	0.04
Asfalto invecchiato	0.10
Calcestruzzo invecchiato	0.22
Tetti o terrazze in bitume	0.13
Pietrisco	0.20
Superfici scure di edifici (mattoni e vernici scure)	0.27
Superfici chiare di edifici (mattoni e vernici chiare)	0.60

Il secondo indicatore tiene conto del fatto che l'emissione nell'infrarosso delle superfici (RL) viene in parte intrappolata nei canyon urbani () e reirradiata verso terra.

L'Aspect ratio è una delle grandezze che, sulla base di vari studi, risulta ben correlata con la massima intensità dell'isola di calore(OKE 1981)³:

3.2 Seconda fase

La seconda fase, consiste nella spazializzazione dei diversi indicatori, relativamente al sistema insediativo indagato. Innanzitutto, si procede all'individuazione degli eventi rappresentativi dell'occorrenza spaziale del fenomeno considerato a cui gli indicatori si rifanno, gli edifici e le strade.

L'evento edifici, rappresentato attraverso una primitiva poligonale, viene trasformato in una primitiva di tipo puntuale, individuando così il point pattern di partenza, mentre, le strade vengono schematizzate mediante archi di grafo.

Si passa, quindi, al calcolo della densità attraverso il metodo della KDE, che può considerarsi una evoluzione del metodo di calcolo della densità locale (Gatrell, 1995).

Essa associa una densità ad ogni punto dello spazio e non soltanto ai punti in cui si verifica l'evento.

La densità viene stimata contando il numero di eventi in una regione, detta kernel, centrata in corrispondenza del punto dove si vuole effettuare la stima.

³ $(T_{urb} - T_{rur})_{max} = a + b \cdot \ln(H/W)$

dove T_{urb} indica la temperatura dell'aria nella città, T_{rur} la temperatura simultanea in zona rurale. Il rapporto tra l'altezza degli edifici (H) e la distanza tra loro (W) influenza la quantità di radiazione sia in entrata sia in uscita.

Indicando con L il generico punto della regione di studio e con L_i le posizioni degli n eventi osservati, la densità $\lambda(L)$ può essere stimata dalla seguente funzione:

$$\hat{\lambda}(L) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{L-L_i}{\tau}\right) \quad (2)$$

Il parametro τ rappresenta la larghezza di banda, ovvero il raggio del cerchio centrato in L , all'interno del quale gli eventi contribuiscono alla stima. La definizione di tale raggio influenza sensibilmente i risultati dell'analisi ed è, pertanto, l'aspetto più delicato da trattare nelle applicazioni del metodo.

k è, invece, la funzione di kernel, in grado di pesare gli eventi a seconda della loro distanza dal punto dal quale viene stimata.

Nell'applicazione si è utilizzato come attributo, l'indice di dispersione e il coefficiente di riflessione medio.

Per quanto riguarda la definizione della larghezza di banda, la quale influenza sensibilmente il risultato, si è operata una combinazione dalla definizione di centro abitato fornita dal nuovo Codice della Strada (D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285) e di località abitate dell'Istat, giungendo all'individuazione di una larghezza di pari a 100 metri (Gerundo, Grimaldi, 2009).

In tal modo si ottengono due factor map rappresentative della distribuzione di densità relativa alla compattezza e alla riflessione dei singoli edifici.

Da ultimo, mediante classificazione degli archi rispetto ad Ar , si ottiene la terza factor map.

3.3 Terza fase

La terza fase, consiste nella costruzione della mappa degli ambiti di criticità energetica ottenuta mediante operazioni di map overlay tra le factor map $ICrm$ e Idt , opportunamente normalizzate.

La mappa risultante viene clasterizzata in funzione del grado di intensità.

Tuttavia, la scelta del metodo di classificazione può portare a rappresentazioni del fenomeno del tutto diverse. Volendo mettere a punto un metodo generale, si è scelta, per la definizione dei range di intensità, tra le varie tecniche di classificazione, il metodo Natural Break (Janks, 1969). Successivamente le classi individuate sono state etichettate in low(B), medium(M), high (A), and very high (MA).

Successivamente, mediante overlay intersect tra tale mappa è la factor map di Ar , anch'essa classificata in funzione del grado di intensità, si ottiene una mappa di sintesi che consente di individuare gli ambiti di criticità.

