

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II**



Facoltà di Ingegneria

Dottorato di ricerca in Ingegneria dei Sistemi Idraulici,
di Trasporto e Territoriali
XXVII ciclo
Indirizzo “Governo dei Sistemi Territoriali”

Allieva

Floriana Zucaro

Titolo della Ricerca

**Sistema fisico della città e governance energetica:
un modello interpretativo**

Coordinatore di dottorato:

prof. arch. Elvira Petroncelli

Tutor:

prof. arch. Carmela Gargiulo

Controrelatore

prof. ing. Maurizio Giugni

INDICE

CAPITOLO 1 SVILUPPO URBANO E CONSUMI ENERGETICI: IL TREND EVOLUTIVO	5
1.1 Introduzione	6
1.2 Dinamiche urbane e demografiche	6
1.3 La questione energetica nello scenario internazionale	8
1.4 La città come luogo energivoro	15
CAPITOLO 2 POLITICHE, STRATEGIE ED ESPERIENZE IN EUROPA E IN ITALIA	18
2.1 Introduzione	19
2.2 Politiche e strategie europee per il risparmio e l'efficienza energetica nelle aree urbane.....	19
2.3 Progetti e iniziative europee per il risparmio e l'efficienza energetica a scala urbana	26
<i>Energy Cities e Imagine Low Energy Cities</i>	28
<i>ENSURE</i>	30
<i>Energycity</i>	31
<i>STEEP</i>	32
2.4 Strategie e strumenti per il risparmio e l'efficienza energetica in Italia: il quadro nazionale e locale	34
CAPITOLO 3 IL DIBATTITO SCIENTIFICO SUL TEMA DEI CONSUMI ENERGETICI ALLA SCALA URBANA	41
3.1 Introduzione.....	42
3.2 La dicotomia compatto vs sprawl nell'ottica energetica	42
3.3 Le relazioni tra ambiente costruito e consumi energetici.....	45
CAPITOLO 4 I PRINCIPALI MODELLI DI RIFERIMENTO ORIENTATI AL RISPARMIO ED ALL'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO	53
4.1 Introduzione	54
4.2 Le categorie di modelli	54
<i>Modelli top-down</i>	55
<i>Modelli bottom-up</i>	56
<i>Modelli ibridi</i>	57
4.3 I principali modelli bottom up	59
<i>Energy and enviromental prediction model - EEP</i>	60
<i>Residential building energy consumption model</i>	60
<i>Method to analyze large data sets of residential electricity consumption to inform data-driven energy efficiency</i>	63
<i>Community domestic energy model – CDEM</i>	64

<i>Residential building typology – Italy</i>	65
4.4 Alcune applicazioni a scala di quartiere	68
4.5 Conclusioni	71
CAPITOLO 5 LA METODOLOGIA PER LA MESSA A PUNTO DEL MODELLO INTERPRETATIVO	73
5.1 Introduzione	74
5.2 Le fasi della messa a punto del modello interpretativo	75
5.3 Le variabili di riferimento	80
5.4 La misurazione della densità dell’insediamento	83
5.5 La misurazione del raggio di influenza delle aree verdi	94
CAPITOLO 6 LE RELAZIONI TRA CARATTERISTICHE FISICHE E CONSUMI ENERGETICI	101
6.1 Introduzione	102
6.2 La procedura operativa	103
6.3 Le variabili di sintesi	108
<i>Densità dell’insediamento</i>	108
<i>Area di influenza degli spazi verdi</i>	111
<i>Altezza degli edifici</i>	113
<i>Epoca di costruzione degli edifici</i>	114
6.4 La classificazione delle tipologie di area	115
<i>La classe “espansione non regolata”</i>	118
<i>La classe “tessuto di pregio”</i>	121
<i>La classe “tessuto pianificato”</i>	124
6.5 Le tipologie di area ed i consumi energetici	126
<i>La classe “espansione non regolata” ed i consumi energetici</i>	127
<i>La classe “tessuto di pregio” ed i consumi energetici</i>	130
<i>La classe “tessuto pianificato” ed i consumi energetici</i>	133
6.6 Spazio fisico e consumi energetici: questioni aperte e lavoro a farsi	136
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	143
SITOGRAFIA	155
FONTE IMMAGINI	156

CAPITOLO 1. SVILUPPO URBANO E CONSUMI ENERGETICI: IL TREND EVOLUTIVO

1.1 Introduzione

L'obiettivo di questo capitolo è quello di comprendere le implicazioni dei fenomeni di sviluppo urbano e demografico in termini di consumo di energia, per evidenziare il ruolo che le aree urbane rivestono nelle tematiche di sostenibilità energetica ed ambientale, ad oggi fondamentali per le politiche di crescita e sviluppo. I seguenti paragrafi, quindi, forniscono una descrizione dei processi di urbanizzazione e crescita demografica, sia attuali che futuri, in relazione ai consumi energetici.

1.2 Dinamiche urbane e demografiche

L'evoluzione delle aree urbane, così come le trasformazioni territoriali, sono avvenute in ragione dello sviluppo di nuove fonti di energia e di nuove tecnologie, oltre che per fattori quali il sinecismo¹ urbano, l'organizzazione funzionale e la necessità di comunicazione. Città preindustriale, città industriale e città postindustriale (Sjoberg, 1960; Biocca, 1987; Mega, 2005; Fistola & Mazzeo, 2009) hanno contrassegnato epoche storiche di lunghezza temporale diversa, segnando il passaggio da un'economia e una produzione prevalentemente agricola ad una di tipo industriale, caratterizzata dall'innovazione tecnologica e da nuove forme di organizzazione dello spazio urbano. Tali transizioni sono state associate a considerevoli fenomeni di sviluppo urbano e demografico.

Prima del 1800 le grandi città (quelle con oltre 100.000 abitanti) hanno rappresentato realtà esigue: basti pensare che agli inizi del XIX secolo queste erano pari a 23 e che la maggior parte erano localizzate in Inghilterra, il Paese con il più alto numero di abitanti nelle aree urbane, in città quali Liverpool, Manchester, Bristol e Nottingham (Treccani). Il 45% della popolazione inglese già nel 1850, anno in cui Londra è la maggiore città europea con due milioni di abitanti, viveva nelle aree urbane, per poi raggiungere il 75% nel 1910.

Allargando lo sguardo a tutta la popolazione mondiale, quella urbana ha rappresentato circa il 4-6% del totale prima del 1700, subendo una forte accelerazione nel primo trentennio del XX secolo, con un tasso di crescita urbana pari a circa il 18% (Grubler & Buettner, 2013).

¹ Il termine sinecismo descrive l'azione dell'uomo di riunirsi in gruppo e di scegliere un'area comune dove insediarsi.

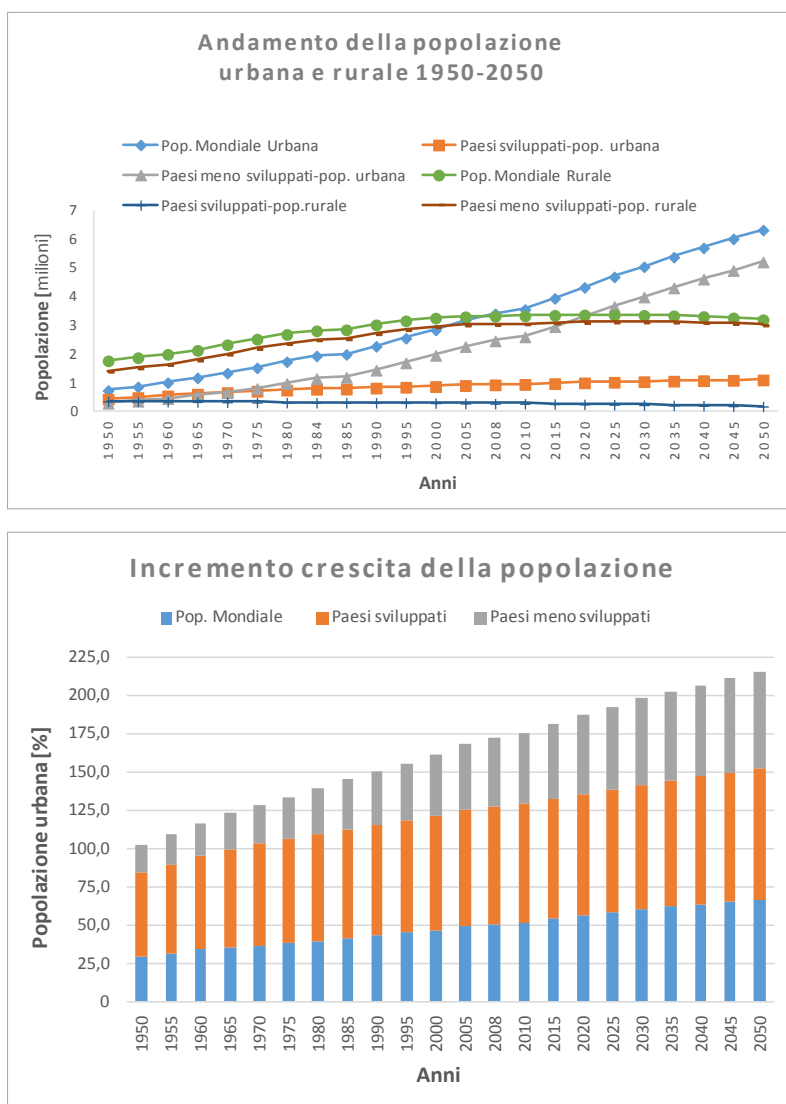


Figure 1a e 1b: andamenti della popolazione urbana e rurale nel periodo 1950-2050.

A partire dal XX secolo il fenomeno di inurbamento della popolazione ha iniziato ad assumere proporzioni tali da avviare il processo di aumento della popolazione urbana rispetto a quella rurale. Gli studi delle dinamiche demografiche ed urbane effettuati principalmente dall'UN HABITAT (2006 e 2008) e dall'UN DESA (Dipartimento degli Affari Sociali ed Economici, 2010) hanno riscontrato che nel 1950 solo il 30% della popolazione mondiale viveva in aree urbane, in pratica, 29 abitanti ogni 100; nel 1990 questa aliquota ha raggiunto il 45% e la popolazione urbana si è più che triplicata, giungendo a 2,4 miliardi, con un ritmo di crescita, quindi, più rapido di quello della popolazione mondiale.

L'ininterrotto e progressivo aumento del tasso di crescita urbana ha determinato nel 2008 «an invisible but momentous milestone» (UNPF, 2007) per tutti i processi

[7]

evolutivi: per la prima volta nella storia dell'umanità, la popolazione urbana ha superato quella rurale, con un'aliquota di oltre il 50% (UN PD, 2011).

In accordo con gli attuali trends di crescita demografica, gli scenari previsionali stimano che intorno al 2030 cinque miliardi di persone risiederanno nelle aree urbane, ovvero il 48% circa della popolazione mondiale, pari a otto miliardi, e quindi il triplo della popolazione urbana del 1950. Questo futuro stato di fatto comporta che le città dovranno essere in grado di accogliere più di un miliardo e mezzo di persone (1,7) in un arco di tempo pari a quindici anni.

In realtà, esaminando più in dettaglio le attuali dinamiche demografiche ed urbane, si rileva che i processi di crescita riguardano i Paesi meno sviluppati, dove l'83% della popolazione urbana risiederà nel 2050 (UN DESA, 2010). Africa e Asia saranno caratterizzate da «an urban transition» entro il 2050, considerato che alcune delle grandi città che si stanno ampliando più rapidamente si trovano in Africa e che la popolazione urbana asiatica presenta il più rapido tasso di crescita iniziato nel secolo scorso: da 234 milioni nel 1950, la popolazione urbana ha raggiunto il miliardo nel 1990 e si stima che sarà di 3.4 miliardi nel 2025. In Paesi come quelli europei e del nord America il tasso di crescita urbana rimarrà, invece, pressoché invariato nei prossimi 40 anni (UN HABITAT, 2008).

Sebbene la crescita urbana mondiale prevista nei prossimi decenni sarà trainata soprattutto dai Paesi in via di sviluppo, dove il fenomeno dell'urbanizzazione si sta verificando con un'intensità e una velocità nettamente superiori a quanto avvenuto nei Paesi occidentali, tutte le città, di fatto, sono chiamate ad affrontare le sfide per la sostenibilità, in quanto luoghi dove è possibile mettere in campo le azioni più efficaci per la loro risoluzione. Nei Paesi in via di sviluppo è, infatti, opportuno capire come gestire le future dinamiche di trasformazione territoriale in modo sostenibile, al fine di non aggravare ulteriormente gli squilibri ambientali, economici e sociali già presenti. Allo stesso tempo, nelle città dei paesi industrializzati occorre limitare l'uso delle risorse, puntando sull'efficienza e soprattutto sul risparmio: «it is no longer a question of 'if' each nation will begin the challenging transition to a greener economy but 'how' we will get there» (Living Cities, 2010).

1.3 La questione energetica nello scenario internazionale

La scoperta e la disponibilità delle diverse fonti energetiche hanno funto da catalizzatori per lo sviluppo economico dell'umanità: la scoperta del fuoco e

l'invenzione della macchina a vapore hanno, ad esempio, permesso di aumentare la disponibilità di energia, ottenendo una migliore qualità di vita, a parità di sforzi. Per gran parte della storia dell'umanità, è stato usato solo l'1-2% pro capite dell'energia che usiamo oggi; la forza muscolare umana ed animale ha a lungo costituito l'unica forza motrice che, da energia chimica acquisita tramite il metabolismo, era convertita in energia cinetica, anche se con una limitata potenza. Il successivo uso di altre fonti di energia, come l'acqua e il vento, hanno continuato a ricoprire aliquote trascurabili della produzione energetica (figura 2).

Tassi di crescita della popolazione urbana, dell'energia utilizzata e del PIL			
Arco di tempo	Popolazione [%]	Energia [%]	PIL [%]
7000 a.c. - 1	0,06	-	-
1 - 1000	0,02	-	0,01
1000 - 1500	0,1	-	0,14
1500 - 1600	0,24	-	0,29
1600 - 1700	0,08	-	0,11
1700 - 1820	0,46	-	0,52
1820 - 1870	0,41	0,63	0,94
1870 - 1900	0,68	1,16	1,93
1900 - 1920	0,88	2,01	3,06
1920 - 1940	1,06	1,18	1,12
1940 - 1950	0,95	2,24	1,71
1950 - 1960	1,87	3,85	4,68
1960 - 1970	1,95	5,15	5,02
1970 - 1980	1,86	2,6	3,82
1980 - 1990	1,73	1,8	3,08
1990 - 2000	1,44	1,34	3,06
2000 - 2010	1,18	2,33	3,51

Figura 2: evoluzione dei tassi di crescita della popolazione urbana, dell'energia e del Prodotto Interno Lordo (PIL).

Grazie all'utilizzo del carbone e, soprattutto, alla possibilità di trasformare il calore generato dalla sua combustione con il movimento meccanico (macchine a vapore), la disponibilità di energia è aumentata in misura tale da consentire il progressivo processo di industrializzazione. Fino al 1820 (figura 2) i tassi di crescita economica e demografica sono stati piuttosto contenuti, per poi iniziare a crescere più rapidamente e, perfino triplicarsi nel caso dei consumi energetici, nell'arco di cento anni: «il passaggio dallo stile di vita rurale a quello industriale accrebbe ancora una volta la quantità di energia da

catturare, conservare e utilizzare, questa volta imbrigliata e trasformata dalle macchine sotto forma di combustibili fossili. La nuova energia delle macchine agiva come un sostituto meccanico dello schiavo, moltiplicando la quantità di energia e di potenza disponibile sia pro capite sia per la società nel suo complesso» (Rifkin, 2002).

Tra il 1860 e il 1870 al mix di fonti energetiche utilizzate è stato aggiunto gradualmente il petrolio, che, con l'invenzione del motore a combustione interna, è diventato la fonte predominante di approvvigionamento nel sistema energetico.

Se il carbone ha consentito l'avvio della rivoluzione industriale, il petrolio ha di fatto modificato gli assetti economici, geopolitici ed energetici mondiali, anche grazie alla sua facilità di estrazione, trasporto e stoccaggio.

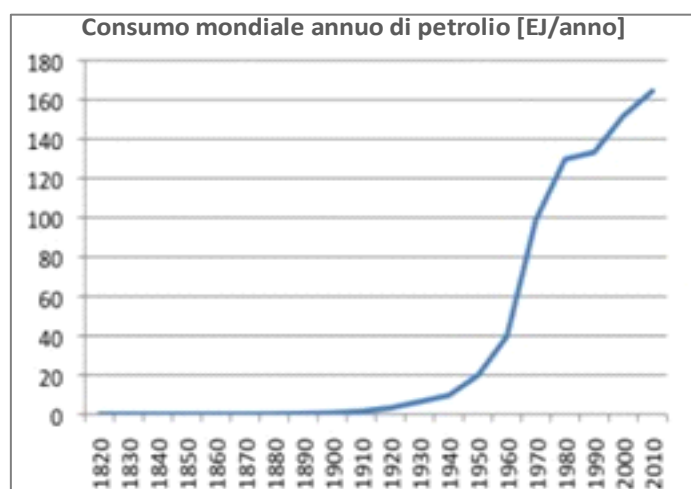


Figura 3: consumo annuale di petrolio nel mondo, nel periodo 1820-2010.

Il consumo di petrolio è cresciuto in modo continuativo durante il XX secolo, tanto da superare il carbone come principale fonte energetica mondiale: da 550 mila barili al giorno agli inizi del 1900, al oltre 10 milioni nel 1950 e 83 milioni nel 2005, sebbene il tasso di crescita è diminuito sensibilmente dopo le crisi degli anni '70 (Maugeri, 2006; UK ERC, 2009).

In ragione del ruolo significativo che il petrolio ha da sempre svolto, e continua a svolgere nell'economia mondiale, non deve sorprendere che il dibattito sulla sua prossima esauribilità ha iniziato a svilupparsi sin dagli inizi del secolo scorso.

L'Agenzia scientifica degli Stati Uniti che si occupa delle risorse e dei rischi naturali (U.S. Geological Survey-USGS) nel 1919 ha previsto che le risorse petrolifere nazionali si sarebbero esaurite nell'arco di un decennio e nel 1956 il geologo M. Hubbert ha reso

nota la sua teoria, il "picco di Hubbert²", sostenendo che la produzione statunitense di petrolio avrebbe raggiunto il livello massimo tra il 1965 e il 1970, per poi iniziare la propria costante discesa. La questione del picco di produzione petrolifera risulta essere ancora controversa, in quanto l'arco temporale in cui il picco si verificherà e il peso che le innovazioni tecnologiche e le politiche sul cambiamento climatico potrebbe avere sulla produzione, sul grado di utilizzabilità e sulla domanda, sono ancora elementi di forte incertezza difficili da determinare. Inoltre, l'interrogativo di quando si raggiungerà il picco risulta essere aggravato dalla riservatezza delle compagnie petrolifere e dei Paesi produttori sulle riserve accertate (Lohmann, 2009; Bridge, 2010).

L'ultimo report annuale dell'IEA relativo al mercato del petrolio, prevede che la domanda mondiale di petrolio crescerà dell'1,3% annuo durante il prossimo quinquennio, fino a raggiungere un consumo di 99,1 milioni di barili al giorno.

Ad oggi, il petrolio fornisce il 35-40% dei consumi mondiali di energia, e, in termini assoluti, si consuma più petrolio oggi che nel 1973, poiché, nel frattempo, i consumi energetici mondiali sono aumentati del 66%.

In relazione all'andamento dei consumi, le recenti valutazioni stimano che il picco di produzione si dovrebbe raggiungere intorno al 2030 (USGS, 2000; Rifkin, 2002; Yergin, 2009) un orizzonte temporale ormai prossimo, rispetto al quale le condizioni per un radicale cambiamento in termini di approvvigionamento energetico e sviluppo economico sono da considerarsi ancora inadeguate. In pratica, le stime sul picco di produzione, i tassi di crescita della domanda di petrolio ed i relativi prezzi, unitamente all'esigenza di ridurre le esternalità negative che l'uso di tale fonte fossile determina sull'ambiente, in primo luogo le emissioni climalteranti, rappresentano gli elementi caratterizzanti l'attuale scenario energetico.

Secondo i dati della British Petroleum (2013) la domanda di energia primaria³ nel periodo 1990-2010 è cresciuta del 45% e aumenterà del 39% nel prossimo ventennio, con un incremento annuale dell'1,7%. Tuttavia, è opportuno fare una distinzione tra i Paesi OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) e quelli che non appartengono a tale organizzazione internazionale: i primi saranno caratterizzati da un incremento dei consumi del 6% al 2030, con una crescita media annua pari allo 0,3%,

² Il geologo M.K. Hubbert sosteneva che l'evoluzione delle scoperte dei giacimenti petroliferi seguiva una curva a campana che partiva da zero, raggiungeva un punto di massimo (o picco) per poi scendere di nuovo a zero. Hubbert, pertanto, ipotizzava che la produzione di petrolio greggio potesse seguire un andamento simile e creò un modello matematico (curva di Hubbert) nel quale inserì i dati petroliferi di 48 Stati USA (rappresentato da una curva a campana della produzione con un picco corrispondente al momento in cui circa la metà delle risorse petrolifere sono esaurite).

³ L'energia primaria può essere definita come il potenziale delle fonti non rinnovabili nella loro forma naturale, ovvero, quando non hanno ancora subito alcuna conversione o processo di trasformazione.

mentre nei secondi si verificherà un aumento dei consumi del 68% con una crescita media per anno del 2,6%.

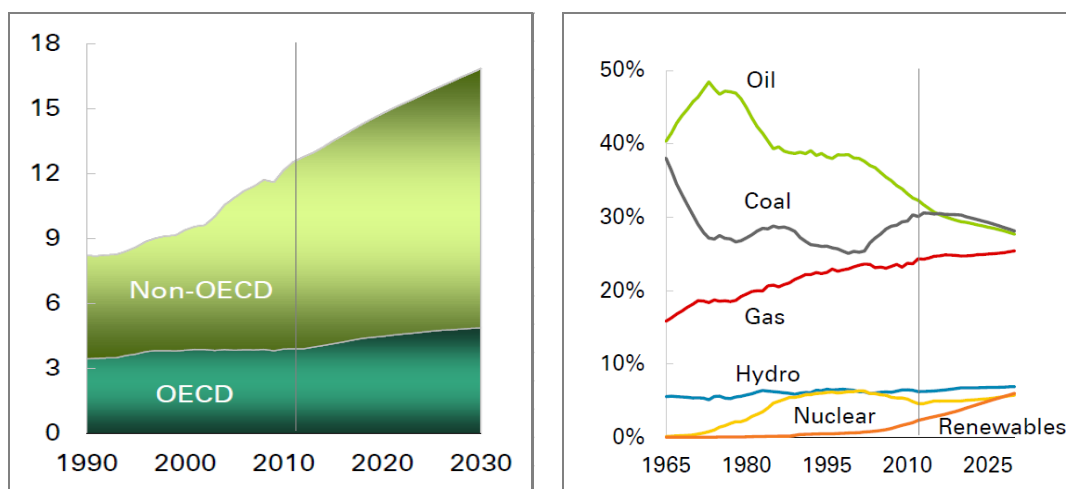


Figure 4a e 4b: consumo di energia primaria [miliardi di tep] (4a) e fonti di produzione di energia primaria (4b), dati BP.

Anche con riferimento ai dati dell'IEA (2011) la domanda mondiale di energia è in crescita ed i principali responsabili di questo aumento sono i Paesi non OECD: tra il 2007 e il 2035 tale domanda crescerà del 49%, con un ritmo dell'1,4% annuo e i Paesi non OECD consumeranno il 63% in più di quelli OECD al 2035, con un aumento medio annuo del 2,25%.

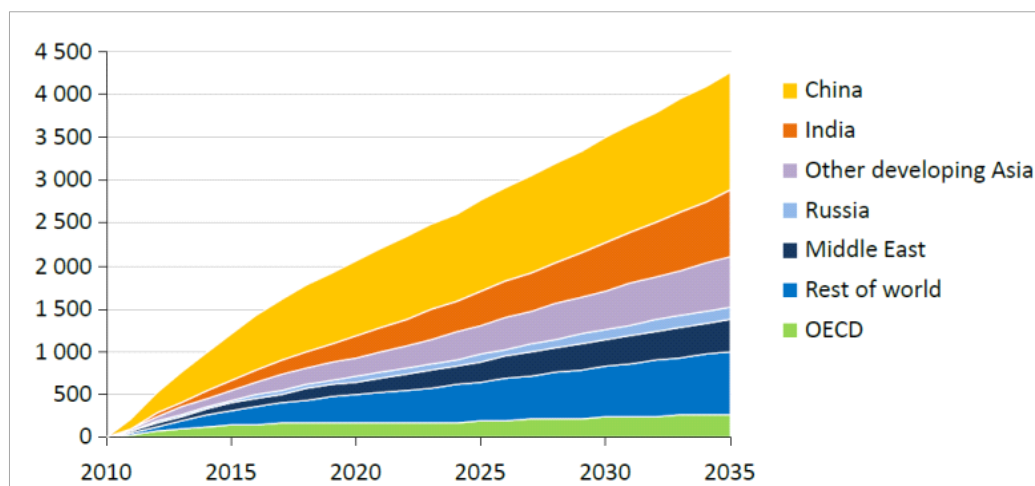


Figura 5: aumento della domanda di energia primaria [Mtoe] al 2035, dati IEA.

Le previsioni di entrambi i reports sui consumi energetici mondiali sono a grandi linee simili e risulta evidente che l'incremento sia del consumo che della domanda di energia sono relativi alla crescita demografica, economica e urbana dei paesi OECD e non-OECD.

La domanda di energia è, infatti, determinata da due fattori principali: lo sviluppo urbano ed economico, in accordo con le serie storiche dei dati. Dalla metà del XIX secolo il tasso di crescita dei consumi, pari al 2,05% è maggiore di quello della popolazione, 0,98%, ma, il tasso di urbanizzazione è superiore anche a quello dei consumi (2,10%). Queste aliquote di crescita fanno, quindi, desumere che l'aumento dei consumi energetici mondiali risulta essere legato allo sviluppo urbano, più che a quello demografico (De Pascali, 2008).

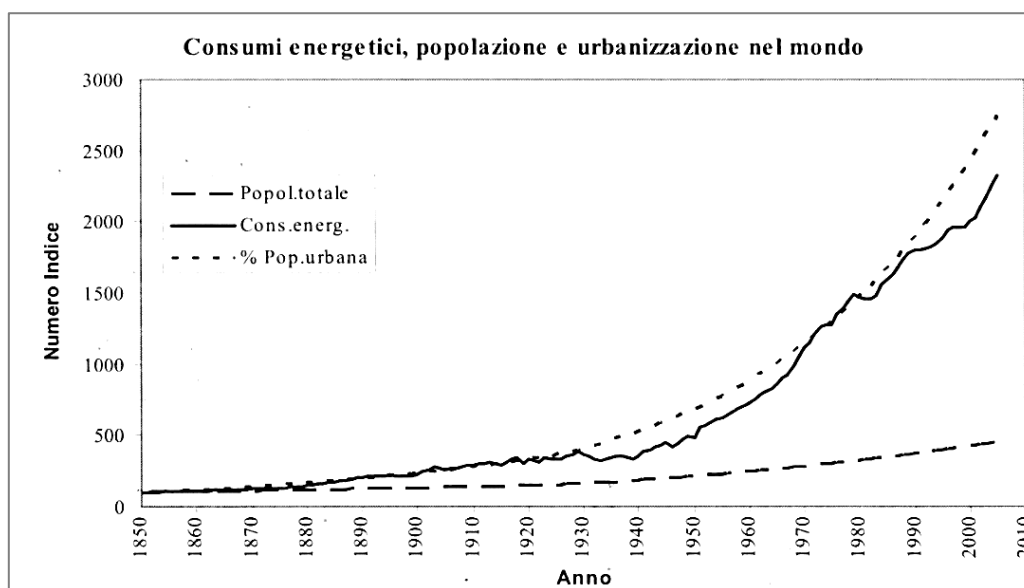


Figura 6: consumi energetici, popolazione e urbanizzazione nel mondo.

Le città, pur ricoprendo solo il 4% circa della superficie terrestre (Seto *et al.*, 2012), sono responsabili dei due terzi del consumo di energia primaria mondiale (67%), così come di un'aliquota superiore al 70% per quanto riguarda le emissioni di gas serra (Pacione, 2009; IEA, 2011).

Il ruolo chiave delle aree urbane negli scenari energetici mondiali è stato riconosciuto anche dall'IEA che, per la prima volta, nel 2008, ha effettuato un'analisi dei consumi energetici urbani nelle principali aree continentali (USA, Europa, Australia e Cina) all'interno dell'annuale report World Energy Outlook.

Ad eccezione della Cina, dove il consumo di energia pro capite è superiore a tutte le altre aree analizzate, in ragione del significativo processo di crescita urbana e demografica, il consumo per abitante è piuttosto simile, intorno allo 0,9 (figura 7). Tuttavia, le città europee tendono ad usare meno energia pro-capite di quelle americane ed australiane, in ragione della maggiore densità di popolazione e dei più estesi sistemi di trasporto pubblico urbano. Di contro, le città asiatiche sono

caratterizzate da una più alta intensità energetica pro capite, rispetto alla media nazionale, per i redditi più elevati e una migliore disponibilità di servizi energetici rispetto alle aree rurali.

Area	Aliquota della domanda di energia primaria urbana [%]	Domanda di energia primaria urbana per-capita/media regionale	Tasso di urbanizzazione [%]
USA	80	0,99	81
EU	69	0,94	73
Australasia	78	0,88	88
Cina	75	1,82	41

Figura 7: energia pro capite e tasso di urbanizzazione per i principali continenti.

I consumi energetici urbani sono destinati a crescere dell'1,9% annuo, rispetto ad un tasso complessivo di crescita dell'1,6%, raggiungendo i 12374 Mtep al 2030. In pratica, il consumo di energia mondiale ascrivibile alle città, passerà dal 63% al 73%.

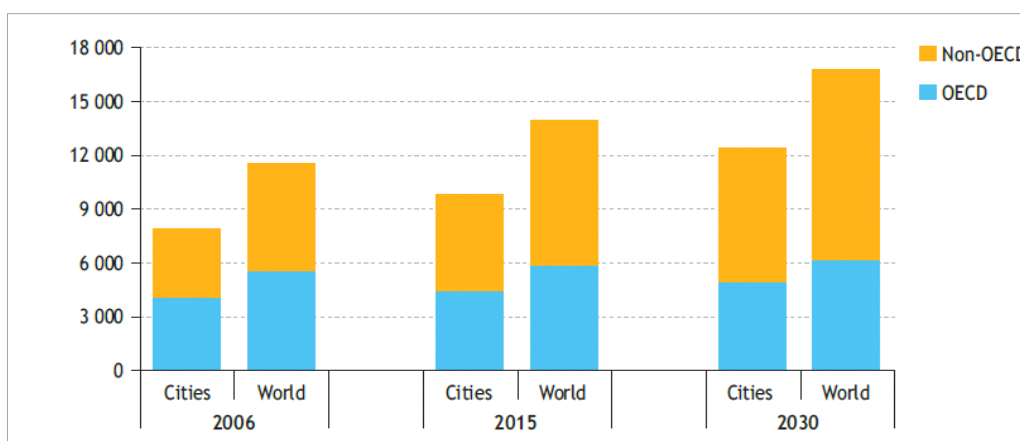


Figura 8: confronto tra i consumi di energia primaria a livello urbano e mondiale.

La descrizione dell'attuale quadro energetico, così come di quello futuro, in relazione alle dinamiche urbane sopra descritte, testimoniano che «il mondo è già prevalentemente urbanizzato» (Grubler & Fisk, 2013) e che quindi la scala urbana costituisce il livello territoriale strategico per investire radicalmente gli elevati tassi di consumo e di produzione di gas climalteranti: «la sostenibilità urbana riceve tanto una accelerazione spinta dall'impegno europeo alla riduzione delle emissioni dei gas climalteranti e dalle politiche di adattamento per la prevenzione del rischio indotto dagli impatti sul territorio del cambiamento climatico, quanto una svolta d'approccio che

[14]

mette ancora di più al centro la città, il modello di organizzazione metropolitano come macchina consumatrice di risorse e dissipatrice di energia» (Moccia, 2012). Tale consapevolezza nella messa a punto di politiche e azioni mirate a contenere i consumi energetici, ed a modificare il modello di sviluppo economico ed insediativo già da tempo auspicato, rappresenta il presupposto per lo sviluppo di questo lavoro di ricerca.

1.4 La città come luogo energivoro

Lo studio dei sistemi urbani ha da sempre rappresentato una tematica rilevante per numerose discipline scientifiche, in ragione dei processi di crescita urbana e demografica sopra descritti, dei cambiamenti economici, sociali e fisici che ne derivano (Douglas, 2013), nonché delle problematiche di sostenibilità che caratterizzano i sistemi insediativi.

Gli economisti analizzano i benefici derivanti dalla concentrazione delle attività industriali, produttive e dei servizi nelle aree urbane (Krugman, 1991; Fujita, *et al.*, 1999). Tali vantaggi si traducono principalmente in un miglioramento delle comunicazioni e delle modalità di trasporto, nonché l'aumento dei livelli di produttività e quindi di benessere economico (Glaeser, 1998; Davis & Henderson, 2003; Montgomery *et al.*, 2003).

Le innovazioni culturali, i cambiamenti e le reti sociali e l'interazione tra la geometria degli spazi urbani ed il modo di interagire di chi li abita e li utilizza, costituiscono i temi d'interesse della sociologia e soprattutto della moderna sociologia urbana (Mumford, 1961; Sassen, 2006; Nuvolati, 2011).

I geografi contemporanei dedicano la loro attenzione al ruolo della città nell'organizzazione della regione di appartenenza e alle relazioni tra processi di industrializzazione e processi di urbanizzazione in termini di distribuzione territoriale delle attività e delle funzioni urbane (Burgess, 1924; Lampard, 1965; Torres, 2002).

A partire dagli anni '70 il dibattito scientifico ha, invece, iniziato a porre particolare attenzione alle interrelazioni tra sistema urbano e tematiche ambientali ed energetiche, a seguito del periodo di recessione energetica (Beaumont *et al.*, 1981; Littler & Thomas, 1985; Owens, 1986). La grave crisi petrolifera conseguente la guerra del Kippur ha in pratica dato il via a quelle questioni che ad oggi rivestono un ruolo di primo piano in tutte le politiche di sviluppo: la necessità di utilizzare fonti energetiche rinnovabili, la vulnerabilità delle aree urbane alla fornitura di energia e il loro potenziale nella riduzione dei consumi e nella mitigazione dei cambiamenti climatici.

La situazione geopolitica ed economica degli anni '70 ha in primo luogo determinato la necessità di mettere a punto teorie ed approcci attraverso cui studiare il fenomeno dell'urbanizzazione, il conseguente consumo di risorse e la compatibilità tra le azioni

dell'uomo e le leggi che regolano il funzionamento dell'ambiente naturale. Poumanyong e Kaneko (2010) hanno descritto le tre principali teorie sviluppate a riguardo:

- modernizzazione ecologica: elaborata nei primi anni '80 sulla base dei lavori di Janicke (1985) e Huber (1982), assume che la soluzione ai problemi ambientali può essere raggiunta attraverso un intenso sviluppo della tecnologia e dell'industrializzazione, puntando sull'innovazione scientifica e tecnologica (Mol & Spaargaren, 2000). L'approccio della modernizzazione ecologica attribuisce un ruolo determinante alle dinamiche economiche e di mercato, che dovrebbero basarsi su processi di produzione "puliti", e alle amministrazioni pubbliche, dal livello nazionale a quello locale, capaci di promuovere processi decisionali partecipativi e condivisibili; elementi basilari ed innovativi della politica in chiave ambientale sono l'integrazione e la negoziazione (Mol, 2005).
- transizione ambientale urbana: lega i problemi ambientali delle aree urbane alle varie fasi di sviluppo economico (McGranahan *et al.*, 2001). Bassi livelli di sviluppo determinano problemi relativi all'approvvigionamento delle risorse, ad esempio quelle idriche; man mano che il benessere economico aumenta queste problematiche diminuiscono gradualmente ma, nascono le questioni relative all'inquinamento. Le città più sviluppate, caratterizzate dal progresso tecnologico e dal cambiamento del modello economico, arrivano, poi, ad affrontare problematiche legate agli eccessivi livelli di consumo.
- città compatta: assume che aree urbane caratterizzate da alte densità, mix funzionale ed elevata accessibilità, possono ridurre i consumi di energie e le emissioni di anidride carbonica (Jenks, 1996; Gordon & Richardson, 1997). Tuttavia, alcuni studiosi sostengono che elevati valori di densità urbana possono provocare esternalità negative tali da superare i benefici associati allo sviluppo di città compatte (Rudlin & Falk, 1999; Burgess, 2000).

La messa a punto di questi approcci teorici ed interpretativi attraverso cui legare la crescita urbana alle tematiche ambientali ed energetiche, ha favorito, sul piano applicativo, l'elaborazione di ricerche e metodologie relative alla criticità urbana dei consumi energetici, in termini di urbanizzazione, sviluppo economico e demografico.

L'insieme di queste ricerche può essere articolato in due gruppi principali: quelli che assumono una relazione univoca tra aree urbane e consumo di energia (e relativa produzione di emissioni climalteranti), ovvero è l'urbanizzazione a determinare tali problematiche (Jones, 1989; Parikh & Shukla, 1995; Fan *et al.*, 2006), e quelli che invece

sostengono la possibilità di una relazione causale reciproca (Hayashi, 1996; Halicioglu, 2007; Liu, 2009;).

Molti studi hanno constatato una correlazione positiva tra il tasso di urbanizzazione e consumi di energia (Cheng, 1996; Imai, 1997). Secondo Holtedahl e Joutz (2004), infatti, nelle aree urbane l'uso dell'energia elettrica è facilitato dalla presenza delle reti di distribuzione e il benessere economico determina l'acquisto e l'ampio utilizzo di apparecchiature elettriche.

I processi produttivi a livello industriale, inoltre, utilizzano una quantità di energia per unità di prodotto e per addetto ben superiore a quelli agricoli tradizionali (Jones 1991). Di contro, altri studiosi (Newman & Kenworthy, 1989; Kenworthy & Laube, 1996; Lariviere & Lafance, 1999) hanno trovato una correlazione negativa tra i livelli di densità urbana e il consumo di energia legato al trasporto, in accordo con la teoria della città compatta. Riguardo la seconda classe di ricerche, questi studiosi sostengono che il consumo di energia può favorire le dinamiche urbane.

Lo spostamento della popolazione dalle aree rurali a quelle urbane si verifica in genere dall'esigenza di una migliore qualità della vita che è determinata anche dalla possibilità di utilizzare tutti quei servizi basati sull'energia elettrica. Liddle e Lung (2013) hanno constatato tale relazione causale, in differenti Paesi, sia avanzati che in via di sviluppo.

La diffusione dei numerosi documenti a carattere strategico e programmatico sviluppati a partire dalla pubblicazione del Rapporto Brundtland, come l'Agenda 21 (1992) e il protocollo internazionale di Kyoto (1998), ha stimolato il dibattito riguardo l'interazione tra i consumi energetici e la struttura fisica e funzionale delle città. Numerosi studiosi hanno iniziato ad interrogarsi su come l'organizzazione degli insediamenti, sia in termini di spazi che di attività, influisca sulla domanda e sulla produzione di energia (Stone, 1973; Keyes, 1982; Laconte *et al.*, 1982; Alberti, 1999) così come «sui flussi di energia e di risorse», in accordo con le teorie ecosistemiche e del metabolismo urbano (Lynch, 1961; Forman, 1995; Turner, 1990).

Ad oggi, la complessa relazione tra forma e organizzazione urbana e consumi energetici sembra ricoprire un ruolo di primo piano sia a livello scientifico, che politico decisionale ma, come sarà descritto in modo più approfondito nel terzo e quarto capitolo, la reale attenzione alla valenza urbana di tale questione, intesa come «“il “guardare” in maniera integrata alle caratteristiche dei diversi sottosistemi in cui può essere articolata una città che ha l'obiettivo principale di risparmiare energia» (Gargiulo & Zucaro, 2014), risulta essere ancora molto debole e insufficiente.

CAPITOLO 2. POLITICHE, STRATEGIE ED ESPERIENZE IN EUROPA E IN ITALIA

2.1 Introduzione

L'obiettivo di questo capitolo è quello di fornire un quadro delle principali politiche, strategie ed esperienze sviluppate in Europa e in Italia, per il risparmio e l'efficienza energetica a scala urbana. La messa a punto di opportune metodologie atte a risolvere queste problematiche, non può, infatti, prescindere dalla conoscenza degli obiettivi ambientali e climatici stabiliti a livello internazionale e nazionale, così come dall'individuazione dei limiti di attuazione delle scelte effettuate, derivanti dal gap che esiste tra governo delle trasformazioni territoriali e pianificazione energetica.

Lo sforzo che è stato fatto è quello di leggere le politiche in chiave urbanistica, al fine di evidenziare il ruolo che le città ricoprono o, meglio, che dovrebbero ricoprire nello sviluppo degli indirizzi e delle strategie per il futuro delle aree urbane.

2.2 Politiche e strategie europee per il risparmio e l'efficienza energetica nelle aree urbane

Nel processo di elaborazione delle numerose politiche e strategie in materia di energia, L'Unione Europea (UE) ha inizialmente posto l'attenzione sugli aspetti più prettamente tecnici, quali la sicurezza degli approvvigionamenti energetici e la base giuridica per la definizione delle competenze all'interno dell'ordinamento comunitario.

La politica energetica europea è strettamente legata al processo di costituzione dell'UE: nel 1951 il Trattato CECA (Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio) ha introdotto la libera circolazione del carbone e dell'acciaio e ha istituito la prima organizzazione comunitaria, aprendo la strada al processo di integrazione europea. Sei anni dopo (1957) l'EURATOM (Comunità Europea dell'Energia Atomica) ha posto le basi per una cooperazione europea basata sull'energia, adottando un approccio comunitario armonizzato, seppur in materia di energia nucleare: le parti firmatarie dichiarano di essere «desiderose di associare altri paesi alla loro opera e di cooperare con le organizzazioni internazionali interessate».

Una spinta decisiva per la cooperazione europea in materia di energia è stata innescata a seguito della crisi petrolifera del 1973, con la "Risoluzione del Consiglio europeo per una nuova strategia di politica energetica" (1974), volta a favorire uno stretto coordinamento tra gli Stati Membri ed a promuovere un uso più razionale dell'energia. Dai primi anni '70 le tematiche ambientali ed energetiche hanno iniziato ad assumere un ruolo centrale nelle politiche europee, sebbene l'azione della comunità europea non

fosse ancora così matura per stabilire impegni e obblighi precisi all'interno della legislazione. I diversi documenti messi a punto fino alla prima metà degli anni '90 (l'Atto Unico europeo (1986), il Trattato di Maastricht (1992), la Carta Europea dell'energia (1994) e il Trattato di Amsterdam (1997)) hanno, infatti, affrontato la questione energetica quasi esclusivamente in termini di sicurezza di approvvigionamento e di investimenti, piuttosto che trattarla da un punto di vista ambientale e climatico.