4 Caso studio

La metodologia proposta è stata testata sul tessuto insediativo del Comune di Palma Campania, Italia⁴ (Figura 2). L'analisi è stata effettuata sulla base del sistema informativo geografico costruito nell'ambito della redazione del Piano urbanistico comunale citato. Il dataset di partenza è costituito da un supporto cartografico di tipo vettoriale alla scala 1:2000, realizzato a partire da un rilievo aerofotogrammetrico datato 2010, a cui è associato un database alfanumerico contenente informazioni su volumetrie, superfici coperte ed uso del suolo. In particolare, le unità di base considerate sono rappresentate da features poligonali, gli edifici, e features lineari, gli archi stradali.

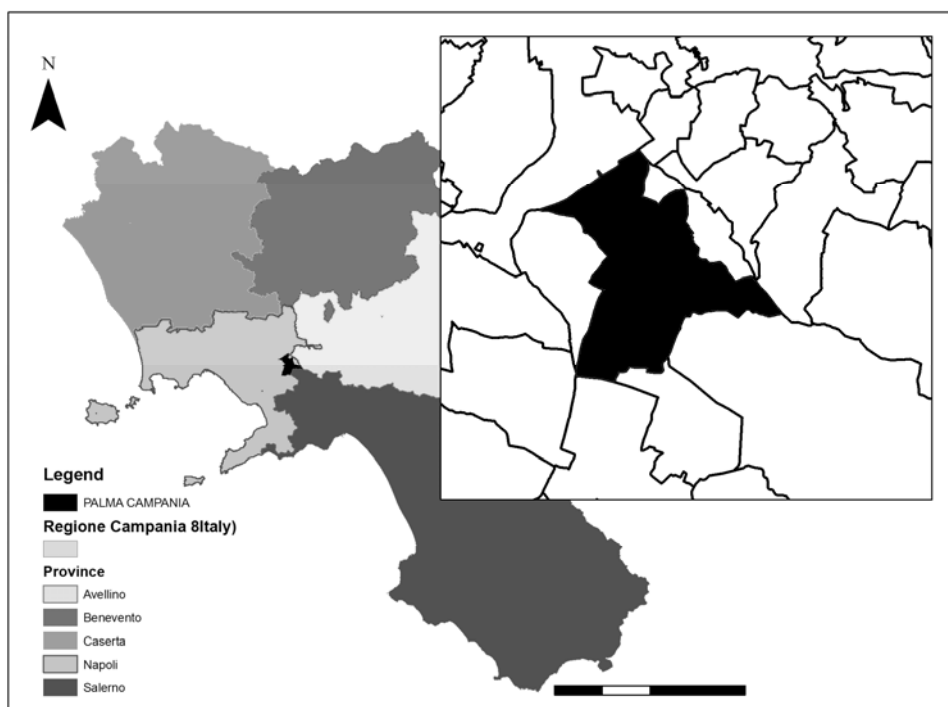


Figura 2 – Geographic location of the study area, Palma Campania, Southern Italy

In merito alla misurazione degli indicatori, rappresentativi delle caratteristiche morfometriche della struttura urbana, si è proceduto ad una prima suddivisione delle componenti del tessuto urbano in superfici orizzontali e superfici verticali, trasformando la features class poligonali in features class di tipo multi patch, con conseguente allineamento dei campi. Alle prime appartengono la totalità delle superfici stradali (asfaltate o assimilabili) e le coperture degli edifici che vengono considerate tutte piane. Per quanto concerne le superfici verticali,

⁴ Tale attività è stata svolta nell'ambito della convenzione stipulata in data 23.03 .2010 tra il Comune di Palma Campania e il Dipartimento di Ingegneria civile dell'Università degli Studi di Salerno (responsabile scientifico prof. ing. Roberto Gerundo, coordinatore prof. ing. Isidoro Fasolino)

rientrano in tale categoria la totalità delle facce degli edifici, ad esclusione delle superfici di contatto tra questi ultimi. In tal modo, si è individuata la superficie disperdente per calcolare l'indice di dispersione.