La consapevolezza del ruolo chiave ricoperto dall'energia nella messa a punto di politiche e strategie europee di sviluppo, in termini di competitività, qualità della vita e crescita economica, è stata raggiunta a seguito della divulgazione dei risultati del primo rapporto IPCC (1990) secondo cui «emissions resulting from human activities are substantially increasing the atmospheric concentrations of the greenhouse gases carbon dioxide [...] under the IPCC Business-as-Usual emissions of greenhouse gases, the average rate of increase of global mean temperature during the next century is estimated to be about 0.3°C per decade (with an uncertainty range of 0.2°C to 0.5°C). This will result in a likely increase in global mean temperature of about 1°C above the present value (about 2°C above that in the pre-industrial period) by 2025 and 3°C above today's (about 4°C above pre-industrial) before the end of the next century».

Il Summit della Terra tenutosi a Rio de Janeiro nel 1992 e l'adozione del Protocollo di Kyoto nel 1997 hanno, poi, spinto l'Unione europea ad assumere una posizione di leadership nella lotta ai cambiamenti climatici ed a definire degli obiettivi ambiziosi in materia energetica. L'adozione del Libro verde "Per una politica energetica dell'Unione europea" e del Libro bianco "Una politica energetica per l'Unione europea" nel 1995, hanno sancito l'introduzione dell'efficienza e del risparmio energetico tra gli obiettivi prioritari dell'azione comunitaria: «[...] to define a programme with priority given to energy efficiency, energy savings and renewable energies and which could contribute to the fulfilment of the Community's international environmental commitments».

L'UE dedica particolare attenzione all'efficienza energetica del sistema edilizio, sia residenziale che terziario, in quanto responsabile del 40 % del consumo globale di energia in Europa; «buildings are the largest energy-consuming sector, and offer the largest cost-effective opportunity for savings. Relative to almost all other investments, energy efficiency retrofit – installing newer energy efficiency technologies in older buildings – reduces emissions and improves energy security» (Moccia, 2013). In tale ottica nel 2002 è stata approvata una direttiva sul rendimento energetico dell'edilizia (UE, 2002), volta a promuovere misure concrete per limitare la domanda di energia, abrogata poi nel 2010 (UE, 2010).

L'incidenza degli interventi sul patrimonio edilizio, sia esistente che di nuova costruzione, risulta però estremamente ridotta, soprattutto se paragonata alla

complessità ed alla velocità con cui gli effetti delle sfide ambientali si verificano. Nel 2005, pertanto, il Libro Verde sull'efficienza energetica "fare di più con meno" (COM(2005)265) inizia ad evidenziare il rilevante contributo che gli utenti finali, ovvero i cittadini, possono fornire ai fini del risparmio energetico: «lanciare campagne d'informazione su come risparmiare energia e sollecitare i consumatori all'azione, [...] per modificare la percezione del problema e incoraggiare comportamenti virtuosi». Le azioni e le iniziative proposte in questo documento permetterebbero di risparmiare fino al 20% dei consumi energetici entro il 2020, predisponendo, anche, l'adozione di piani d'azione nazionali orientati ad incrementare l'efficienza energetica. Ciascun Paese Membro, annualmente, definisce le misure e le azioni che intende intraprendere sia a livello nazionale, regionale e locale, per raggiungere l'obiettivo di efficienza energetica fissato per l'anno successivo.

Al fine di rompere il legame tra crescita economica e consumo energetico, riuscendo così a risparmiare energia, nel 2006 è stato adottato un nuovo Libro Verde "Una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura" (COM(2006)105) finalizzato ai seguenti tre obiettivi:

- la sostenibilità: la sfida del cambiamento climatico richiede un impiego maggiore delle fonti di energia rinnovabili e l'incremento dell'efficienza energetica
- la competitività: il miglioramento dell'efficacia della rete europea si ottiene anche attraverso la realizzazione del mercato interno dell'energia;
- la sicurezza dell'approvvigionamento: un migliore coordinamento tra l'offerta e la domanda di energia nel contesto internazionale, monitorando il mercato dell'energia ed identificando le possibili carenze.

Le consultazioni effettuate per entrambi i Libri Verde hanno fatto emergere la necessità di un cambiamento significativo dell'approccio alla tematica energetica: se da un lato, infatti, è opportuno definire obiettivi più ambiziosi di risparmio e di efficienza energetica, sia per stimolare la competitività tecnologica ed economica, che per raggiungere gli obiettivi fissati dal protocollo di Kyoto (2005), dall'altro occorre prestare grande attenzione agli agglomerati urbani che rappresentano il consumatore per eccellenza di energia, in quanto vi sono localizzate le attività antropiche. Sulla base di queste riflessioni è stato messo a punto il "Piano d'azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità" (COM(2006)545) che «propone azioni prioritarie da avviare immediatamente e altre da attuare gradatamente nei sei anni di durata del piano» mirate anche a «a incoraggiare i cittadini a utilizzare l'energia nel modo più razionale possibile, perché l'efficienza energetica non è solo legislazione bensì scelta consapevole dei singoli». Tale documento pone l'accento, per la prima volta, sulle città

individuando come nona azione prioritaria quella dell'efficienza energetica nelle aree urbane, formalizzata nel Patto dei Sindaci avviato nel 2008 nell'ambito della seconda edizione della Settimana europea dell'energia sostenibile (EUSEW). Il Patto dei Sindaci è la principale iniziativa europea che coinvolge le autorità locali nella riduzione delle emissioni di CO₂ di almeno il 20% entro il 2020, attraverso lo sviluppo di politiche che aumentino il ricorso alle fonti di energia rinnovabile, stimolino il risparmio energetico negli usi finali e favoriscano, così, la riduzione dei consumi di fonti fossili. Il carattere distintivo del Patto è costituito dalla partecipazione volontaria che, per quanto possa rappresentare un non trascurabile elemento di debolezza per il successo delle politiche europee di sviluppo low-carbon, è finalizzata ad innescare un processo virtuoso di adempimento degli impegni assunti a livello internazionale. L'adesione al Patto comporta la preparazione dell'inventario delle emissioni (Baseline), la redazione e l'attuazione del Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES), entro l'anno successivo alla firma, e un periodico monitoraggio degli effetti del PAES, valutato ogni due anni dalla Comunità europea. La definizione e l'attuazione del PAES deve avvenire coinvolgendo tutti i soggetti che tradizionalmente non partecipano direttamente all'elaborazione di un piano, dalla collettività alle imprese, e mettendo a sistema le azioni già individuate nei piani urbanistici, di trasporto e ambientali.

L'intento di adottare un approccio integrato per le tematiche ambientali-climatiche-energetiche è confermato dall'approvazione del pacchetto clima-energia del 2008 con cui l'Europa si impegna a raggiungere entro il 2020 i seguenti obiettivi energetici e di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra:

- ridurre i gas ad effetto serra del 20% rispetto ai livelli del 1990; tale aliquota aumenterebbe al 30% nel caso di raggiungimento di un accordo internazionale per il periodo successivo al 2012, anno in cui si conclude il Protocollo di Kyoto;
- ridurre i consumi energetici del 20% aumentando l'efficienza energetica;
- soddisfare il 20% del fabbisogno energetico europeo attraverso l'uso delle energie rinnovabili.

Strumenti del Pacchetto 20-20-20	
Direttiva 2009/28/CE	Promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili
Direttiva 2009/29/CE	Emission Trading
Direttiva 2009/30/CE	Qualità dei carburanti
Direttiva 2009/31/CE	Carbon Capture and Storage
Direttiva 2009/406/CE	Decisione "Effort Sharing"
Regolamento 2009/443/CE	livelli di prestazione in materia di emissioni delle autovetture
Direttiva 2012/27/CE	Efficienza Energetica

Figura 9: strumenti legislativi contenuti nel pacchetto clima-energia approvato nel 2008.

Si tratta di tre traguardi strettamente interdipendenti, in quanto l'immissione in atmosfera di CO₂, uno dei principali gas responsabili dell'effetto serra, è una conseguenza dei processi di produzione e di consumo di energia elettrica da fonti fossili. Il processo di trasformazione dell'Europa in un'economia efficiente dal punto di vista energetico e con basse emissioni di carbonio, continua nel 2010 con la "Strategia 20-20-20" per una crescita intelligente, sviluppando un'economia basata sulla conoscenza e sull'innovazione, sostenibile, promuovendo un'economia più efficiente sotto il profilo delle risorse, più verde e più competitiva, e inclusiva, incoraggiando un'economia con un alto tasso di occupazione che favorisca la coesione sociale e territoriale (COM(2010) 2020).

	Strumenti attuativi
Crescita Intelligente	Programma Quadro per le attività di ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione
	Programma Quadro per la competitività e l'innovazione
	LIFE +
Crescita Sostenibile	Programma Quadro per la competitività e l'innovazione
	Programma Marco Polo
	Programma di Azioni prioritarie a breve e a medio termine per l'Ambiente
	Fondi Strutturali e di Coesione
Crescita Inclusiva	Fondi Strutturali e di Coesione

Figura 10: sintesi dei principali strumenti attuativi per ciascuna dimensione della crescita europea

Riflettendo sulla seconda dimensione che deve caratterizzare la crescita europea, questa implica un modello di sviluppo che sia efficiente sotto il profilo dello sfruttamento delle risorse e che quindi si basi fortemente sul contenimento dei consumi e su un approccio integrato in grado di guardare ai sistemi urbani in modo trasversale, considerato che le città, pur essendo i luoghi in cui problemi quali disoccupazione, inquinamento, segregazione e povertà sono più accentuati, allo stesso tempo rappresentano "i motori dell'economia europea", in quanto "catalizzatori di creatività e innovazione" e hanno un ruolo determinante "nell'attuazione della Strategia 2020" (CE, 2011).

Un richiamo diretto alle tematiche territoriali è presente anche nella politica di coesione che per la prima volta, nel 2009, introduce nella sua denominazione la dimensione territoriale come completamento necessario degli obiettivi di coesione economica e sociale. Tra le sette iniziative Faro, inoltre, che rappresentano il percorso da seguire per

attuare i cinque obiettivi⁴ della Strategia 20-20-20, vi è “un’Europa efficiente sotto il profilo delle risorse” che presta particolare attenzione alla dimensione urbana dei trasporti, responsabili del 26% del consumo energetico, ed al risparmio energetico, puntando sulle nuove tecnologie di informazione e comunicazione (ICT) per entrambi gli aspetti.

L’intento europeo di “think globally, act locally” ha determinato, nel 2011, l’elaborazione di due documenti mirati a rafforzare il ruolo delle città e dell’efficienza energetica nelle future politiche europee. Il Piano di efficienza energetica (COM(2011)109) ribadisce la necessità di mettere in campo misure concrete per l’efficienza e il risparmio energetico, considerato che «le stime recenti della Commissione indicano che l’UE potrà raggiungere soltanto la metà dell’obiettivo del 20%», e di continuare a sostenere l’approccio locale alla questione energetica, così come già intrapreso tramite il Patto dei Sindaci. L’approccio alle sfide che le città attuali sono oggi chiamate ad affrontare, deve essere soprattutto integrato, coerente e globale, secondo il documento “Città del futuro” (2011), in ragione del fatto che “le molteplici dimensioni - ambientale, economica, sociale e culturale - della vita urbana sono intrecciate tra loro” (CE, 2011).

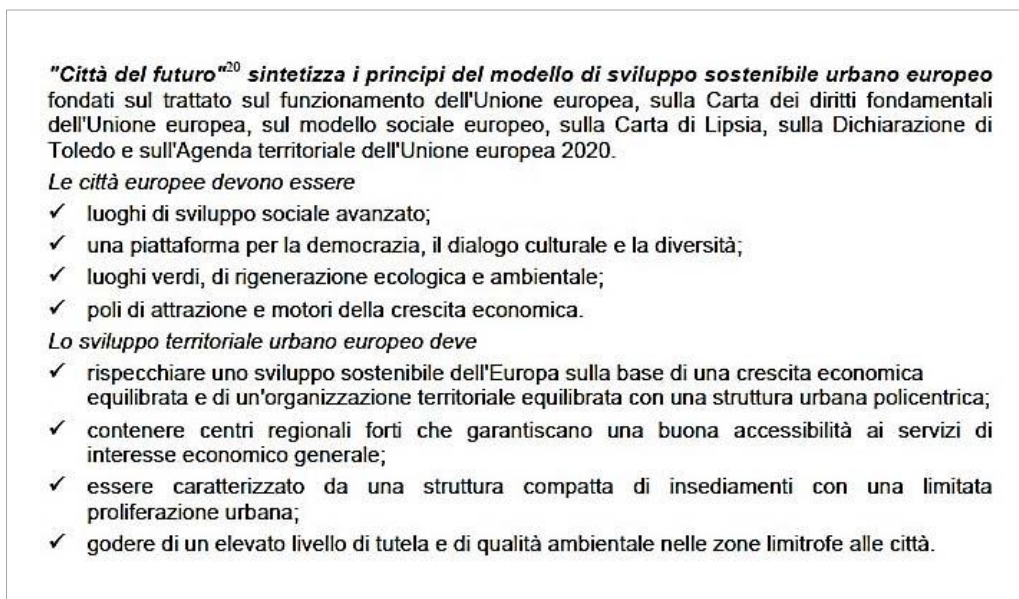


Figura 11: gli elementi peculiari che dovrebbero caratterizzare le città e lo sviluppo territoriale secondo l’UE.

⁴ I 5 obiettivi che l’UE è chiamata a raggiungere entro il 2020 riguardano l’occupazione, l’R&S, i cambiamenti climatici e sostenibilità energetica, l’istruzione e la lotta alla povertà e all’emarginazione.

Nello stesso anno, al fine di contenere entro i 2°C il riscaldamento globale determinato dal cambiamento climatico, l'UE ha messo a punto una tabella di marcia per ridurre le proprie emissioni dell'80%, rispetto al 1990, entro il 2050 (COM(2011)112). Tale nuovo obiettivo è in linea sia con le decisioni prese negli accordi di Copenaghen e Cancun, che con quanto stabilito dall'IPCC. La pubblicazione di questa Roadmap ha influito sulla definizione dei futuri scenari energetici e delle direttive e strategie da elaborare nei prossimi anni, in quanto «qualsiasi scenario business as usual, qualsiasi scenario reference a politiche esistenti porta a risultati totalmente incompatibili con il proposito di policy» (REFE & WWF, 2012). L'implementazione delle sole politiche attuali, infatti, porterebbe ad una riduzione delle emissioni di gas serra del 60% (figura 12), a differenza di quanto accadrebbe adottando ulteriori strategie, sia a livello europeo, che dei singoli Stati, in funzione delle tecnologie man mano disponibili: riduzione delle emissioni annue di circa l'1% nel primo decennio fino al 2020, dell'1,5% nel secondo decennio, dal 2020 al 2030, e del 2% negli ultimi due decenni fino al 2050, rispetto al 1990.

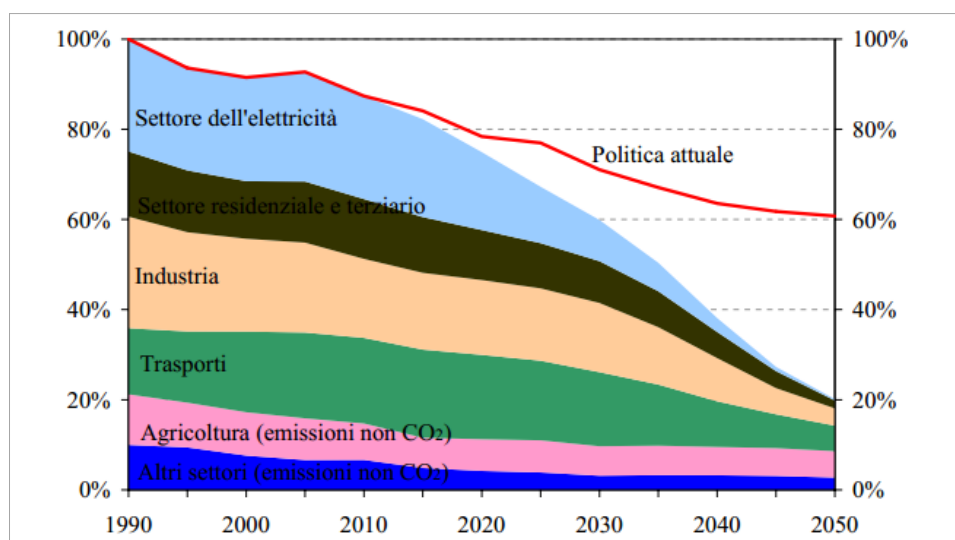


Figura 12: emissioni di gas serra dell'UE per le principali attività, nel periodo 1990-2050 (100%=1990).

Sulla base degli obiettivi del pacchetto “clima ed energia”, della Roadmap 2050 e della tabella di marcia per un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio per il 2050 (COM(2011)112), è stato messo a punto un Quadro per le politiche sul clima e sull'energia dal 2020 al 2030 (COM(2013)169) al fine di definire le strategie per il clima e l'energia al termine dell'attuale quadro per il 2020. In particolare, tale documento fissa un obiettivo di riduzione del 40% entro il 2030, sempre rispetto ai livelli del 1990, aumentando anche l'aliquota per le energie rinnovabili almeno al 27%.

La volontà della CE di continuare a dare maggiore centralità alle città all'interno delle politiche ambientali ed energetiche sembra essere meno decisa in questi ultimi due documenti, rispetto a quanto invece stabilito in precedenza. Temi come l'impiego di nuove tecnologie, il mercato energetico unico e stabile, gli investimenti e l'efficienza energetica sembrano aver avuto la meglio sul risparmio energetico e sul ruolo che le città e le relative autorità locali ricoprono ai fini del contenimento dei consumi. Tali riflessioni, maturate sia in ragione delle osservazioni e delle proposte messe a punto dagli organi consultivi che raggruppano gli enti locali, come ad esempio il Comitato delle Regioni, o il Consiglio dei comuni e delle regioni d'Europa, che della politica di coesione (CE, 2014) che ha rafforzato la dimensione urbana delle politiche europee, hanno fatto sì che nel 2014 l'UE elaborasse un documento mirato a rafforzare la presa di coscienza delle potenzialità dello sviluppo urbano nell'ottica della sostenibilità territoriale, ambientale e sociale (COM(2014)490).

In conclusione, sebbene si asserisce con sempre maggiore frequenza che è indispensabile affidare un ruolo chiave alle aree urbane nell'elaborazione e nell'attuazione delle politiche e strategie europee, la strada per adattare queste ultime alla scala urbana è ancora lunga: «grazie alla loro prossimità ai cittadini, gli enti locali possono contribuire a sensibilizzarli ai vantaggi economici e sociali della transizione energetica, ed è quindi essenziale che siano coinvolti in questo processo» (Comitato delle Regioni 2014). La risposta politica a livello europeo e nazionale alle attuali sfide urbane risulta essere ancora troppo lenta e frammentaria, con numerose iniziative settoriali, come sarà descritto nel paragrafo seguente, scarsamente integrate tra loro.

2.3 Progetti e iniziative europee per il risparmio e l'efficienza energetica a scala urbana

L'attuale processo di messa a punto delle politiche e strategie a livello europeo, ed anche nazionale, non riconosce sempre il ruolo fondamentale che le città potrebbero rivestire per il conseguimento degli obiettivi climatici, ambientali energetici stabiliti per il medio e lungo termine (Camagni, 2003; Verones & Zanon, 2012; Papa *et al.* 2014).

Nonostante le aree urbane siano identificate quali attori fondamentali nella definizione degli scenari di sviluppo, il quadro politico e legislativo attuale risulta essere piuttosto problematico e complesso: il carattere ancora troppo settoriale degli obiettivi delle politiche limita le ampie opportunità di sinergie tra i diversi sottosistemi che compongono la città e indebolisce il senso di partecipazione delle città stesse. In accordo con l'UE, «la compartimentazione delle iniziative politiche» si riscontra a tutti i

livelli amministrativi e decisionali e tale aspetto risulta arduo da superare, considerato che non solo gli obiettivi, ma anche gli indicatori per misurare i risultati raggiunti, tendono ad essere anch'essi settoriali. La carente integrazione sia tra i diversi ambiti legislativi relativi alle singole componenti urbane, sia tra i livelli di governance (nazionale, regionale e locale) possono, quindi, accentuare la difficoltà delle città nell'ottemperare alle direttive europee.

Al fine di riconoscere le città come chiave di svolta per la risoluzione delle attuali sfide ambientali e di adeguare le politiche da implementare alle realtà urbane nel modo migliore, sono state promosse innumerevoli iniziative, in prevalenza di natura informativa, volte anche a colmare l'ampia distanza tra i due differenti livelli di intervento, quello comunitario e quello locale.

Prima di passare alla descrizione dei principali progetti europei relativi alle tematiche energetiche alla scala urbana, è opportuno, però, richiamare l'attenzione sull'iniziativa del Patto dei Sindaci, brevemente illustrata nel precedente paragrafo.

Il Patto dei sindaci ha consentito di sensibilizzare le autorità locali e la collettività verso le tematiche del cambiamento climatico e del risparmio energetico, contribuendo ad integrare tali problematiche nei programmi e nelle strategie di intervento a scala urbana. I firmatari del Patto, infatti, si impegnano concretamente nel mettere in campo azioni per l'efficienza e il risparmio energetico e per aumentare l'uso di fonti energetiche rinnovabili sul loro territorio, mediante l'attuazione dei PAES che si configurano come degli strumenti di pianificazione trasversale relativi a tutti i differenti sottosistemi urbani che influiscono sui consumi energetici e sulla produzione di gas serra.

Il Patto costituisce, quindi, uno strumento politico chiave in quanto coinvolge e mobilita direttamente le parti interessate, innescando un processo virtuoso di conversione tra gli impegni climatici ed energetici stabiliti a livello internazionale e quelli dei governi locali. A tale iniziativa è opportuno riconoscere il merito di aver integrato l'approccio top-down delle politiche climatiche ed energetiche europee alla dimensione bottom-up, facendo sì che le città diventino i principali attori nella transizione verso la sostenibilità energetica.

L'importanza del ruolo delle aree urbane, la volontà di superare l'approccio settoriale e specialistico che caratterizza la tematica energetica e la necessità di educare ad un uso più consapevole dell'energia, costituiscono il punto di partenza per la scelta di alcune delle principali iniziative promosse e diffuse dall'UE a livello locale. Di seguito si descrivono cinque progetti europei attinenti la questione del risparmio e dell'efficienza energetica nelle aree urbane.

Energy Cities e IMAGINE low energy cities



Energy Cities è un'organizzazione no-profit attiva dagli anni '90 per la messa a punto di politiche energetiche sostenibili a livello locale. Le oltre 1000 città che vi fanno parte si impegnano nella razionalizzazione dei consumi energetici sul loro territorio, con il duplice scopo di ridurre lo spreco di risorse energetiche e di limitare le emissioni inquinanti. In accordo con i principi su cui si fonda tale organizzazione, i relativi membri hanno il compito di:

- integrare l'efficienza energetica e l'impiego delle rinnovabili nelle politiche ed azioni locali, al fine di contribuire alla realizzazione degli obiettivi 20-20-20 dell'UE;
- rafforzare il ruolo e le competenze locali in materia di sostenibilità energetica;
- partecipare attivamente ai processi di consultazione sulle decisioni e sugli orientamenti europei relativi alle future politiche urbane;
- promuovere e sviluppare iniziative sperimentali volte alla sostenibilità energetica, attraverso la condivisione di buone pratiche esperienze, idee e informazioni.

Lo scopo principale è in pratica quello di dimostrare la fattibilità di un cambiamento politico, pianificatorio e comportamentale, volto alla costruzione di città low-carbon.

Al fine di aiutare concretamente le città verso la transizione energetica, Energy Cities ha lanciato nel 2006 l'iniziativa IMAGINE che, tra il 2012 e il 2014, è stata supportata anche dal programma INTERREG IVC⁵, attraverso il progetto "Imagine low energy cities". Si tratta di una piattaforma telematica che permette alle autorità locali di diversi Paesi europei di confrontarsi, scambiare buone prassi e collaborare alla definizione delle politiche energetiche locali da qui al 2050, partendo dallo slogan "Città a basso consumo energetico con una elevata qualità della vita per tutti". IMAGINE, infatti, mira a supportare le città nel superamento degli ostacoli che si interpongono nella realizzazione di sistemi urbani a basso impatto energetico, concentrandosi sul dialogo tra le parti interessate e sul processo di costruzione di una visione a lungo termine del futuro energetico di una città. Gli obiettivi principali del progetto sono:

- sviluppo e sperimentazione di una metodologia per valutare le strategie di transizione energetica da una prospettiva territoriali e di governance urbana;

⁵Il Programma di Cooperazione territoriale INTERREG IVC ha l'obiettivo di migliorare l'efficacia delle politiche di sviluppo regionale in aree quali l'innovazione, l'economia della conoscenza, l'ambiente e la prevenzione dei rischi e di contribuire alla modernizzazione e alla competitività dell'Europa attraverso lo scambio e la condivisione di buone prassi maturate dalle autorità locali e regionali.

- individuazione dei fattori di successo e degli elementi replicabili in ogni contesto urbano;
- identificazione degli strumenti e metodi partecipativi.

L'iniziativa affronta la tematica energetica in un'ottica multisetoriale, in grado di integrare differenti strategie di sviluppo territoriale: dalla sostenibilità, al mix di efficienza energetica, al miglioramento della qualità della vita, a differenti modalità d'uso e comportamenti energetici.

Per facilitare la conoscenza della problematica energetica, evitando un approccio troppo specialistico e tecnico, la piattaforma telematica è stata realizzata con un efficace stile comunicativo, capace di comunicare e diffondere le best practices locali a tutti gli stakeholder, pianificatori, professionisti e soprattutto i cittadini, i "non addetti ai lavori". L'output finale dell'iniziativa è stato il "Low Energy Cities Policy Handbook" che descrive l'approccio ed i risultati raggiunti in ogni città aderente, evidenziando gli strumenti partecipativi adottati.

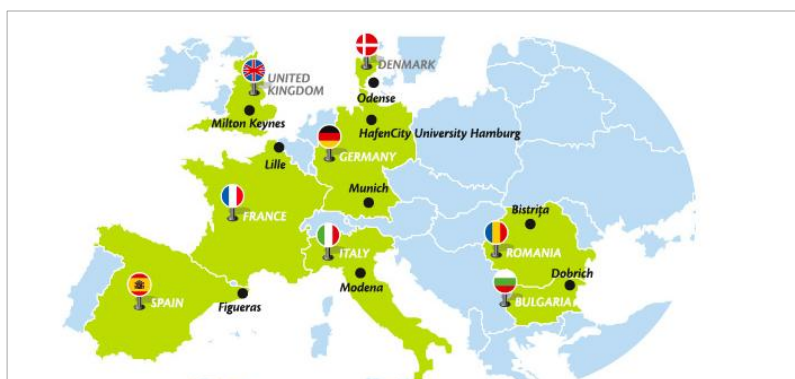


Figura 13: immagini dei siti web dell'iniziativa IMAGINE.
La figura a destra è la scheda tipo realizzata per ciascuna delle 16 città
che hanno aderito all'iniziativa IMAGINE your energy future.

EnSURE



Il progetto EnSURE (Energy Savings in Urban Quarters through Rehabilitation and New Ways of Energy Supply) mira a potenziare la performance energetica delle aree urbane implementando misure atte a ridurre il consumo di energia e ad incrementare l'utilizzo di energie da fonti rinnovabili. Sebbene EnSURE adotta approcci integrati per lo sviluppo energetico urbano, l'attenzione è rivolta in particolare agli immobili ad uso residenziale, agli edifici pubblici e a quelli commerciali.

L'intento di tale iniziativa è quello di utilizzare i progetti di riqualificazione energetica degli edifici come elemento di innesco per mettere in campo azioni rivolte allo studio dei sottosistemi fisico e socio-economico in chiave energetica. In pratica, partendo dallo stato di fatto dell'area urbana il progetto prevede:

- l'elaborazione di metodologie per uno sviluppo urbano energeticamente efficiente e la definizione di un Piano energetico sostenibile;
- il coinvolgimento degli attori locali nelle attività di informazione e partecipazione;
- l'identificazione dei possibili fondi di finanziamento volti alla sostenibilità;
- la definizione e predisposizione di misure di riconversione energetica;
- l'individuazione di metodi per il rinnovamento dei sistemi di approvvigionamento energetico in aree urbane (aumento dell'utilizzo di energie rinnovabili).

Tutti questi elementi permettono, poi, di elaborare una strategia transnazionale condivisa in materia di sviluppo urbano energetico efficiente da sperimentare in diversi contesti nazionali, in diversi campi (recupero di immobili storici, aree da convertire) e a diverse scale (singoli appartamenti, edifici residenziali, incubatori di impresa) ed anche di definire le linee guida per lo sviluppo di schemi e strumenti finanziari innovativi a sostegno dell'efficientamento energetico urbano e residenziale.

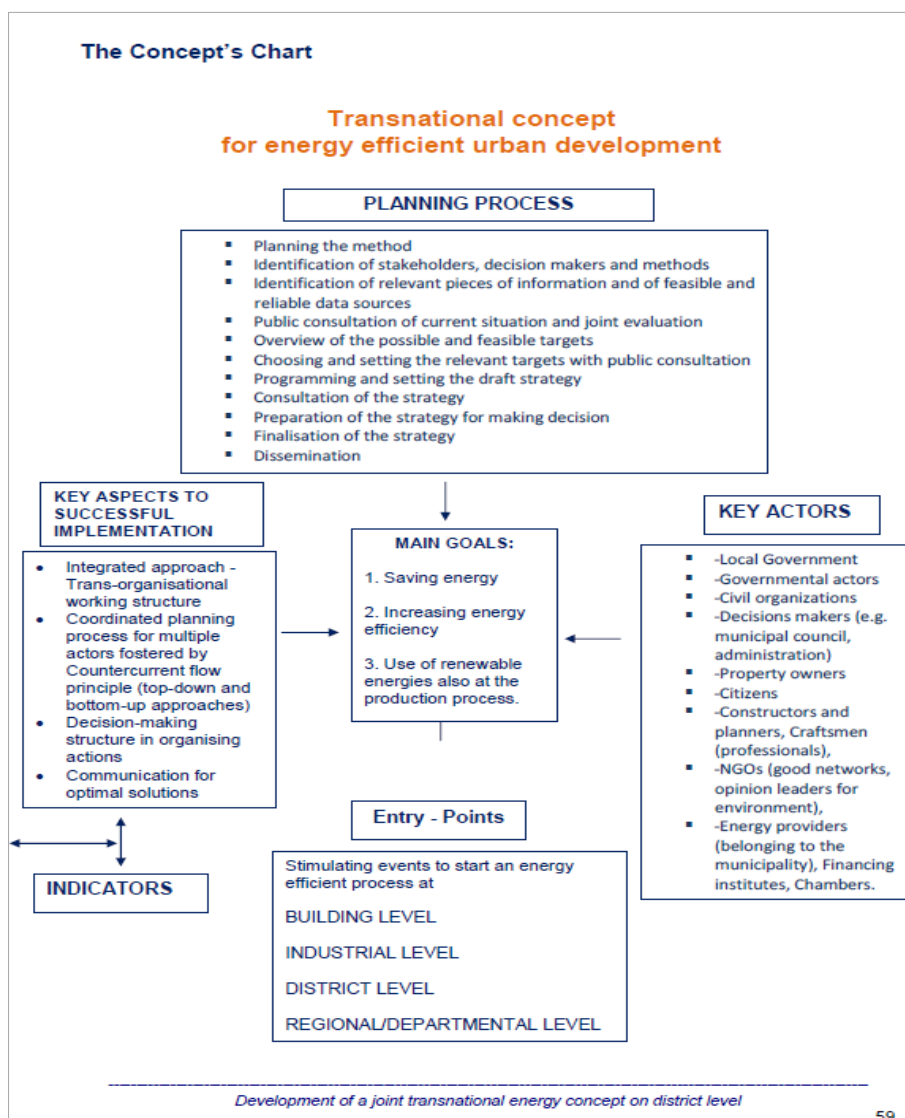


Figura 14: schema riepilogativo degli elementi di input e di successo, degli attori da coinvolgere e degli obiettivi di cui il processo di pianificazione energetica a scala urbana deve tener conto.

EnergyCity



Per incoraggiare la cooperazione tra le regioni di nove paesi dell'Europa centrale (Austria, Repubblica Ceca, Germania, Ungheria, Italia, Polonia, Slovacchia, Slovenia e Ucraina), l'UE sviluppato il programma Central Europe che mira a migliorare l'innovazione, l'accessibilità e l'ambiente e per migliorare la competitività e l'attrattività delle loro città e regioni. Tra i differenti progetti finanziati da tale programma vi è EnergyCity, conclusosi nel 2013, mirato ad “un uso responsabile dell’ambiente”. Questo progetto si basa sulla raccolta di dati termografici aerei relativi a 7 città dell'Europa centrale (Budapest, Praga, Monaco, Bologna, Treviso, Ludwigsburg e

Velenje), è stato realizzato uno strumento di supporto alle decisioni (SDSS) che permette di confrontare «the cost-effectiveness and potential of different energy efficiency solutions» nelle città coinvolte.

L'SDSS è, in pratica, un software GIS open source accessibile sul web che permette di visualizzare differenti mappe tematiche in funzione del parametro energetico o ambientale che si vuole interrogare (emissioni di CO₂, perdite di calore, consumo di energia primaria per il riscaldamento, etc.).

Uno strumento di questo tipo è di supporto al decisore locale, in quanto gli consente di costruire differenti scenari di riduzione delle emissioni di gas serra in ragione delle strategie messe in campo, ed è anche utile per tutti gli altri utenti non esperti, come le famiglie, che possono visualizzare i consumi, le le emissioni o la radiazione solare degli edifici della loro città, al fine di acquisire maggiore consapevolezza in materia di consumo energetico.

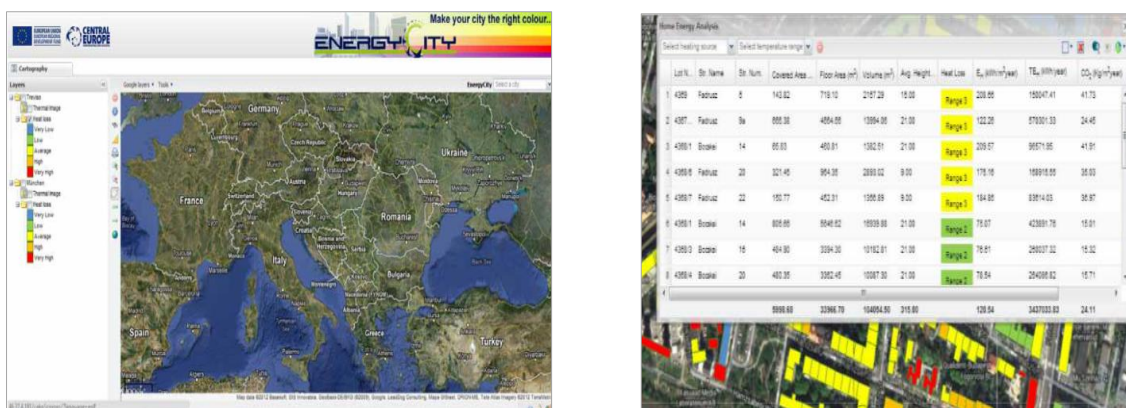


Figura 15: interfaccia webGIS del progetto EnergyCity.

STEEP



Il progetto STEEP - System Thinking for a comprehensive city Efficient Energy Planning – è mirato a sviluppare un modello digitale per l’elaborazione di piani energetici che considerino tutti gli elementi e le infrastrutture che all’interno di un ambiente urbano determinano impatti significativi sul consumo energetico. L’intento di STEEP è quello di unire una prospettiva sistemica all’utilizzo di un’innovativa tecnologia open source, al fine di determinare le misure di efficienza energetica più efficaci. In realtà, le componenti urbane prese in considerazione sono quella edilizia e quella dei trasporti, in accordo col fatto che sono questi due sottosistemi i maggiori responsabili dei consumi energetici urbani.

Tramite un sistema di modellazione si calcola l'efficienza energetica di diverse tipologie di interventi, sia singoli che messi a sistema, per i due sottosistemi considerati, fornendo uno strumento di supporto di analisi e comprensione. Una volta individuate tutte le possibili opzioni di implementazione di misure di efficientamento energetico, esse sono poi investigate con specifiche tecniche di valutazione, i cui risultati costituiscono gli elementi di input per sviluppare il piano energetico delle città.

L'assunto di base del progetto è che la strategia da implementare nelle tre città pilota (Bristol, Firenze e San Sebastian) deve essere basata sulle quattro 'I':

- Integrazione di tutti i possibili settori e aspetti che presenti in una città;
- Innovazione diffusa: una città intelligente deve essere un precursore nella sperimentazione di approcci, tecnologie o servizi innovativi;
- Intervento degli stakeholder, nella definizione di obiettivi molto ambiziosi;
- Informazione, in termini di ICT, come strumento per il monitoraggio e controllo delle strategie e per la comunicazione con i cittadini.

Se, quindi, l'innovazione tecnologica costituisce un aspetto peculiare di tale progetto, l'altro è da ricercarsi nella partecipazione: si ritiene, infatti, che una pianificazione energetica intelligente, per essere davvero tale, deve coinvolgere la collettività in ogni fase del processo, dalla definizione dello stato di fatto, allo sviluppo degli scenari, alla valutazione finale delle azioni da implementare.

La descrizione dei principali elementi e finalità dei progetti appena descritti dovrebbe invitare a riflettere sull'ancora ampio gap che c'è tra quanto dichiarato a livello di intenti e di obiettivi da raggiungere e le modalità di implementazione e di attuazione che poi sono messe in campo. In tutti i progetti ricorre l'aggettivo "sistemico" in relazione all'approccio da seguire per la tematica energetica nelle aree urbane. Tale accezione risente sia dell'attuale dibattito scientifico che, almeno a livello teorico sembra aver compreso il carattere multidisciplinare dell'energia, sia della volontà dell'UE di "lavorare" in maniera integrata per arginare gli effetti negativi degli inevitabili fenomeni ambientali in atto. Risulta però evidente che l'attenzione dei tecnici, dei decisori politici e dei pianificatori è ancora rivolta solo ad alcune componenti urbane, prime tra tutte gli edifici ed i trasporti. E' facile, infatti, riscontrare e verificare che sebbene l'intento di un progetto è quello di affrontare la questione energetica alla scala urbana, in un'ottica sistemica, di fatto quest'ultima viene abbandonata a favore di un approccio quasi esclusivamente rivolto alla sola scala edilizia, puntando a diminuire, o quanto meno a contenere, i livelli di emissioni, attraverso interventi sui materiali edilizi, sui design architettonico, o sulla performance energetica dell'edificio. Tale constatazione è anche la ragione per cui in tale lavoro di ricerca non è stato ritenuto opportuno ai fini dell'obiettivo principale della tesi, né riportare altre iniziative europee, né fare

[33]

riferimento a specifiche best practices europee e italiane a scala urbana, in quanto in entrambi i casi sarebbe stato commesso l'errore di illustrare esperienze relative all'innovazione tecnologica per l'efficienza energetica, all'autosufficienza energetica degli insediamenti urbani o alla costruzione/riqualificazione dei "nearly zero energy buildings".

In accordo con quanto già affermato nel paragrafo precedente, pertanto, se è ormai assodato che le città devono partecipare fattivamente al raggiungimento della sostenibilità energetica ed ambientale, lo sforzo da compiere è definire e implementare metodologie e tecniche in grado di relazionare il funzionamento e l'organizzazione dei sistemi urbani con i consumi energetici al fine di prevenire i problemi che fino ad oggi si è cercato di risolvere a posteriori.

2.4 Strategie e strumenti per il risparmio e l'efficienza energetica in Italia: il quadro nazionale e locale

Le numerose strategie europee volte alla riduzione dei consumi energetici e delle emissioni climalteranti, così come alla necessità di adottare un approccio integrato per la risoluzione di tali tematiche, sono state accolte in Italia con notevole ritardo, soprattutto per quanto riguarda i decreti attuativi inerenti la promozione della sostenibilità ambientale nel sistema energetico. Tuttavia, l'obbligo di attuazione delle direttive europee sta riuscendo, seppur lentamente, ad invertire il trend di crescita delle spese di energia e delle emissioni, in accordo con i rapporti annuali elaborati dall'ENEA e con le analisi che sono alla base dei recenti documenti di pianificazione energetica nazionale. Durante gli ultimi sedici anni l'aliquota del petrolio all'interno del mix energetico italiano si è notevolmente ridotto, passando dai circa 95 Mtep (milioni di tonnellate di petrolio equivalente) nel 1997 (oltre il 54% della domanda totale di allora) ai circa 62,8 Mtep nel 2012, anno in cui è cresciuto l'apporto delle rinnovabili, dal 13,3 al 15,1% (ENEA 2013). La domanda di energia primaria si è, invece, attestata intorno ai 173 Mtep, riducendo dell'1,5% rispetto ai valori del 2010 (-1,5%), anche in ragione della crisi economica. Nel 2011 anche i consumi finali di energia hanno subito una contrazione del 2,0% rispetto al 2010, raggiungendo i 122 Mtep circa.

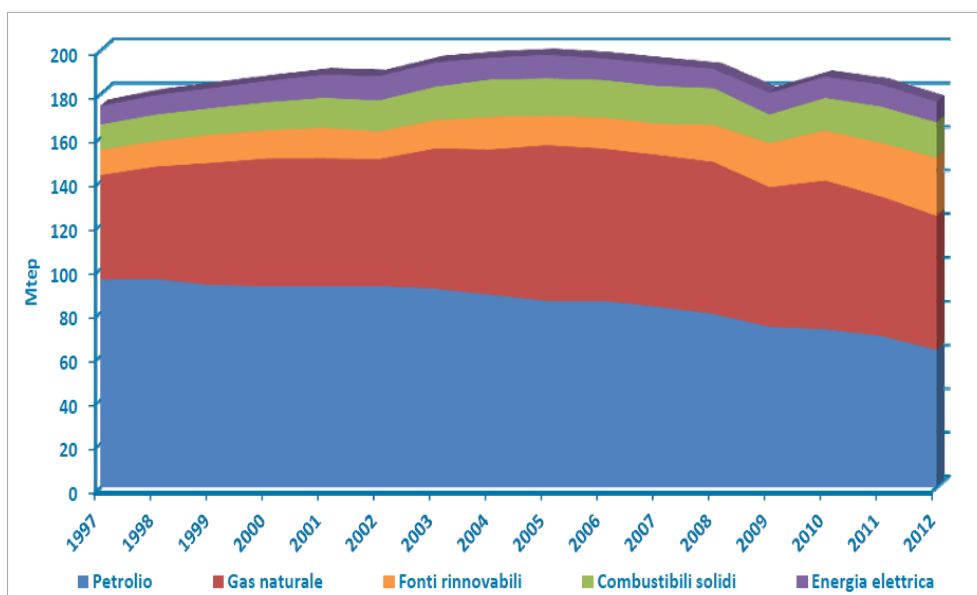


Figura 16: domanda di energia primaria, per fonte, nel periodo 1997-2012.

Confrontando l'andamento storico della domanda di energia per abitante con quello dell'Unione Europea, si osserva come l'Italia sia caratterizzata da valori inferiori alla media europea (figura 17). Un aumento continuo della domanda di si è verificato soprattutto tra il 1990 al 2005, anno a partire dal quale, la domanda è iniziata progressivamente a diminuire.