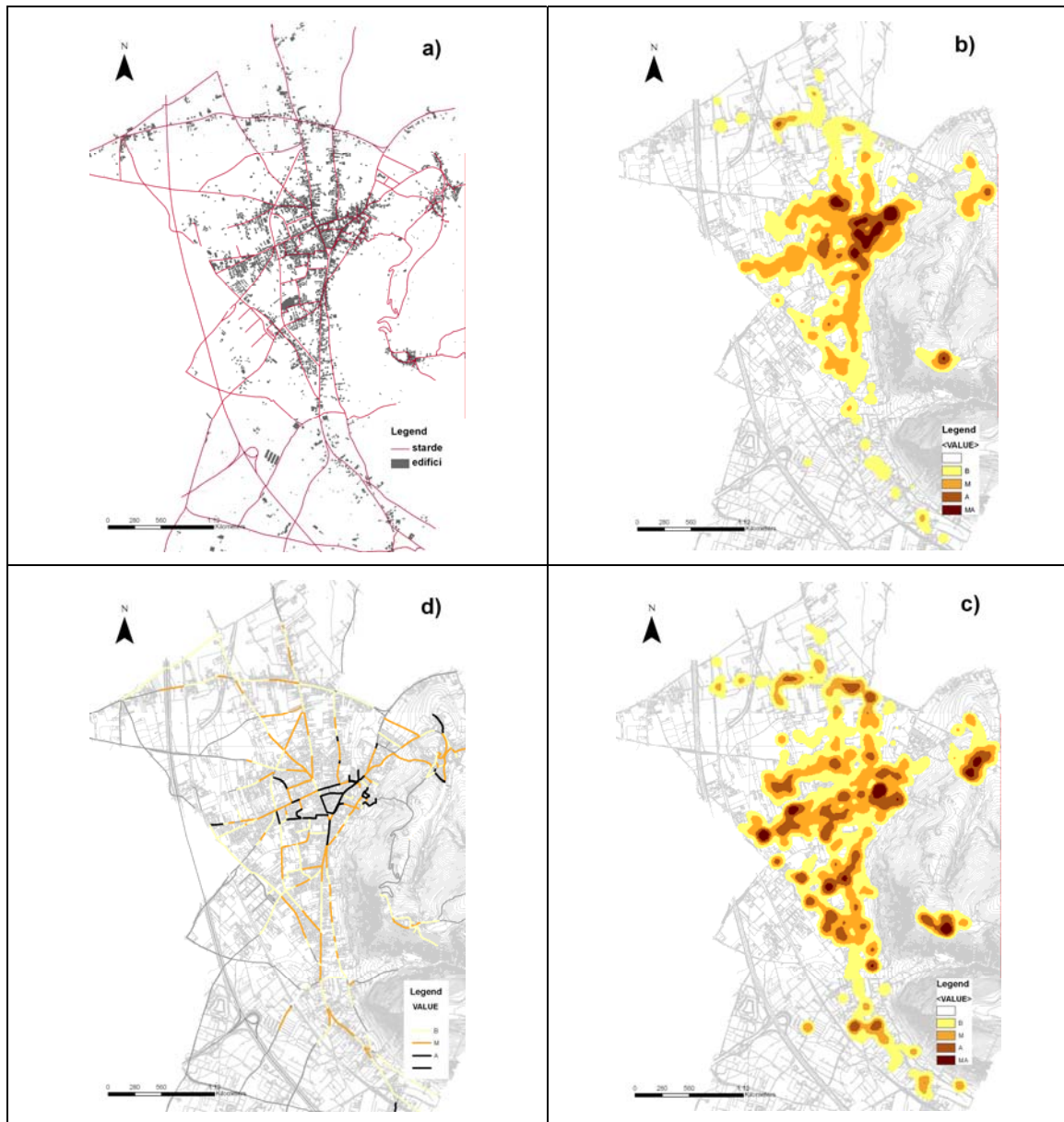


Figura 3 – Urban structure (a). Factor map rappresentative of the spatial distribution of each indicator: ICrm (b); IDt (c); Ar (d)

In merito al calcolo di ICrm, essendo le pareti riflettenti degli edifici, in particolare, per i più recenti, costituite da un numero elevato di facce, ciascuna delle quali, in molti casi, in materiali di natura diversa, si è ritenuto ammissibile adottare, per ogni singolo edificio, un coefficiente di riflessione prevalente, rispetto all'estensione delle superfici dello stesso. Per il calcolo dell'Ar, si è calcolato, per ciascun arco stradale, sia la distanza media pesata dalle facciate prospicienti la strada sia il valore medio pesato della loro altezza.

Costruite le factor map per ciascuno dei tre indicatori, si ottiene la mappa di sintesi che consente di definire le soglie di intensità del fenomeno indagato, per il tessuto urbano considerato. Dal confronto tra la mappa di densità del Crm e quella di Id, emerge una sostanziale differenza del fenomeno indagato. Nel primo caso (Figura 1.a), la distribuzione identifica un ambito concentrato, connotato da livelli di densità *molto alto–alto* che, di fatto coincide con il tessuto storico e le sue propaggini consolidate, nettamente distinto dalla restante parte del tessuto insediativo, che, invece, assume livelli medio-bassi. Tale situazione è da ascrivere alla predominanza di colori scuri degli edifici nel centro storico, rispetto alla restante parte del tessuto insediativo.

L'analisi della seconda mappa (Figura 1.b), invece, mostra una situazione completamente differente. I picchi di intensità si presentano distribuiti su tutto il tessuto insediativo. Ciò perché le tipologie edilizie sono molto varie all'interno del tessuto insediativo indagato e, con esse, la compattezza degli edifici stessi.