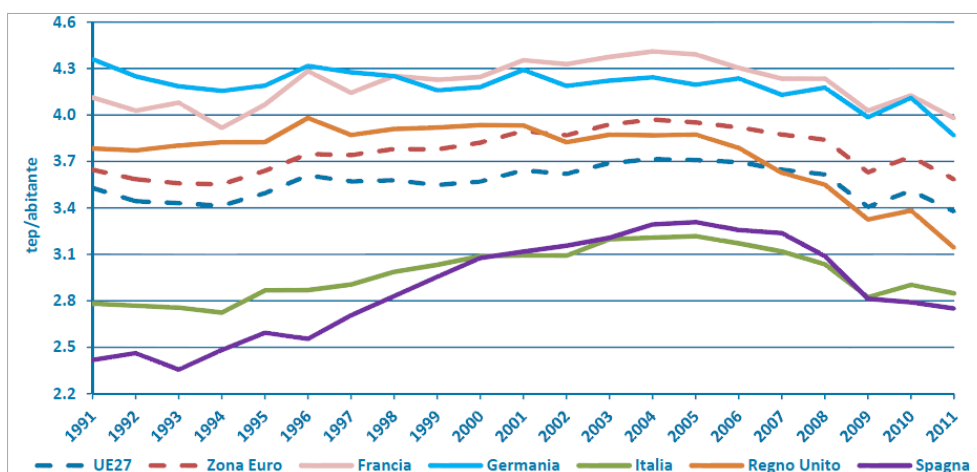


Figura 17: domanda di energia per abitante in alcuni dei Paesi europei, nel periodo 1991-2011.

Al fine di valutare e confrontare sia i progressi in termini di efficienza energetica nei Paesi europei, che le tendenze generali nel consumo di energia, è utile fare riferimento all'indice di efficienza energetica ODEX, sviluppato nell'ambito del progetto europeo ODYSSEE-MURE. Tale indice, calcolato per ciascuno dei singoli settori (industria, trasporti, residenziale) e per l'intera economia, è ottenuto aggregando le variazioni nei

consumi energetici unitari dei sottosettori o usi finali attraverso la media ponderata, con pesi pari alla percentuale di consumo di ciascun sottosettore (MISE, 2014). L'indice ODEX per l'anno di riferimento è posto uguale a 100, cosicché il valore per gli anni successivi indica l'incremento o meno dell'efficienza energetica rispetto all'anno di riferimento: un valore dell'indice nell'anno t, inferiore al valore dell'indice nell'anno base (o nell'anno precedente), misura un progresso dell'efficienza energetica nell'anno t. Il vantaggio di tale indice è che in grado di valutare meglio le dinamiche energetiche, in quanto depurato dagli effetti di cambiamenti strutturali ed altri fattori non legati all'efficienza.

Nel 2011 l'indice ODEX, per l'intera economia italiana, è pari a 86,1, con un miglioramento dell'efficienza energetica di circa un punto percentuale rispetto all'anno precedente. I vari settori hanno contribuito in modo diverso all'ottenimento di questo risultato: il residenziale ha fatto registrare progressi regolari e costanti per tutto il periodo 1990-2011; l'industria ha prodotto significativi miglioramenti solo negli ultimi sei anni; infine, l'andamento altalenante che ha caratterizzato il settore dei trasporti ha permesso soltanto una modesta variazione complessiva.

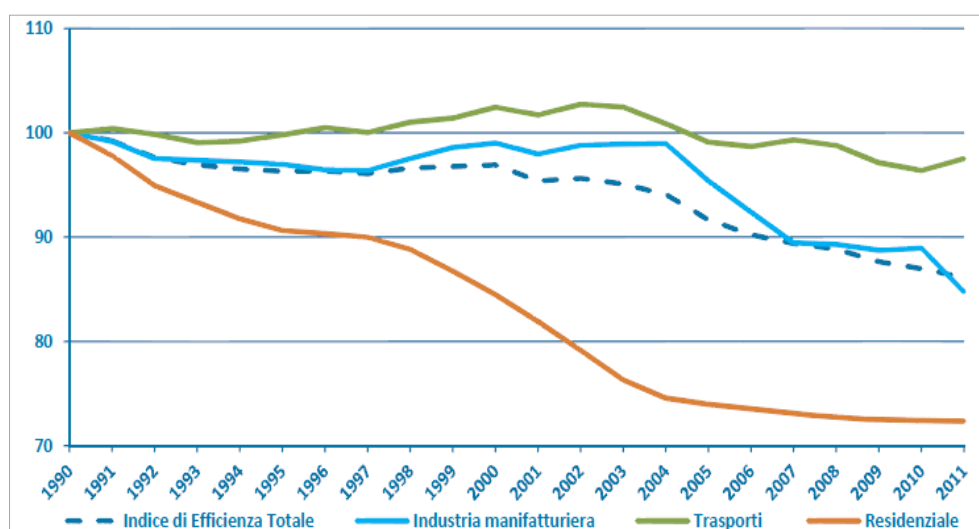


Figura 18: indice ODEX per l'Italia, nel periodo 1990-2011.

La politica energetica nazionale rappresenta una grande sfida per il nostro Paese: basti pensare che dagli anni '60, periodo in cui il "miracolo economico" aveva portato alla nazionalizzazione elettrica, si è arrivati oggi ad una fase in cui ad una fase in cui l'approvvigionamento e la produzione energetica, così come gli interventi da attuare ai fini dell'efficienza e del risparmio energetico, non sono inquadrati in un preciso e chiaro contesto decisionale e pianificatorio.

I primi passi della politica energetica italiana, risalgono agli inizi degli anni '90, quando è stata approvato il Piano Energetico Nazionale (PEN) che stabilisce, per tutte le regioni, l'adozione dei Piani d'Azione per l'utilizzo e la promozione di energie rinnovabili sul proprio territorio. In ottemperanza della Direttiva 2006/32/CE l'Italia ha redatto il proprio Piano d'Azione Nazionale per l'Efficienza Energetica (PAEE) nel 2007, mirato a definire le misure ex-ante per conseguire un risparmio energetico pari al 9% entro il nono anno di applicazione della direttiva stessa (2016), calcolato sul valore medio annuo di consumo di energia dei cinque anni precedenti l'attuazione della direttiva. A luglio 2011 è stata presentata dal Ministero dello Sviluppo Economico la bozza del nuovo PAEE che «intende dare seguito, in modo coerente e continuativo, ad azioni ed iniziative già previste nel PAEE 2007 e si propone di presentare proposte di medio-lungo termine basate su scenari innovativi e affidabili» (PAEE 2011). In parallelo, il Piano d'Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili (PAN), redatto dal MiSE e dal Ministero dell'Ambiente fornisce ulteriori indicazioni a favore dell'efficienza energetica, come presupposto indispensabile per il raggiungimento degli obiettivi in materia di energie rinnovabili e riduzione di CO₂.

Nel 2013, dopo oltre venti anni, è stata approvata la Strategia Energetica Nazionale che, vuole configurarsi come lo strumento di indirizzo e di programmazione generale in materia energetica. Gli obiettivi della SEN sono stati definiti tenendo presente la necessità di crescita economica dell'Italia e di raggiungimento degli obiettivi europei:

- ridurre significativamente il gap rispetto agli altri paesi europei: energia più competitiva a vantaggio di famiglie e imprese, con prezzi e costi dell'energia allineati a quelli europei al 2020;
- favorire una crescita economica sostenibile attraverso lo sviluppo del settore energetico che potrà giocare un ruolo chiave per migliorare e trainare la competitività dell'economia italiana nel suo complesso.

A livello locale, nel 1991 la legge n°10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia" ha iniziato a delineare il quadro delle politiche energetiche degli enti locali, stabilendo le prime norme attuative del PEN. La legge definisce, infatti, i contenuti richiesti al Piano Energetico Regionale (PER), dal bilancio energetico all'individuazione di risorse finanziarie per i nuovi impianti, assegna ai Comuni con oltre 50.000 abitanti il compito di integrare il PRG con uno specifico piano relativo all'uso delle Fonti Energetiche Rinnovabili (Piano Energetico Comunale - PEC). Se a tale legge è possibile riconoscere il merito di aver effettuato il primo passo per integrare la tematica energetica nei processi pianificatori e decisionali a livello locale,

occorre anche precisare che una forte disattenzione è stata posta nel trattare il risparmio energetico. Quest'ultimo, infatti, è stato individuato come una delle finalità principali dei PER, ma, in realtà, nella specificazione del campo applicativo di tali piani, finisce col costituire una tematica marginale. A differenza, inoltre, degli elementi principali dei PER che sono delineati dalla legge, altrettanto non è stato fatto per i piani energetici urbani che, successivamente, hanno incorporato anche la componente ambientale, diventando PEAC.

Una spinta decisiva nell'assegnare agli enti locali ruoli e compiti più incisivi sia per il governo delle trasformazioni territoriali, che per la questione energetica, è stata data dall'approvazione della riforma Bassanini (legge n°59 del 15 marzo 1997) che conferisce loro ampie competenze in materia di energia e territorio. La motivazione di questa azione di decentramento dei poteri decisionali è da ricercare nei documenti elaborati in quegli anni (Protocollo di Kyoto, Agenda 21, Libro Verde, etc.), mirati al maggiore coinvolgimento delle aree urbane nella risoluzione delle problematiche ambientali. Tale considerazione vale anche per la trasformazione da PEC a PEAC, considerata la crescente consapevolezza che le dinamiche urbane e territoriali, gli usi e i consumi energetici, e la tematica ambientale sono strettamente legati tra loro.

A oltre 20 anni di distanza dall'emanazione della legge n°10, il quadro pianificatorio per l'energia a livello locale risulta ancora incompleto e insoddisfacente: soltanto 44 Comuni possiedono il PEC (Zanon & Verones, 2013). Se si considera anche lo stato di fatto relativo alla tematica dei cambiamenti climatici, rispetto alla quale solo 18 città⁶ sono dotate di un piano di mitigazione, è facile intuire il fallimento dei processi di governo del territorio nell'ottica energetica ed ambientale.

La natura complessa e interdisciplinare di tali questioni si scontra con il rigido approccio settoriale che caratterizza il processo decisionale e attuativo del nostro Paese.

La forte valenza energetica ed ambientale delle aree urbane non sembra essere stata ancora declinata in funzione delle trasformazioni fisiche, funzionali, sociali ed economiche, al fine di poter sviluppare una politica energetica ambientalmente sostenibile, caratterizzata dalla completa integrazione tra energia, mobilità e sistema urbano.

In un tale stato di fatto, in cui a livello nazionale manca ancora una concreta politica per il clima e a livello locale le misure per la riduzione dei consumi energetici continuano a riguardare solo quei settori "tradizionali", iniziative come il Patto dei Sindaci possono

⁶ Il dato si riferisce ad un Programma multidisciplinare europeo COST, che ha preso in esame le risposte al problema dei cambiamenti climatici di 200 città medio-grandi, di 11 Paesi europei (<http://www.regioneambiente.it/>).

fornire un valido contributo, considerato che la struttura dei PAES si basa sull'interrelazione tra le componenti urbane.

L'Italia è, infatti, il primo Paese del Patto per numero di firmatari, coordinatori e sostenitori: «2.081 firmatari per un totale di 2.185 comuni coinvolti» (ENEA, 2013) e sul totale dei Comuni italiani (8092) il 26,11% lo hanno sottoscritto e di questi il 54,85% hanno presentato il PAES.

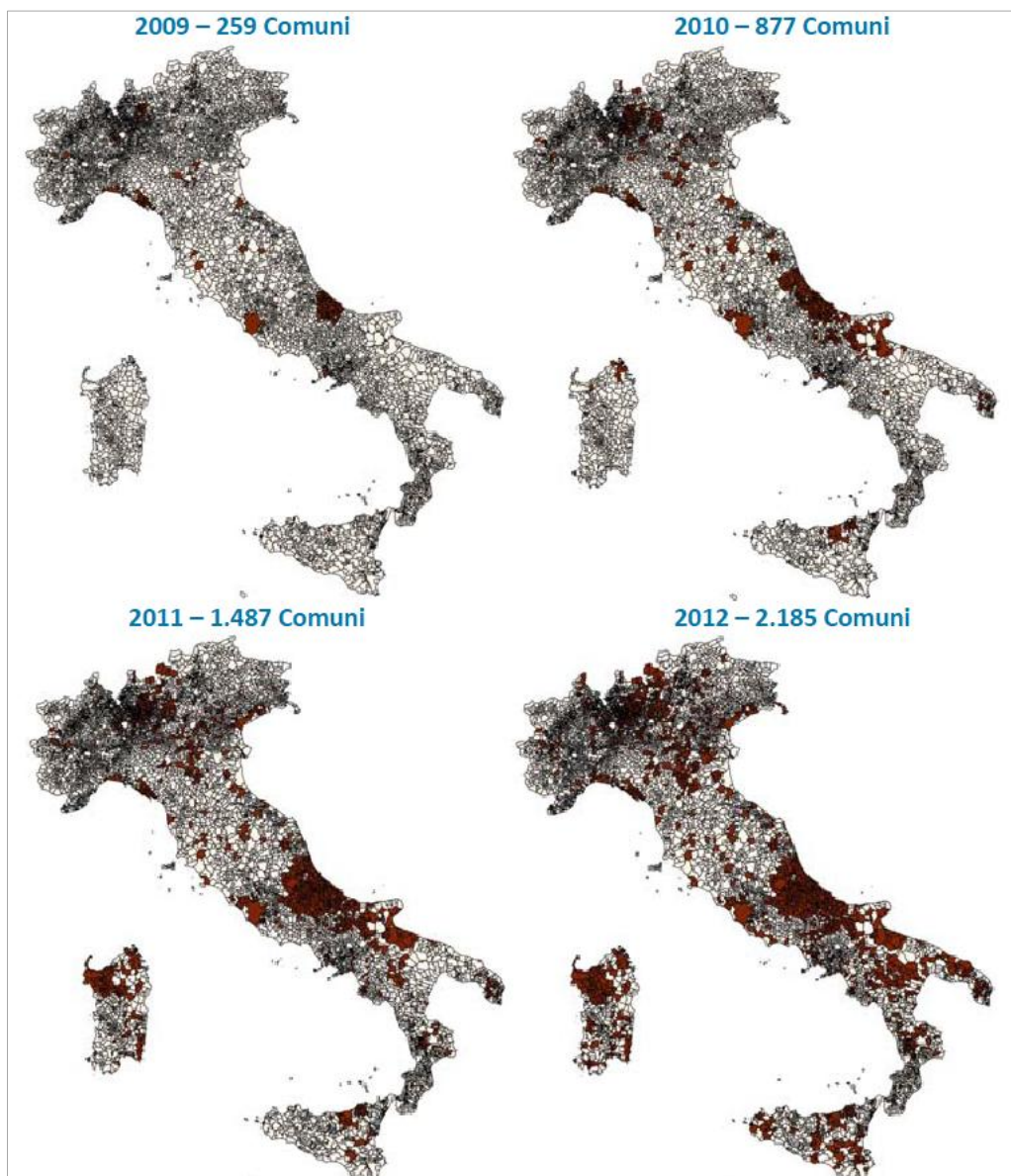


Figura 19: evoluzione temporale della adesione italiana al Patto dei Sindaci

Il quadro italiano appena delineato, oltre a indurre una riflessione sull'utilità e sull'applicazione dei tradizionali PEC, fa anche emergere il fatto che il coinvolgimento

delle città nel difficile processo di risoluzione della problematica energetica dovrebbe avvenire fornendo ai tecnici ed ai decisori metodologie, procedure e tecniche attraverso cui affrontare la coesistente complessità urbana ed energetica. La carenza, infatti, di approcci e metodi che permettono di gestire la forte valenza energetica dei sistemi urbani può rappresentare un forte punto di debolezza per il futuro low-carbon delineato dall'Europa, da un lato, e l'elemento di successo di iniziative volontarie come il Patto dei Sindaci, in grado di favorire la "possibilità di fare rete" tra le diverse città, e quindi di scambiare soluzioni ed esperienze, dall'altro.

Nell'ottica, quindi, di fornire metodologie e indicazioni utili al decisore per ridurre il surplus dei consumi energetici urbani, si inserisce il presente lavoro di tesi.

CAPITOLO 3. IL DIBATTITO SCIENTIFICO SUL TEMA DEI CONSUMI ENERGETICI ALLA SCALA URBANA

3.1 Introduzione

L'obiettivo principale di questo capitolo è quello di introdurre il tema della ricerca, illustrando come il rapporto tra la morfologia, la forma e la dimensione degli insediamenti urbani ed i consumi energetici sia stato affrontato all'interno del dibattito scientifico. Lo studio dei consumi energetici alla scala urbana non può prescindere dalla conoscenza né delle condizioni fisiche dell'area di studio, né di quelle climatiche, in quanto questo significherebbe effettuare una forte semplificazione delle componenti del sistema urbano e delle relazioni tra esse.

Parte del contenuto di questo capitolo è già stato pubblicato nel lavoro "Urban Systems and Energy Consumptions: A Critical Approach", di R. Papa, C. Gargiulo, F. Zucaro (2014) in *TeMA Journal of Land Use Mobility and Environment*, special issue.

3.2 La dicotomia compatto vs sprawl nell'ottica energetica

A metà degli anni '80 il dibattito scientifico ha iniziato a studiare, seppur in maniera prevalentemente teorica ed empirica, la valenza energetica del sistema urbano, indagando il legame tra organizzazione funzionale e morfologica degli insediamenti e la componente energetica. In particolare, S. Owens (1986), nel delineare il quadro di riferimento per la pianificazione energetica urbana, ha approfondito tale legame spiegando che la localizzazione, l'organizzazione, la forma e la dimensione delle città, così come i processi socio-economici che si verificano di pari passo con l'evoluzione urbana, sono influenzati, sia direttamente che indirettamente, dalla disponibilità e dalle modalità di distribuzione delle fonti energetiche.

Così come Wergener e Furst (1999) hanno dimostrato la dipendenza ciclica tra territorio e trasporti, così la Owens ha descritto l'interazione energia-città come un unico sistema integrato (figura 20). Elementi quali la disponibilità, la localizzazione, i costi e le modalità di distribuzione delle fonti energetiche condizionano lo sviluppo della morfologia e della struttura funzionale ed economica delle aree urbane. Allo stesso modo, le caratteristiche urbanistiche quali la densità, il mix funzionale e le infrastrutture presenti influenzano la componente energetica, sia in termini di domanda, ad esempio per il comfort termico degli ambienti o per il trasporto, che di offerta, soprattutto in relazione alla distribuzione.

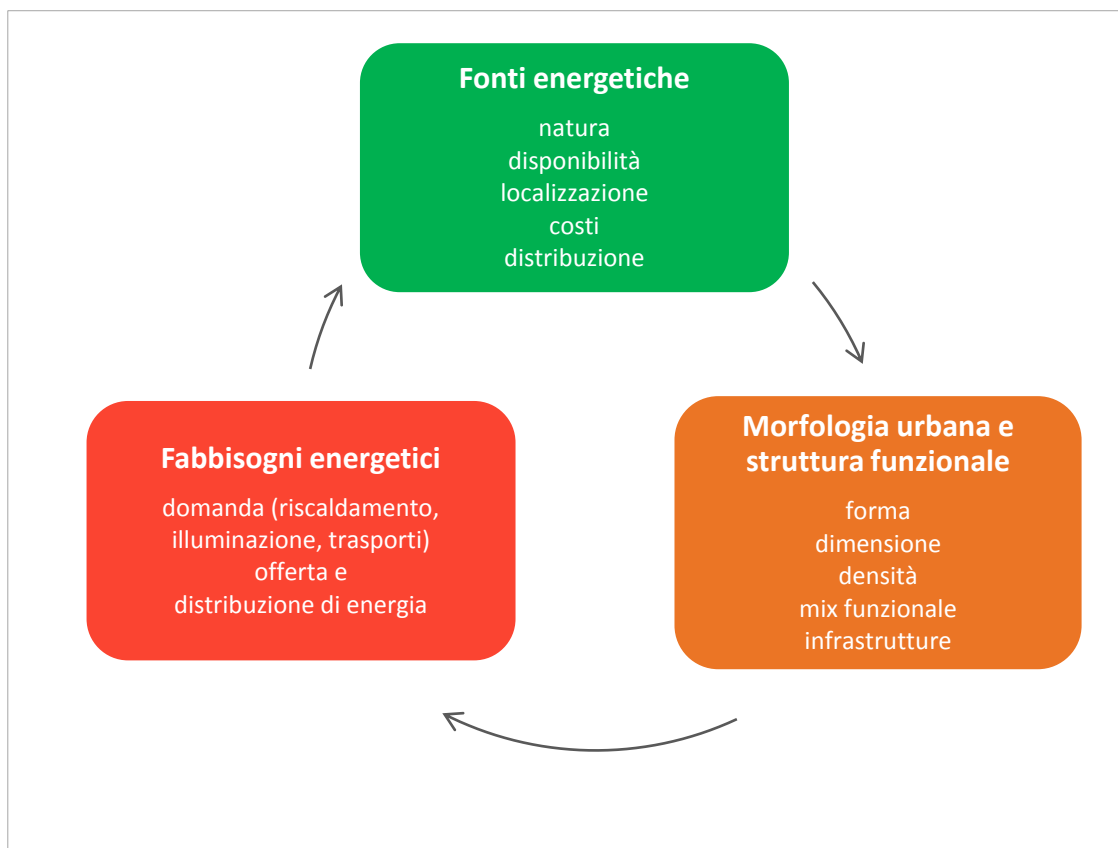


Figura 20: dipendenza ciclica tra energia e sistema urbano.

Il lavoro della Owens ha in pratica sollevato, per la prima volta, degli interrogativi sulle implicazioni energetiche delle aree urbane, constatando che tutte le componenti di un sistema urbano incidono sulla produzione, sulla domanda e sul consumo di energia. Non a caso la Owens richiama il lavoro di McLoughlin (1973) che applica il modello interpretativo sistemico alla pianificazione urbanistica. Seppur solo da un punto di vista teorico la Owens ha, infatti, stimato i potenziali risparmi energetici raggiungibili attraverso una pianificazione territoriale con valenza energetica, il cui obiettivo principale è lo sviluppo e il governo di un assetto territoriale che conduce all'efficiamento e al risparmio energetico (figura 21).

Variabile relativa all'uso del suolo	Legame con i consumi di energia	Effetto sui consumi di energia
Mix di attività	Bisogno in termini di trasporti locali (lunghezza spostamenti)	Varia fino al 130%
Combinazione di variabili strutturali (forma, dimensione, mix funzionale, etc)	Bisogno in termini di trasporti locali (lunghezza spostamenti e frequenza)	Varia fino al 150%
Forma urbana	Bisogno in termini di trasporti	Varia fino al 20%
Densità/raggruppamento	Facilità di uso dei trasporti pubblici	Varia fino al 100%
Densità/mix funzionale e forma urbana	Introduzione della cogenerazione	Efficienza del 100%
Orientamento e design	Guadagno solare passivo	Variazione del 20%

Figura 21: potenziale di risparmio energetico alla scala interurbana.

I quesiti sulle possibili forme urbane sostenibili dal punto di vista energetico, sono stati poi ripresi nell'ultimo quarantennio, all'interno di diverse discipline, riportando l'attenzione sull'ancora accesa diatriba tra i sostenitori della città compatta e quelli della città diffusa. Tale dibattito è tornato ad essere in primo piano in conseguenza della diffusione delle tematiche di sostenibilità che hanno spinto gli studiosi a definire nuovi modelli insediativi sostenibili (Frey, 1999; Williams *et al.*, 2000; Jabareen, 2006): dalle New Towns caratterizzate di decentramento delle attività, soprattutto residenziali, alla Smart Growth che ha promosso lo sviluppo compatto caratterizzato da mix funzionale e sociale e alta accessibilità pedonale e veicolare. La controversia tra i due modelli di sviluppo ha portato, in pratica, alla definizione di una serie di posizioni intermedie, che cercano di combinare gli aspetti migliori delle aree compatte e di quelle disperse, cercando, allo stesso tempo, di evitare gli svantaggi di entrambi.

Il denominatore comune delle differenti alternative di insediamenti urbani sostenibili è la densità urbana, che è stata di fatto assunta come variabile di sintesi degli aspetti morfologici e funzionali dei sistemi urbani e, quindi, come "identificativo" del dibattito compact city vs sprawl city. Queste due teorie, dominanti e contraddittorie, possono fornire utili elementi di analisi, empirici e quantitativi, sulla sostenibilità energetica delle aree urbane. I minori consumi che sembrano caratterizzare la città compatta (March, 1972; Steemers, 2003) sono ascrivibili soprattutto ai fabbisogni relativi agli spostamenti e agli usi civili (Thomas & Cousins, 1996; Jenks & Burgess, 2000; Chen *et al.*, 2008). Densità urbane elevate possono consentire di effettuare spostamenti, anche più brevi rispetto al caso della dispersione urbana, senza ricorrere all'auto privata. A differenza inoltre, delle aree urbane a bassa densità insediativa, dove la tipologia costruttiva prevalente sono villette a schiera, nelle aree urbane compatte gli appartamenti hanno minori dimensioni e minori superfici disperdenti (Holden & Norland, 2005; Andrews,

2008; Pitt, 2012), e, quindi, determinano dispersioni di calore più contenute. A riguardo, Ewing e Rong (2008) hanno constatato che le famiglie che vivono in unità plurifamiliari in aree a bassa densità, consumano il 54% e il 26% di energia in più rispettivamente per il riscaldamento e per la climatizzazione estiva, rispetto ad una famiglia che vive in appartamento all'interno di tessuti urbani consolidati. Newman e Kenworthy (1989) hanno dimostrato che le città con elevate densità sia abitative che insediative, sono meno energivore. Il loro studio ha analizzato un gran numero di città localizzate in differenti aree del pianeta, per studiare la relazione tra consumi energetici dei trasporti e densità dell'insediamento. Tra i risultati più significativi vi è quello che dimostra che al diminuire della densità urbana aumentano i consumi di carburante e il ricorso all'automobile. Tale relazione, essendo molto complessa, non è rappresentabile tramite una semplice relazione lineare, bensì con una funzione di tipo esponenziale. 30 abitanti per ettaro è il valore a partire dal quale si verificano significativi incrementi dei consumi, al decrescere della densità (figura 22). Le città americane, ad esempio, sono caratterizzate da densità notevolmente basse ed alti consumi, mentre quelle europee si trovano tra queste e quelle del continente asiatico, con una tendenza verso la parte inferiore della curva.

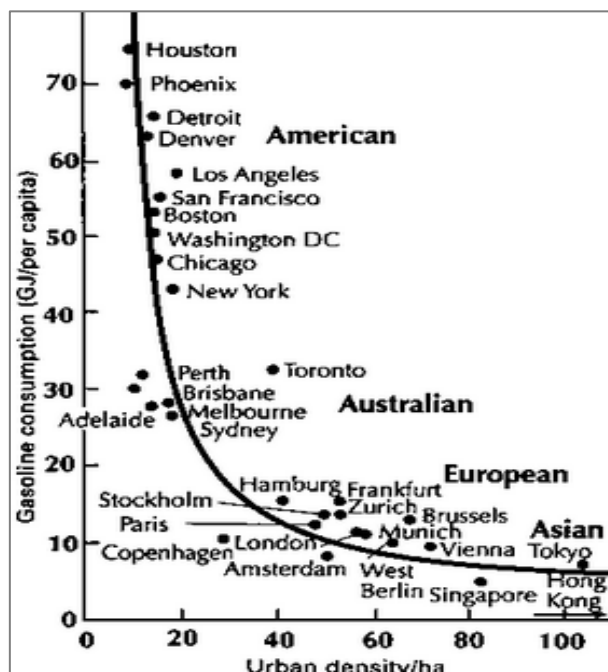


Figura 22: relazione tra il consumo di benzina pro-capite e la densità urbana in diverse città del mondo.

Anche la Owens (1992) sostiene che la riduzione della necessità di spostamento può influire positivamente sui consumi energetici, sebbene «at particular high-density, the

energy consumption benefits may begin to be outweighed by the side benefits arising from congestion».

I minori consumi energetici ottenibili da uno sviluppo urbano di tipo compatto possono essere riferiti anche alle infrastrutture a rete, sia per quanto riguarda la manutenzione che la gestione, in quanto queste sono a servizio di aree molto edificate e quindi necessitano di un numero contenuto di diramazioni, nonché per le nuove forme di distribuzione dell'energia come il teleriscaldamento (Steemers, 2003). In particolare, la scala di quartiere massimizza i vantaggi legati all'integrazione tra diverse forme di energia, in quanto consente di far sì che la rete di distribuzione svolga funzioni sia di generazione che di carico.

Breheny (1995) sostiene che il fenomeno dello sprawl non ha comportato un aumento dei consumi significativamente più alto di quello che si sarebbe verificato adottando politiche e misure volte alla compattezza urbana. Tale lavoro ha in pratica cercato di mettere in dubbio l'efficacia della città compatta in termini di risparmio energetico: «improbabile che politiche di contenimento più severe diano risparmi energetici della consistenza che ci si aspetta, essendo invece probabile che risultino sproporzionate rispetto all'impegno richiesto per conseguirle».

Sebbene lo scetticismo riguardo i benefici della città compatta sia man mano aumentato nel tempo, tale forma di sviluppo è stata così dominante che non deve stupire che «the move towards the compact city is now entrenched in policy throughout Europe» (Jenks *et al.*, 1996) e in America. L'UE nella Carta Europea II (2008) sostiene che aree urbane caratterizzate da alti livelli di densità insediativa richiedono minori risorse e permettono di ottenere un'alta qualità urbana. Su basi simili, sono state promosse negli USA azioni di densificazione urbana, associate ad interventi per il potenziamento ed il miglioramento del trasporto pubblico. Tuttavia, diverse ricerche condotte da studiosi come Ewing e Cervero (2001) e Echenique (2012) hanno dimostrato come l'incidenza della forma urbana sugli spostamenti veicolari sia alquanto modesta. In linea con tali studi, il Transport Research Board (2009) ha riscontrato che la riduzione delle distanze medie percorse in automobile può essere ridotta del 20% attraverso elementi quali la vicinanza al centro città ed al posto di lavoro, mentre raddoppiando la densità di un quartiere tale riduzione è pari solo al 5%.

I possibili dubbi sui benefici della città compatta, soprattutto in termini di risparmio energetico, possono essere ricondotti anche all'influenza della forma e della densità urbana sull'irraggiamento solare. Sin dagli anni '90 studiosi come Banister, Baker e Steemers hanno studiato tale incidenza anche in riferimento al microclima urbano. Un tessuto urbano compatto, caratterizzato da un alto indice di copertura territoriale e da

edifici alti e compatti, può costituire un effetto barriera per la radiazione solare che si traduce, ad esempio, nell'impossibilità di utilizzare pannelli fotovoltaici come fonte di energia rinnovabile. Steemers (2003) sostiene che "angoli di ostruzione solare" maggiori di 30° incidono negativamente sull'efficienza energetica di un'area urbana compatta.

Gli studi di Oke (1981) e di Givoni (1998) hanno dimostrato che più l'ambiente è costruito, maggiori risultano essere l'immagazzinamento diurno ed il rilascio notturno di calore, a parità di flusso radiativo. In accordo con tali studi, quindi, le caratteristiche morfologiche della città, la geometria e le dimensioni dell'edificato, e la distribuzione spaziale delle attività antropiche e delle aree verdi al suo interno, sono strettamente connesse alle condizioni microclimatiche urbane, gravando sugli effetti della radiazione solare e inasprendo fenomeni quali l'isola di calore urbana, UHI (Stone & Rodgers, 2001; Kolokotroni & Giridharan, 2008; Rizwan *et al.* 2008). L'isola di calore urbana fa riferimento alla zona atmosferica sovrastante la città, caratterizzata da temperature, in media, più elevate rispetto alle zone circostanti non edificate. Sebbene tale fenomeno sia noto agli studiosi da circa la metà del XIX secolo, solo di recente è stato oggetto di numerose ricerche, in quanto rappresenta l'effetto climatico più evidente sia del processo di urbanizzazione che di aumento dei consumi energetici urbani.

L'innalzamento della temperatura per effetto dell'UHI varia tra 1°C e 3°C e determina un aumento del fabbisogno di raffrescamento nei mesi estivi ed una diminuzione dell'esigenza di riscaldamento durante il periodo invernale. Ewing e Rong, in uno studio su differenti città americane, sostengono che il risparmio energetico relativo alla climatizzazione invernale per effetto dell'isola di calore urbana supera gli effetti negativi che tale fenomeno determina nei tessuti compatti.

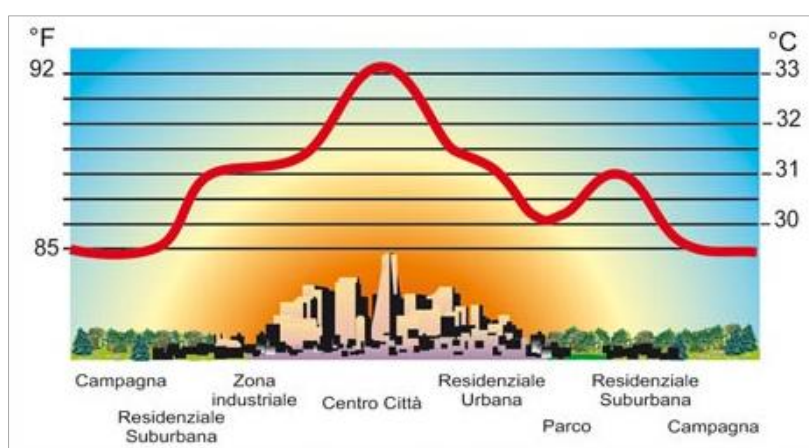


Figura 23: effetto dell'isola di calore urbana.

In accordo con Oke (1973, 1982) l'UHI è strettamente connesso alla morfologia ed alla geometria delle aree urbane. L'intensità dell'UHI è, infatti, dipende fortemente dalla forma dell'edificato attraverso il rapporto H/W, aspect ratio, in cui H è l'altezza degli edifici e W è la distanza tra i fronti. I possibili valori di H/W, derivanti dalle numerose configurazioni spaziali delle aree urbane, corrispondono a diverse condizioni per la ventilazione naturale degli edifici, per l'illuminazione naturale degli ambienti interni ed anche del suolo stradale. Il peso che, quindi, l'aspect ratio ricopre all'interno del dibattito sulla compattezza ideale dell'insediamento è da non sottovalutare in quanto tale parametro influisce sulle prestazioni energetiche complessive degli insediamenti urbani. Da quanto fino ad ora descritto, si intuisce che i risultati delle ricerche che tentano di determinare la "supremazia" di un modello rispetto ad un altro, risultano essere tutt'altro che consolidati. A riguardo, è opportuno citare il lavoro "The cost of sprawl" (1974), una ricerca esaustiva ed approfondita che critica e condanna fortemente la dispersione urbana proprio nel periodo in cui quest'ultima stava raggiungendo la sua massima espansione. Tale lavoro, pubblicato negli USA nel 1974, ha valutato le conseguenze di bassi livelli di densità urbana in termini di costi energetici, costi di investimento, costi di funzionamento e impatto ambientale (figure 24a e 24b), in relazione a sei ipotetici nuovi insediamenti, ciascuno dei quali composto da 10.000 abitazioni, relative ad un mix diverso di sei tipologie edilizie.

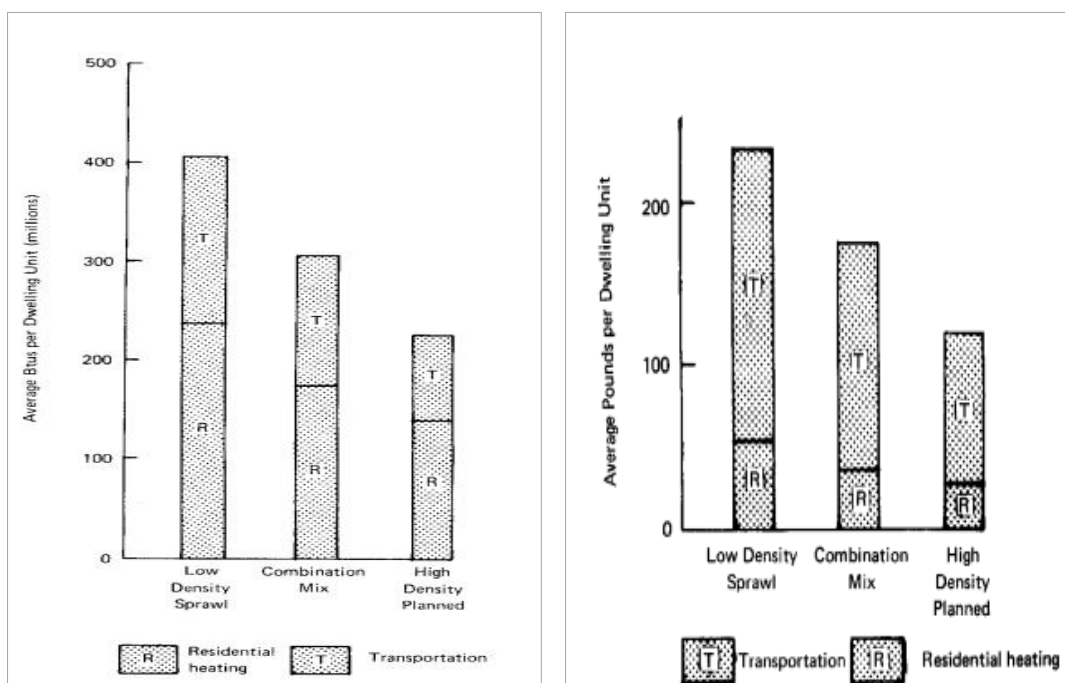


Figure 24a e 24 b: risultati relativi ai consumi annuali di energia e valori annuali di inquinamento atmosferico.

Uno dei principali risultati, tutti a favore della compattezza urbana, è che gli insediamenti ad elevata densità urbana consumerebbero il 44% in meno di energia ed il 35 % in meno di acqua e produrrebbero il 45% in meno di emissioni relative ai trasporti. Tali risultati sono, tuttavia, da considerare con cautela, in quanto successivi studi (Altschuler, 1980) hanno dimostrato che essi sono distorti e parziali, poiché fanno riferimento ad insediamenti fittizi lontani da quelli reali.

Nel 2002 un gruppo di ricercatori americani ha messo a punto un dettagliato stato dell'arte di tutti gli studi effettuati sullo sprawl fino a quel momento (Burchell, 2002). Questo studio, seppur risulti esser più oggettivo ed affidabile del precedente, sembra non prestare particolare attenzione ai consumi energetici urbani. Questi ultimi, infatti, sono valutati insieme ad altri aspetti riconducibili alle più ampie tematiche ambientali e di qualità della vita, (ad esempio l'inquinamento atmosferico, lo stress, il senso di appartenenza alla comunità, etc.) e non sono descritti da un punto di vista prettamente quantitativi, in relazione alle esternalità della dispersione urbana.

Il carattere controverso del dibattito compact vs sprawl fa intuire che la promozione di politiche e misure volte ad aumentare o contenere i livelli di densità per riuscire a contenere i consumi energetici, non può avvenire tralasciando le potenziali conseguenze negative in termini ambientali e microclimatici. In accordo con Newman (2005) che in riferimento alla sostenibilità afferma «asking whether a compact city, or any other form of the city, is sustainable is like asking whether the body is sustainable», sarebbe opportuno adottare un nuovo modo di ragionare sull'energia, al fine di agire sulle relazioni tra gli elementi che compongono il sistema urbano, in quanto determinanti del consumo energetico.

3.3 Le relazioni tra ambiente costruito e consumi energetici

Le ricerche e gli studi che hanno indagato, soprattutto dal punto di vista teorico ed empirico, la morfologia ai fini dell'efficienza e del risparmio energetico, si sono concentrati principalmente sulla densità. Quest'ultima, sia se riferita a quella abitativa (gross density) che a quella insediativa (net density), è, infatti, considerata come un «indicatore di sintesi delle caratteristiche morfologiche della città» (De Pascali, 2008) e permetterebbe, quindi, di descrivere ed “interpretare” il comportamento dell'ambiente costruito in termini di sostenibilità e di performance energetica.

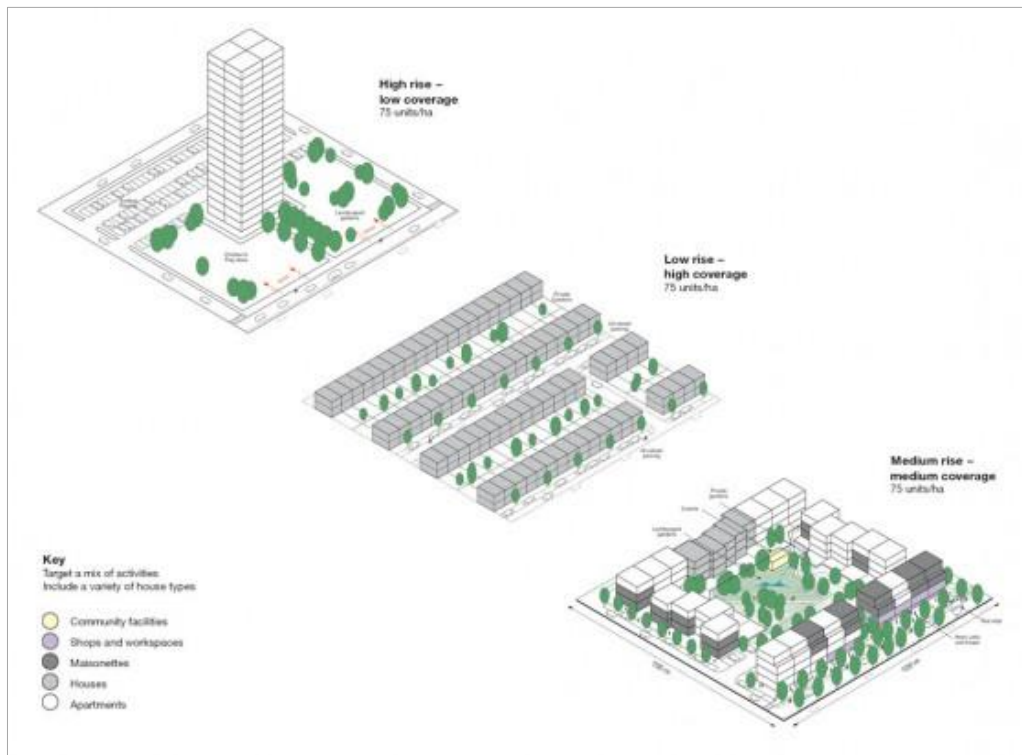


Figura 25: differenti tipologie di tessuto urbano, caratterizzate dalla stessa densità.

Negli attuali studi relativi alle trasformazioni territoriali la densità non è più semplicemente utilizzata per descrivere i processi di evoluzione e crescita urbana, bensì ha assunto una sempre maggiore connotazione trasversale legata ai requisiti ambientali ed energetici delle aree urbane. Tuttavia, il legame tra densità urbana e consumi energetici risulta essere ancora controverso e può essere sintetizzato nel seguente interrogativo: il futuro sviluppo urbano che richiede bassi consumi di energia, sarà anche uno sviluppo compatto?