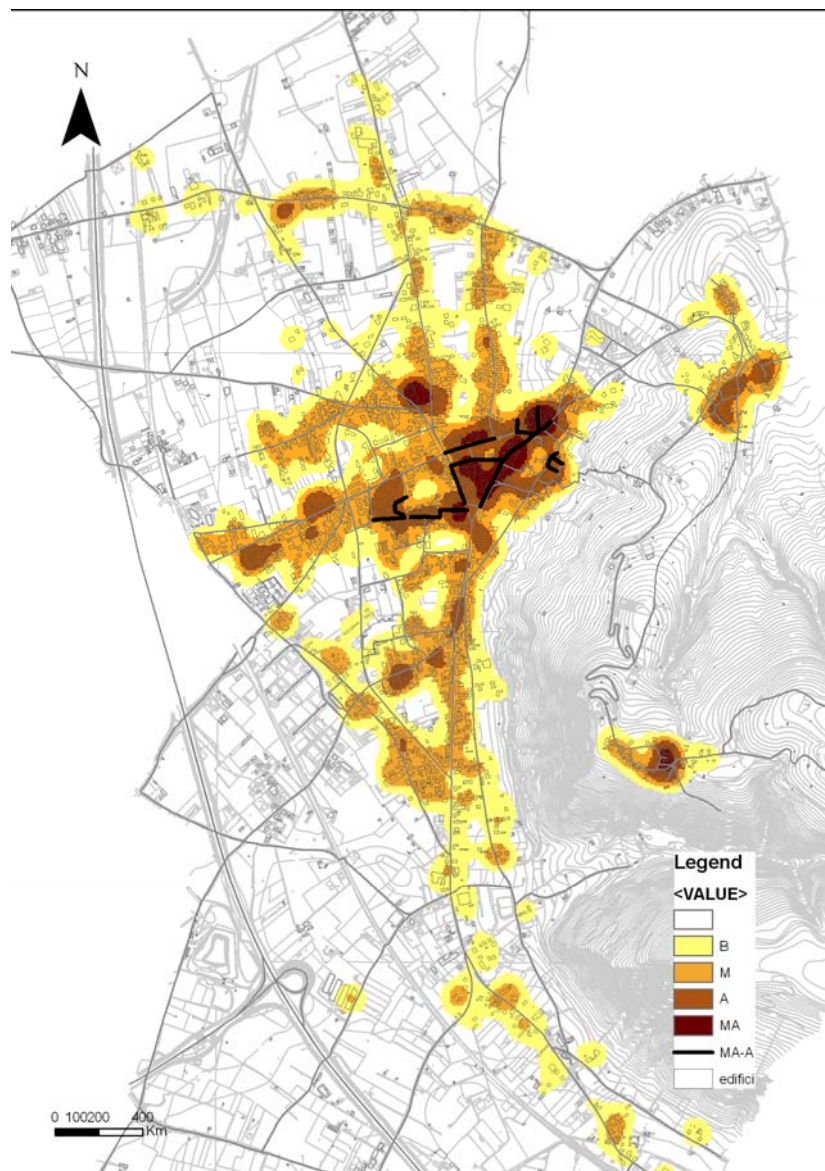


Figura 3 –Ambiti di criticità energetica

Infine, la lettura della mappa di sintesi consente di individuare gli ambiti di criticità energetica. Si tratta delle porzioni di tessuto corrispondenti a livelli di intensità molto alto e alto, unitamente alla presenza di archi con analogo livello di intensità. Nel caso in esame, essi si concentrano nella parte di tessuto storico e nelle sue propaggini consolidate.

5 Conclusioni

Il lavoro presentato, ha avuto quale obiettivo l'implementazione dei criteri di sostenibilità energetico-ambientale all'interno dei processi di organizzazione urbanistica.

Il presente contributo fornisce una modalità di analisi del tessuto insediativo, in termini di criticità energetica, applicabile a qualsiasi sito in modo semplice ed efficace. Essa consente di irrobustire i quadri conoscitivi e favorisce l'integrazione della variabile energetica in un idoneo livello di pianificazione corrispondente a quello strutturale.

Il metodo prevede una doppia interpretazione dei risultati. Una lettura per singola mappa o anche della mappa di sintesi. In tal modo, è in grado di fornire robuste indicazioni, sia per costruire una strategia di riqualificazione energetica sia per selezionare azioni di assetto futuro del sistema insediativo.