In accordo con lo stato dell'arte sul tema descritto nel precedente paragrafo, risulta che le conclusioni sulle forme e sulle densità urbane in grado di incidere positivamente sui consumi energetici, si rivelano ancora incerte ed opposte. A riguardo è utile fare riferimento ad una ricerca condotta dal CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) nel 2006. I due studiosi che hanno condotto tale lavoro, Salat e Nowacki hanno individuato un campione di 100 quartieri in sei diverse città del mondo per studiare le relazioni tra densità, morfologia e forma urbana, al fine di definire e confrontare le differenti tipologie di tessuto urbano in base alla loro efficienza energetica. L'aspetto interessante di questa ricerca è che la densità è valutata soprattutto in relazione alla forma che la caratterizza, permettendo in tal modo di far

luce su alcuni stereotipi. Densità e compattezza non possono essere considerate caratteristiche equivalenti, o perlomeno tale corrispondenza non è riscontrabile nelle città europee.

Qui, infatti, i tessuti urbani centrali hanno una maggiore densità rispetto alle zone periferiche, ma, risultano essere meno compatti in quanto sono molto diversificati al loro interno. L'equivalenza caratterizza, invece, le città americane dove tra compattezza e densità c'è una proporzionalità diretta.

Questo discorso è strettamente legato ad un parametro fisico che è il fattore di compattezza, calcolato come il rapporto tra la superficie ed il volume di un edificio (S/V). Più un edificio è compatto, e, quindi, più tale rapporto è basso, minore è l'energia necessaria per il suo riscaldamento, in quanto minori sono le perdite di calore.

La compattezza di un edificio deve essere, però, considerata in relazione al suo volume passivo che rappresenta la parte dell'edificio entro 6 metri dalle finestre e che quindi usufruisce di una luce e di una ventilazione naturale. Edifici compatti, in pratica, hanno perdite di calore inferiori rispetto ad altri edifici, ma necessitano di maggiore illuminazione e anche di maggiore ventilazione, in quanto i contributi positivi dell'irraggiamento e del microclima locale sono inferiori (Bakers & Steemers, 2000). In alcuni casi, ad esempio, alti valori del fattore di compattezza, massimizzati per sfruttare al meglio il riscaldamento solare passivo, e basse densità, possono fornire maggiori potenzialità di riduzione dei consumi energetici, rispetto a quelle ottenibili aumentando la densità urbana.

Owens (1986) suggerisce che il consumo energetico di un edificio può variare fino al 200% con riferimento al fattore di compattezza, mentre Ratti *et al.* (2005) hanno dimostrato l'esistenza di una relazione inversa tra tale parametro e consumo di energia, attraverso la comparazione di edifici non domestici localizzati in tre quartieri europei.

I principali risultati di tale studio, unitamente a quanto esposto in questo capitolo, consentono di affermare che la densità non può essere considerata come unico parametro di riferimento e di valutazione per garantire alti livelli di efficienza e di risparmio energetico nelle aree urbane. Nel caso delle differenti forme di sviluppo urbano, risulta essere ancora una questione empirica quella dell'individuazione della forma urbana caratterizzata da una maggiore efficienza energetica.

Rimane tuttora irrisolto, ad esempio, l'apparente paradosso tra la tendenza generalizzata a densificare per ridurre i costi di trasporto e per aumentare l'efficienza energetica della città e l'impatto che tale processo può avere sul microclima urbano e sulla stessa qualità della vita in città. Ad esempio, nelle città nord-europee, a causa della latitudine e della conseguente scarsa inclinazione solare, la densità urbana incide

sull'accessibilità solare in misura maggiore rispetto ad altri centri urbani (Strømman *et al*, 2012): tale incidenza si riflette poi sul consumo totale di energia, in misura del 30% in più per gli uffici e del 19% in più per le abitazioni, in riferimento al consumo di energia negli edifici. Tuttavia, se pensiamo ai climi mediterranei, dove sui consumi energetici incide sempre più la crescente domanda di climatizzazione estiva, i contesti urbani densi, consentendo di ridurre i guadagni termici diretti per effetto delle reciproche ostruzioni, risultano essere più efficienti.

Salat e Nowacki hanno riscontrato che la messa a sistema delle diverse e numerose variabili attraverso cui descrivere morfologia, geometria e forma urbana, consentirebbe un miglioramento della performance energetica della città, tanto quanto in termini di efficienza che di risparmio, nettamente superiore a quello ottenibile intervenendo singolarmente su ciascuna caratteristica fisica.

La relazione tra forma, dimensione urbana e consumi energetici dovrebbe, allora, essere studiata prendendo in considerazione tutti i numerosi parametri che entrano in gioco (il volume e la distribuzione degli edifici, la presenza di spazi aperti, etc.) non solo, però, nella loro specificità ma soprattutto approfondendo le reciproche relazioni al fine di individuare gli elementi che incidono realmente in modo significativo sui consumi energetici. Allargare lo sguardo e considerare la città nel suo insieme, permetterebbe di adottare una visione globale che si occupa complessivamente e in maniera integrata della città, dell'efficienza della sua forma e delle sue costruzioni.

CAPITOLO 4. I PRINCIPALI MODELLI DI RIFERIMENTO ORIENTATI AL RISPARMIO ED ALL'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

4.1 Introduzione

L'obiettivo principale di questo capitolo è quello di descrivere i principali modelli, ricerche e sperimentazioni che hanno studiato le relazioni tra i consumi energetici e le caratteristiche urbane oggetto di studio, fisiche, ambientali ed edilizie, alla scala urbana. Il lavoro di ricerca, infatti, è orientato a definire le relazioni tra tali caratteristiche che determinano i consumi energetici e, quindi, in tale ottica, mira anche a proporre un insieme di variabili ben più ampio di quelli presenti in letteratura.

Parte del contenuto di questo capitolo è stato messo a punto in collaborazione con l'ing. Gerardo Carpentieri (a riguardo si può fare riferimento al lavoro: "Integrated Urban System and Energy Consumption Model: Residential Buildings", di R. Papa, C. Gargiulo, G. Carpentieri (2014) in *TeMA Journal of Land Use Mobility and Environment*, special issue).

4.2 Le categorie di modelli

Dopo aver illustrato, nel precedente capitolo, i principali studi relativi alla dimensione urbana dei consumi energetici, seppur da differenti punti di vista, si procede col descrivere i modelli maggiormente diffusi in letteratura, nonché alcune sperimentazioni, per il calcolo dei consumi energetici alle scala urbana, al fine di individuare sia il modello che meglio può rispondere alle esigenze del lavoro di ricerca, che le variabili da prendere in considerazione. Sebbene la gran parte delle ricerche affermi di aver studiato i consumi energetici di un'intera area urbana, questi, in realtà sono stati calcolati o messi in relazione solo quasi esclusivamente con gli edifici, singoli o in gruppi. Questo stato di fatto ha, quindi, fatto sì che questa fase conoscitiva del lavoro di ricerca abbia riguardato soprattutto la scala di dettaglio come quella edilizia.

I "modelli energetici" possono essere classificati utilizzando differenti criteri. Hoffman e Wood (1976), ad esempio, hanno usato le tecniche di modellazione per classificare i modelli, individuando i seguenti approcci: metodo basato sulla programmazione lineare, metodi input-output, metodi econometrici, modelli di processo e modelli dinamici. Nakata (2004) ha, invece, considerato l'approccio di modellazione (top-down e bottom-up), la metodologia (equilibrio parziale, generale o ibrido), la tecnologia di modellazione (ottimizzazione, econometrico o contabile) e la dimensione spaziale (nazionale, regionale e globale).

In generale, in accordo con quanto proposto da Swan e Ugursal (2008) e da Zhao (2012), i modelli di calcolo dei consumi energetici possono essere divisi in tre categorie

[54]

principali: top-down, bottom-up e modelli ibridi. Tale classificazione si riferisce a “the hierarchal position of data inputs as compared to the studying sector as a whole”. In pratica, la differenza risiede nel livello di aggregazione dei dati di input: dati aggregati per i modelli top-down e disaggregati per quelli bottom-up.

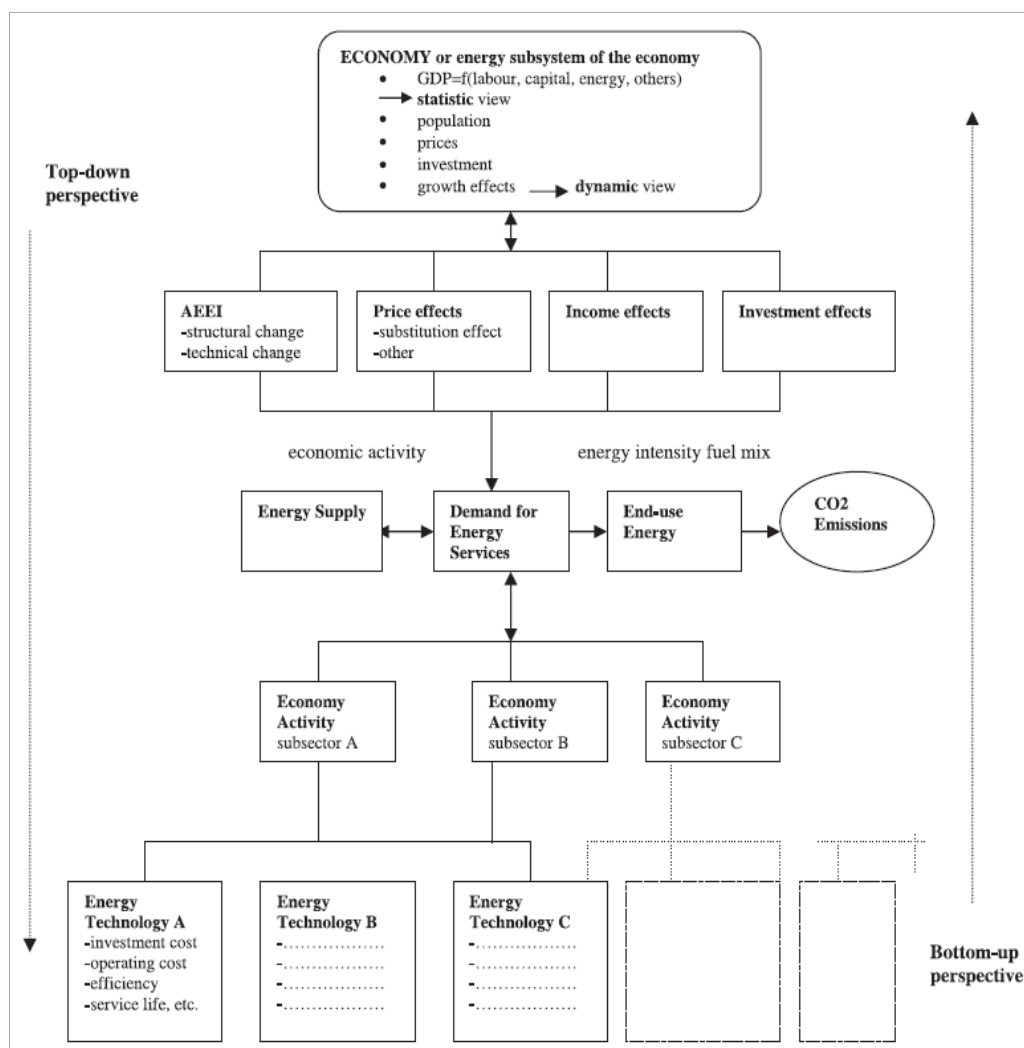


Figura 26: approcci dei modelli top-down e bottom-up

Modelli top-down

I modelli top-down (Xu & Masui, 2009; Lu et al. 2010) sono utilizzati per ricostruire serie storiche dei consumi energetici a scala vasta, senza quindi distinguere i consumi di energia in funzione dei singoli usi finali (acqua calda, apparecchiature elettriche, etc.). Questo tipo di approccio consente di capire l'effetto che le trasformazioni in atto e a lungo termine determinano sul consumo di energia (innovazione tecnologica,

riqualificazione, etc.), soprattutto ai fini della determinazione dei requisiti di approvvigionamento energetico. Le variabili che vengono comunemente usate dai modelli top-down comprendono:

- dati macroeconomici (tassi di occupazione, prodotto interno lordo (PIL), indici dei prezzi);
- condizioni climatiche;
- dati sul possesso di apparecchiature elettriche presenti nelle unità immobiliari;
- il numero di unità immobiliari.

In funzione di tali variabili, i modelli top-down possono essere a loro volta suddivisi in modelli econometrici e tecnologici: i primi si basano principalmente sui prezzi (per esempio, i prezzi delle apparecchiature elettriche) e su dati relativi al reddito in quanto sono orientati a studiare il rapporto tra consumo energetico e situazione economica. Bentzen and Engsted (2001) hanno analizzato i consumi energetici della Danimarca su un arco temporale di 36 anni, riuscendo così a stimare il futuro prezzo dell'energia ed il livello di consumo.

I modelli top-down econometrici spesso pongono l'accento sulle tendenze macroeconomiche osservate negli anni precedenti a quello di riferimento, piuttosto che sui singoli fattori fisici dell'area di studio che possono influenzare la domanda di energia. Inoltre, in tali modelli l'analisi delle interazioni tra parametri economici e consumi energetici potrebbe fornire risultati non propriamente attendibili quando si lavora in un'area in cui le condizioni ambientali, sociali ed economiche sono mutate rispetto a da quelle relative agli anni precedenti a quello di riferimento.

I modelli tecnologici mettono invece in relazione il consumo di energia con variabili relative alle caratteristiche fisiche e tecnologiche degli edifici. Balaras *et al.* (2007) hanno utilizzato questa tipologia di modello per stimare l'incidenza delle tecniche e dei materiali per l'isolamento termico sul risparmio energetico.

Modelli bottom-up

I modelli bottom-up (Kanudia & Loulou, 1998; Gielen e Chen ,2001; Cormio *et al.*, 2003; Lin *et al.*, 2010; Phdungsilp, 2010; Zhang *et al.*, 2011; Feng & Zhang, 2012) permettono di determinare i consumi energetici dei differenti usi finali, relativi a singoli edifici o a gruppi di essi, per poi stimare il consumo energetico a scala urbana, regionale o nazionale, sulla base del peso del campione di riferimento. I modelli bottom-up lavorano a livello disaggregato, e quindi hanno bisogno di un'ampia mole di dati di

partenza per poter capire il peso di ogni componente considerata. Questo tipo di approccio utilizza prevalentemente metodologie statistiche per legare i consumi degli usi finali di energia agli altri dati di input e nonostante l'ampia varietà di tecniche statistiche, quelle maggiormente impiegate in letteratura sono l'analisi multivariata e le analisi di regressione lineare multipla.

L'analisi multivariata consente di determinare il grado di correlazione tra le variabili considerate, permettendo in tal modo di eliminare quelle troppo correlate e di individuare le variabili latenti, cioè, quelle non direttamente osservabili.

Le analisi di regressione lineare multipla consentono, invece, di studiare la dipendenza di una variabile quantitativa Y da un insieme di m variabili esplicative quantitative X_1, \dots, X_m , dette regressori, mediante un modello lineare.

$$Y = f(X_1, \dots, X_m) + \varepsilon = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon$$

Fung et al. (1999) hanno utilizzato la tecnica di regressione lineare multipla per comprendere l'incidenza dei prezzi energetici, della composizione demografica, delle condizioni climatiche sul consumo di energia di alcune regioni del Canada.

Modelli ibridi

I modelli ibridi (Hadley & Short, 2001; Mirasgedis et al., 2007; Turton, 2008; Bohringer & Rutherford, 2009; Liu et al., 2011) utilizzano i fabbisogni energetici di alcuni edifici tipo e li adattano per valutare il consumo di una città.

Attraverso una rappresentazione spaziale dettagliata del parco edilizio, caratterizzata anche dai dati socio-economici, è possibile associare a ogni edificio il suo consumo in modo da avere il fabbisogno energetico a scala di edificio, quartiere o città.

Dalle descrizioni appena fornite, emerge che i modelli top-down permettono di effettuare previsioni sull'offerta di approvvigionamento energetico, basandosi principalmente su indicatori macroeconomici di facile reperibilità.

Tuttavia, le loro previsioni possono risultare poco affidabili qualora si presentino delle "discontinuità", rappresentate dalle innovazioni tecnologiche oppure da anomalie relative all'offerta energetica. Non sono, quindi, in grado di capire in che misura i miglioramenti tecnologici influiscono sulle future politiche energetiche.

	<i>Modelli top-down</i>	<i>Modelli bottom-up</i>
Punti di forza	<p>capacità di effettuare previsioni a lungo termine relative alla domanda di energia</p> <p>capacità di comprendere le future tendenze nel mercato dell'energia</p> <p>facilità di reperimento dei dati di input</p>	<p>capacità di capire il comportamento energetico degli utenti</p> <p>capacità di relazionare numerosi dati di input</p> <p>utilizzo di dati socio-economici</p> <p>determinazione dei consumi in relazione agli usi finali di energia</p>
Punti di debolezza	<p>gli output non possono essere riferiti agli usi finali di energia</p> <p>analisi aggregate che, talvolta, possono risultare troppo approssimative</p>	<p>difficoltà nel reperimento dei dati di input</p> <p>ampia mole di dati di input da gestire</p>

Tabella 1: sintesi dei punti di forza e di debolezza dei modelli studiati.

A differenza dei modelli top-down, quelli bottom-up consentono, invece, di comprendere l'incidenza di ogni variabile sui consumi energetici, sebbene richiedano notevoli risorse per l'acquisizione dei dati di input, così come per la loro sistematizzazione e gestione. Tali modelli sono utilizzate per calcolare esplicitamente il consumo di energia di usi finali, effettuando un'analisi dettagliata di un insieme rappresentativo di edifici. Un vantaggio derivante dall'applicazione di queste tecniche è la capacità di determinare gli effetti positivi ottenibili dall'impiego di soluzioni per il risparmio energetico.

Permettono, inoltre, di capire il comportamento e le abitudini energetiche degli utenti finali, che costituisce un aspetto non trascurabile nell'ottica del risparmio energetico.

Quelli che risultano essere i più utilizzati sono il modello bottom-up statistico delle reti neurali e il modello bottom-up ingegneristico degli archetipi. Entrambi i modelli, come descritto anche nei paragrafi precedenti, presentano differenti aspetti positivi e negativi legati al loro impiego.

Il modello bottom-up statistico delle reti neurali, pur essendo adatto all'elaborazione di un elevato numero di dati input, anche tra loro molto differenti, ha la necessità di avere a disposizione numerosi serie storiche essenziali per la fase di addestramento del modello, questa fase è necessaria per garantire la successiva affidabilità dei risultati della previsione effettuata dal modello. Questo non è un aspetto da trascurare in quanto influenza anche la selezione del numero di indicatori da utilizzare, per i quali il reperimento delle serie storiche in alcuni casi è un'operazione molto complicata. Un'altra criticità derivante dall'applicazione dei modelli di tipo neurale è la scarsa comprensibilità e comunicabilità dei principi teorici di funzionamento del modello.

Per quanto riguarda l'applicabilità dei modelli bottom-up ingegneristici degli archetipi, il principale limite è legato alla necessità di avere a disposizione adeguati sotto modelli che siano in grado di calcolare i consumi energetici finali di tutte le componenti che concorrono alla determinazione del fabbisogno energetico dell'edificio.

Nonostante le principali differenze appena sottolineate tra queste due categorie di modelli, è comunque possibile affermare che si tratta di due approcci di modellazione che possono essere ritenuti complementari: «come i top down possono essere utilizzati per valutare, ad esempio, l'impatto della politica fiscale sul contenimento dei consumi, mediante un modello econometrico, così i modelli bottom up possono essere utilizzati per valutare l'impatto delle misure relative al sottosistema fisico, come le politiche che incoraggiano l'isolamento, o (in linea di principio) i cambiamenti di forma fisica» (Mitchell, 2005).

Sulla base delle caratteristiche appena descritte per entrambi i modelli, quelli bottom-up risultano rispondere meglio alle esigenze della ricerca. La loro capacità di relazionare molteplici variabili di input attraverso tecniche statistiche permette, infatti, di studiare sistemi complessi come quello urbano, caratterizzato da differenti componenti e, quindi, da grandi quantità di informazioni, legate da articolate relazioni di interdipendenza. Inoltre, le potenzialità di applicazione di tali modelli risiedono anche nel fatto di non essere vincolati all'utilizzo di particolari software per il calcolo dei consumi energetici e di poter essere associati all'uso di sistemi GIS con cui visualizzare i dati ottenuti.

In Europa, infine, i modelli bottom-up sono strumenti oramai diffusi per fornire ai decisori politici una stima dell'efficacia delle politiche energetiche da mettere in campo, in riferimento agli interventi alla scala edilizia, e contribuiscono alla definizione delle misure tecnologiche per aumentare l'efficienza degli usi finali di energia (Kavgic *et al.* 2010).

4.3 I principali modelli bottom up

Tra i molteplici modelli bottom-up presenti in letteratura, sono stati studiati quelli più recenti, al fine di risultare significativi per il lavoro di ricerca, che potessero essere applicati ad una scala un po' più ampia di quella edilizia, come quella di quartiere, oggetto di studio.

Energy and Environmental Prediction model - EEP

Il modello EEP - Energy and Environmental Prediction - è uno strumento di quantificazione del consumo di energia e delle emissioni prodotte dagli edifici realizzato dalla Scuola di Architettura di Cardiff (UK) in collaborazione con alcune autorità locali inglesi. Esso rappresenta uno strumento di controllo per quantificare il consumo energetico e le emissioni di anidride carbonica, al fine di facilitare la messa punto di piani orientati alla riduzione dei consumi e dei gas serra.

L'EEP, basandosi sulla metodologia ufficiale UK SAP - Standard Assessment Procedure - che consiste in un procedura di calcolo adottata per la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici e l'ottenimento della certificazione, fornisce delle stime degli usi energetici relative agli edifici, ai sistemi di trasporto ed all'industria. In pratica, il modello raggruppa gli edifici con caratteristiche simili in 100 cluster (5 classi di età per 20 tipologie edilizie) per consentire la successiva assegnazione degli edifici ad un gruppo predefinito (Jones *et al.*, 2001).