In particolare, le azioni di riqualificazione interesseranno gli ambiti con maggiore intensità di criticità e potranno riguardare la selezione di materiali a minore ammettenza termica, la diminuzione delle pavimentazioni impermeabili in favore di quelle permeabili, o l'aumento delle superfici vegetate in area urbana, dato che difficilmente si riuscirà ad intervenire sulla geometria dell'edificato.

Tuttavia, uno sviluppo futuro del metodo risiede nella possibilità di contribuire a selezionare nuove azioni volte alla crescita del sistema insediativo e della mobilità.

In particolare, si va ormai consolidando l'idea di un modello di città compatta (), privilegiando azioni di densificazione, con conseguente saturazione di spazi urbani liberi, generalmente coperti da vegetazione.

Pertanto è cruciale, in fase di pianificazione urbanistica, individuare criteri che consentano di selezionare opportunamente tali spazi, poiché essi influenzano significativamente il clima urbano. Un criterio potrebbe essere quello della prossimità agli ambiti critici appena individuati.

Pertanto, il modello andrebbe integrato portando in conto anche il grado di permeabilità, la copertura vegetale e introducendo opportuni indicatori capaci di interpretare il rapporto spaziale tra gli ambiti individuati e gli spazi liberi.

6 Bibliografia

- De Wilde S. and Van Den Dobbelsteen A. (2004), “Space use optimisation and sustainability – Environmental comparison of international cases”, *Journal of Environmental Management*, 73, 91–101.
- Ewing R., Rong F. (2008), “The impact of urban form on residential energy use”, *Housing Policy Debate*, 19(1), 1–29.
- Gatrell A.C., Bailey T. C., Diggle P.J., Rowlingson B.S., (1995), *Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology*, Transaction of institute of British Geographer.
- Gerundo R, Grimaldi M. (2009), Density measurements and landscape metrics in the analysis of urban form, in Scarlatti F., Rabino G. (a cura), *Advance in Models and Methods for planning*, Pitagora Editrice pp 29- 39
- IEA (2008), *World Energy Outlook*, International Energy Agency, Paris.
- Jenks G.F. (1967), “The Data Model Concept in Statistical Mapping”, *International Yearbook Cartography*; 7, 186-190.
- Krüger E., Pearlmutter D., Rasia F. (2010), “Evaluating the impact of canyon geometry and orientation on cooling loads in a high-mass building in a hot dry environment”, *Applied Energy*, 87, 2068–2078
- Morris A. (1994), *A history of urban form: Before the industrial revolutions*. Longman.
- Nunez M. and Oke T.R. (1977) “The energy balance of urban canyon”, *Journal of Applied Meteorology*, 16,11-19.
- Oke T.R. (1981), The surface energy budgets of urban areas, in: *Modeling the Urban Boundary Layer*. AMS, Boston
- Oke T.R., (1981), “Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: compareson of scale model and field observations, *Journal of Climatology*, 1, 237-254.
- Oke T.R. (1987), *Boundary layer climate*, London: Routledge.
- Oke T.R., Johnson G.T., Steyn D.G., Watson I.D. (1991), “Simulation of surface urban heat islands under ideal conditions at night”, Part 2. Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology*, 56, 258-339.
- Parham A. M. Fariborz H. (2010) “Approaches to study Urban Heat Island e Abilities and limitations” *Building and Environment*, 45, 2192-2201.
- Quattrochi D.A., Luvall J.C., (2009), *Thermal Remote Sensing in Earth Science Rsearch*, Timothy A. Warner
- Ratti C. et. Al. (2005), “Energy consumption and urban texture”, *Energy and Buildings*, 37, 762–776.

- Steemers K. (2003), "Energy and the city: Density, buildings and transport", *Energy and Buildings*, 35(1), 3–14.
- Tobler W. (1970), "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region", *Economic Geography*, 46(2), 234-240
- WMO (World Meteorological Organisation) (2008), *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. WMO-No. 8.
- Campos Venuti G. (2005) "Una strategia per il riequilibrio delle trasformazioni territoriali", *Urbanistica* 126.

Abstract

Up until now the energy issues has been left into the background by urban planning, but with the onset of the current global emergency, characterized by the now evident climate change situation and by major modifications of the contemporary energy paradigm, this issue becomes central. This paper proposes a methodology with the aim to identify areas of critical energy consumption in the urban fabric, in order to integrate the typical framework of urban planning knowledge and to support territorial development strategies that bring the energy issue into account in a proper way, for example by identifying priority actions for the mitigation of energy consumption at a urban scale. In particular, a local-type spatial analysis has been adopted, GIS based, using a Kernel density estimation (KDE), an estimation method that aims at observing density distribution patterns in the distribution of punctual events in space.