Questo modello EEP utilizza una piattaforma GIS che si interfaccia con i vari modelli relativi ai differenti sottosistemi di analisi e per valutare il consumi di energia degli edifici adotta un procedura di calcolo che fa riferimento ad un altro modello che è il BREDEM, che, non tiene conto della geometria urbana e dell'ombreggiamento determinato dagli edifici.

In primo punto debole dell'EEP consiste proprio nel non considerare la forma e la geometria urbana e, quindi, i molteplici effetti che elementi quali, ad esempio, l'altezza, la distanza tra edifici, possono determinare in modo congiunto sui consumi di energia. I dati di input di tale modello, inoltre, richiedono un oneroso lavoro di raccolta e documentazione dettagliata delle caratteristiche, fisiche, tecnologiche, etc. degli edifici oggetto di studio: «the first full application was to Neath Port Talbot, where addressing 60,000 domestic and 4,000 nondomestic properties was estimated to take 15 person months of data collection and input» (Mitchell, 2005).

Residential Building Energy Consumption Model

Il Residential Building Energy Consumption Model è un modello di previsione della domanda di energia degli edifici residenziali, sviluppato nell'ambito dell'attività di ricerca svolta presso la Facoltà di Costruzione Urbana e Ingegneria Ambientale dell'Università di Chongqing in Cina. Tale metodo si basa sul metodo delle reti neurali, che è costituito da semplici e numerosi processori paralleli integrati da una rete di connessioni, al fine di realizzare un modello computazionale. I principali vantaggi della loro applicazione sono dati dalla forte capacità di adattamento al sistema oggetto dello studio e, soprattutto nel caso di applicazioni a sistemi complessi non lineari, mostrano maggiori vantaggi rispetto ai modelli di regressione lineare.

Le reti neurali artificiali sono modelli di calcolo che si ispirano al funzionamento di sistemi nervosi biologici per risolvere problemi di classificazione, modellazione e predizione di elevata complessità, ovvero dipendenti da un elevato numero di variabili ed altamente non lineari, e pertanto non risolvibili attraverso metodi algoritmici. Il meccanismo di determinazione dei parametri interni del modello viene comunemente indicato come 'addestramento'. Tale procedura è a tutti gli effetti un problema di ottimizzazione in cui si richiede di minimizzare l'errore tra il dato reale e quello stimato, ovvero si adotta un meccanismo di 'apprendimento tramite esempi avendo a disposizione un set di dati del fenomeno che si vuole modellare.

Sia l'input che l'output della rete neurale sono rappresentati dallo stato di attivazione di alcune unità, e questo significa che gli stimoli sensoriali che una rete neurale artificiale riceve sono rappresentati da un vettore numerico così come, le risposte che essa fornisce sono rappresentate dall'insieme dei valori di attivazione delle unità di output.

Per poter, quindi, determinare la domanda di energia per gli edifici residenziali, i ricercatori dell'Università di Chongqing sono partiti dalla scelta di un'area studio e dalla successiva individuazione di tutti i fattori necessari all'implementazione del modello.

Il modello simula il consumo energetico dell'edificio residenziale, e tramite l'utilizzo dei dati statistici storici, è possibile addestrare il modello in modo da renderlo affidabile per il suo utilizzo nel calcolo dei consumi energetici futuri.

Definito il modello da utilizzare il gruppo di ricerca cinese ha individuato gli indicatori da utilizzare: in una prima fase sono stati selezionati diciannove indicatori e, successivamente, tramite un'analisi di correlazione tra il singolo indicatore e il consumo

energetico, sono stati considerati quelli maggiormente significativi riducendo il numero di indicatori a sedici (figura 27).

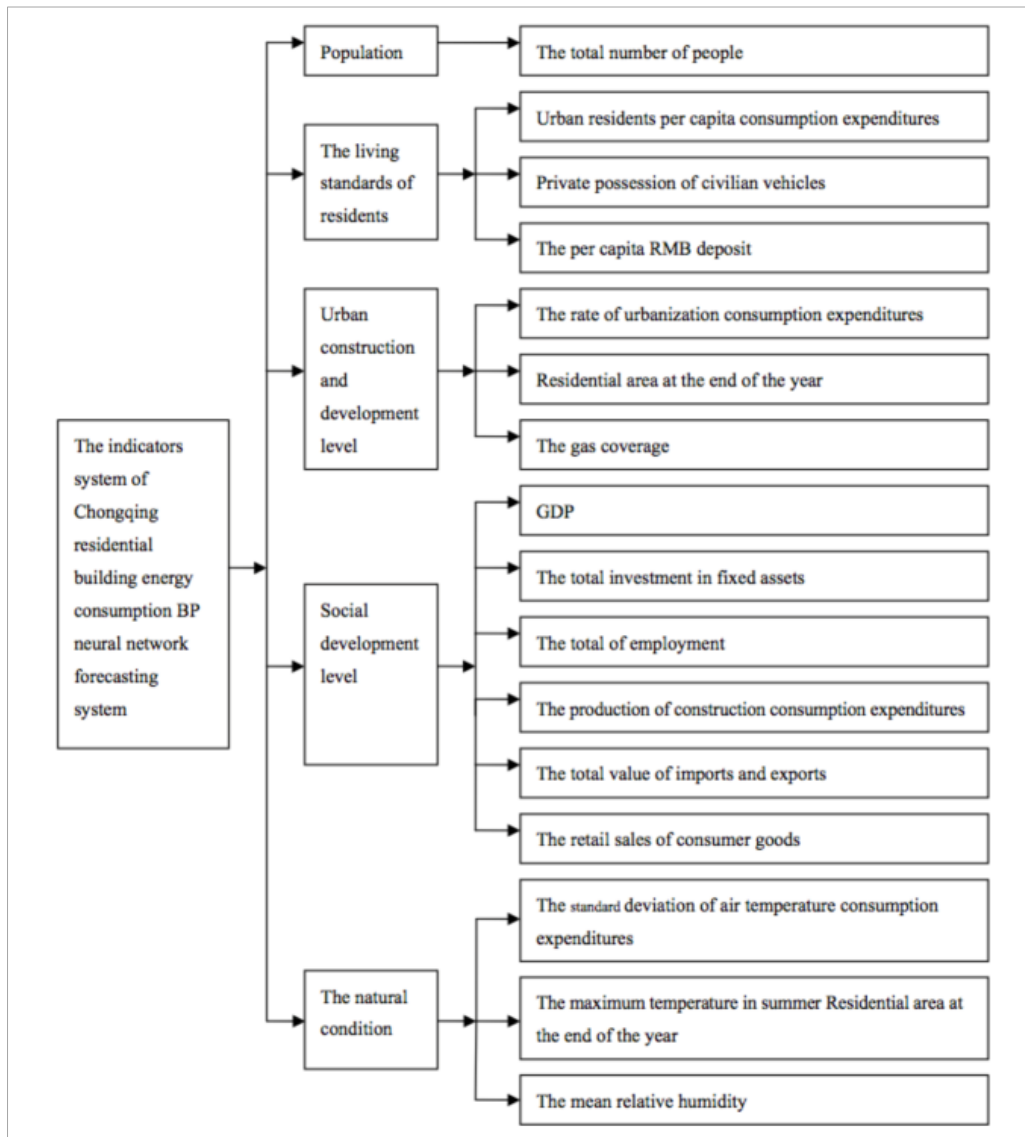


Figura 27: Sistema di indicatori utilizzati per l'impiego del neural network.

Uno dei principali limiti di questo studio deriva dalla scelta di dover prendere in considerazione un numero limitato di indicatori per determinare il consumo energetico degli edifici residenziali, in ragione delle elevate potenzialità di calcolo di un modello neurale.

Method to analyze large data sets of residential electricity consumption to inform data-driven energy efficiency

Questo modello, sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale di Stanford, cerca di superare alcuni dei principali limiti presenti in altri modelli, in particolare, per quanto riguarda tre aspetti: l'individuazione e la classificazione delle variabili più significative relative alle caratteristiche edilizie che influenzano il consumo di energia elettrica, la scelta dei dati più significativi forniti da dispositivi di misurazione intelligente (smart meters) e lo sviluppo di un metodo che consenta al modello di individuare le variabili più significative (Kavousian *et al.*, 2012)

Le quattro macro categorie di variabili individuate sono le seguenti:

- localizzazione edificio e condizioni meteo;
- caratteristiche fisiche dell'edificio;
- elettrodomestici e impianti elettrici;
- comportamenti degli occupanti degli edifici.

Tale articolazione è stata utilizzata anche per effettuare un sondaggio online di 114 domande finalizzato alla raccolta di una parte delle informazioni necessarie al modello.

Gli altri dati necessari sono stati, invece, raccolti tramite l'installazione di dispositivi di misurazione dei consumi energetici. Il campione di famiglie selezionate per questo studio è composto da 952 unità, localizzate in differenti Stati americani, al fine di acquisire dati relativi alle singole zone climatiche del Paese. Le famiglie selezionate per la raccolta dei dati appartengono, inoltre, ad una classe sociale medio-alta e hanno un grado d'istruzione elevato, questi due aspetti rappresentano anche un limite del modello.

Question Categories	No. of Survey Questions
External determinants	
Climate and Geography	6
Building Design and Construction	
Buildings	5
Home Improvements	12
Building Systems and Appliances	
Fuel Use	6
Appliances	14
Occupants	
Occupants age and employment profile	12
Energy efficiency habits	14
Payment items, method, estimate, feedback	6
How informed about appliances' use	5
Motivation level	17
Effort to learn energy efficiency actions	7
Thermostat setpoint	6
Income, age, race, and other personal information	4
Total	114

Figura 28: Suddivisione dei quesiti proposti nel sondaggio in ragione delle quattro macro categorie.

Per ottenere una significativa riduzione delle variabili individuate, i ricercatori loro hanno utilizzato la tecnica statistica dell'analisi fattoriale, che ha permesso di selezionare un numero più contenuto di variabili. In particolare, sono state individuate 22 variabili maggiormente rappresentative dei comportamenti delle famiglie riguardo i consumi energetici.

Community Domestic Energy Model - CDEM

CDEM è un modello basato su tecniche ingegneristiche relative alle caratteristiche fisiche dell'edificio, per la stima delle emissioni di CO₂, delle perdite di calore, della temperatura interna e dei flussi energetici delle abitazioni (Kavgic, 2010).

L'ipotesi principale su cui si basa tale modello, è quella di calcolare il consumo energetico tramite una classificazione gli edifici (archetipi) in base a due principali caratteristiche, quali la forma dell'edificio e l'età di costruzione. Tramite la combinazione di queste due caratteristiche sono state individuate 47 differenti classi di edifici, ad ognuna delle quali, tramite lo studio del patrimonio edilizio esistente a livello nazionale, sono stati assegnati dei parametri input primari e secondari. In particolare, i parametri input secondari sono stati utilizzati esclusivamente come supporto al calcolo dei parametri input primari. Questi ultimi, in totale 27, sono suddivisi in cinque categorie: localizzazione, geometria degli edifici, caratteristiche costruttive, servizi e popolazione.

Built form categories	<1850; 1851 – 1899; 1900 – 1918; 1919 – 1944; 1945 – 1964; 1965 – 1974; 1975 – 1980; 1981 – 1990; 1991 – 2001
Flat: purpose built	1900 – 1918; 1919 – 1944; 1945 – 1964; 1965 – 1974; 1975 – 1980; 1981 – 1990; 1991 – 2001
Flat: other, converted in commercial building	<1850; 1851 – 1899; 1900 – 1918; 1919 – 1944

Figura 19: Classificazione del patrimoni edilizio residenziale esistente.

Per ogni classe di edifici sono stati poi calcolati i consumi energetici e le emissioni CO₂ attraverso l'utilizzo del modello BREDEM (Building Research Establishment Domestic Energy Model) che consente di calcolare il consumo finale di energia per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua calda sanitaria, per l'illuminazione, per gli usi domestici e per il funzionamento degli elettrodomestici. Questo modello, sviluppato nel Regno Unito, si basa sugli standard SAP ed è tra i più utilizzati ed affidabili, in quanto si basa su una combinazione di relazioni fisiche ed empiriche utili al calcolo del consumo energetico di un'abitazione (Anderson *et al.* 2002).

Residential Building Typology – Italy

Questo studio realizzato dal gruppo di ricerca TEBE (Technology Energy Building Environment) del Dipartimento Energia del Politecnico di Torino, ha come obiettivo quello di determinare il fabbisogno energetico legato al riscaldamento e all'acqua calda sanitaria degli edifici residenziali, tramite l'analisi delle caratteristiche edilizie. Lo studio rientra all'interno del progetto TABULA (Typology Approach for BUiLding stock energy Assessment), finanziato dal programma europeo Intelligent Energy Europe, che mira a definire le principali tipologie edilizie europee, con particolare attenzione agli edifici residenziali. Le differenti sperimentazioni effettuate nei differenti Paesi aderenti al progetto, hanno come finalità l'individuazione di una struttura comune per le tipologie edilizie, sulla base di quelle nazionali già esistenti per gli edifici residenziali e gli impianti termici. I dati relativi alla tipologie edilizie elaborati nel corso del progetto sono stati pubblicati attraverso uno speciale Webtool che illustra le tipologie edilizie.

In pratica, ad ogni Paese partecipante è stata associata una scheda di sintesi contenente le principali informazioni degli edifici-tipo, articolati in funzione del periodo di costruzione e la classe di dimensione media edilizia. Per quanto riguarda l'Italia, sono stati individuati 32 edifici-tipo: per la classe dell'epoca di costruzione sono state individuate otto categorie (fino al 1900; dal 1901 al 1920; dal 1921 al 1945; dal 1946

al 1960; dal 1961 al 1975; al 1976 al 1990; dal 1991 al 2005; dopo il 2005), mentre per la classe di dimensione media edilizia ne sono state individuate quattro (case monofamiliari, case a schiera, edifici multifamiliari, blocchi di appartamenti).

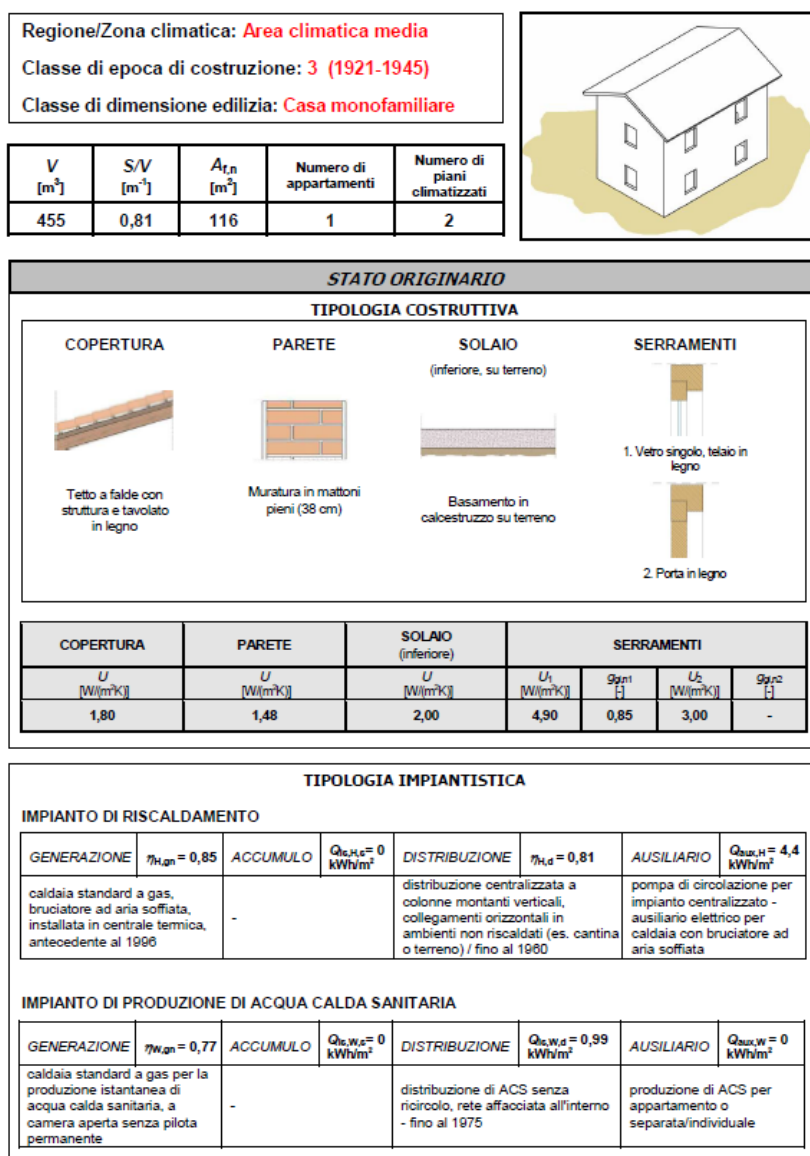


Figura 30: Scheda tecnica sintetica per edificio-tipo.

Per ogni edificio-tipo sono stati individuati i fabbisogni energetici per il fabbisogno annuo di energia primaria per il riscaldamento e per l'acqua calda sanitaria, tenendo conto delle differenti caratteristiche fisiche dell'edificio, in particolare la tipologia costruttiva e la tipologia impiantistica.

Una delle criticità emerse dall'analisi di questo studio è relativa alla carenza di informazioni relative il fabbisogno energetico per il raffreddamento degli edifici.

Modello	Tipo di modello Bottom-up	Paese	Anno	Risultati	Criticità
Residential Building Energy Consumption Model	Neural Network	Cina	2012	Individuazione dell'influenza che 16 parametri sui fabbisogni energetici.	Impiego di un numero ridotto di parametri nella prima fase di applicazione del modello.
Method to Analyze Large Data Sets of Residential Electricity Consumption to Inform Data-Driven Energy Efficiency	Analisi fattoriale	USA	2012	The building characteristics determine 42% of the variability in residential electricity consumption, whereas occupant behavior explains 4.2%.	I dati per il consumo sono riferiti ad un campione di persone appartenenti ad unica categoria sociale.
Residential electricity consumption in Portugal	Regressione	PR	2011	The results indicate that policy measures that only take into consideration the income of households in Portugal might not be as effective as expected.	The importance of the demographic structure of the population and the characteristics of the dwellings and their equipment should be taken into account.
Residential Building Typology	Archetipi	EU	2010	Individuazione di 32 differenti archetipi degli edifici.	E' trascurata la stima del fabbisogno energetico necessario al raffreddamento degli edifici.
Community Domestic Energy Model (CDEM)	Archetipi	UK	2009	Individuazione di 47 differenti archetipi degli edifici.	E' trascurato il comportamento degli occupanti e la loro influenza sui fabbisogni energetici.

Tabella 2: riepilogo dei modelli bottom up

[67]

4.4 Alcune applicazioni a scala di quartiere

Al fine di comprendere l'efficacia applicativa dei modelli bottom-up, si descrivono di seguito due casi studio che, tra le sperimentazioni presenti nella letteratura scientifica, rappresentano quelle più in linea con il presente lavoro di ricerca: affrontare la tematica dei consumi energetici ad una scala più ampia di quella del singolo edificio al fine di determinare quali sono le variabili, caratterizzanti il sistema urbano, che incidono maggiormente su tali consumi.

La selezione di tali casi applicativi ha richiesto un'attenta fase di lettura ed interpretazione della letteratura relativa ai modelli top-down e bottom-up, in quanto sebbene gli studi sulle caratteristiche di tali modelli siano piuttosto ampi, risultano ancora scarse le applicazioni dei modelli bottom-up ad interi quartieri o a porzioni di area urbana. Le sperimentazioni fin ora condotte riguardano, infatti, per lo più la scala del singolo edificio, in ragione di due considerazioni: da un lato, la quasi totalità delle politiche e normative energetico-ambientali si concentrano sul patrimonio edilizio esistente o di nuova costruzione e, dall'altro, operare solo sul singolo manufatto edilizio o su un gruppo di essi può risultare più semplice sia in termini di efficienza che di risparmio energetico, in quanto si interviene su un elemento "a se stante", senza tener conto delle complesse interazioni che esistono tra esso e l'ambiente circostante.

A New York un gruppo di ricercatori della Columbia University (Howard, 2012) ha calcolato i consumi relativi a quattro usi finali di energia (riscaldamento, acqua calda, raffrescamento, apparecchiature elettriche) per l'area di Manhattan (59 kmq) che costituisce una delle aree più densamente abitate della metropoli americana. In realtà, oltre al calcolo dei consumi energetici, sono state calcolate anche le relative intensità energetiche espresse in kWh/mq. L'intensità energetica finale rappresenta la quantità di energia necessaria per produrre un determinato servizio o attività (ad, esempio l'elettricità) e tale misura viene rapportata all'unità di superficie (mq), in quanto i ricercatori hanno assunto la superficie coperta dell'edificio come "predittore", ovvero, come uno dei parametri che insieme all'uso dell'edificio influenza il consumo finale di energia.

I dati di input, reperiti dalle Amministrazioni locali, sono i seguenti:

- uso dell'edificio;
- superficie coperta dell'edificio (mq);
- consumo annuale di energia elettrica relativo ai codici postali.

Sebbene in tale caso studio i consumi energetici non sono relazionati con altre variabili demografiche o socio-economiche, l'aspetto interessante è che sono correlati con l'uso dell'edificio e che, attraverso il GIS, è possibile vedere come tali consumi si distribuiscono all'interno dell'area di studio.

Gli autori hanno, poi, tentato di relazionare tali risultati con le caratteristiche degli edifici e soprattutto con riferimento alla localizzazione degli isolati. Un isolato nell'area centrale di Manhattan, dove gli edifici sono alti e compatti tra loro, presenta il consumo di energia annuo più elevato, pari a 8000 kWh/m². Tali tipologie di edifici caratterizzano i "central business and financial districts" che, in accordo con i risultati numerici riportati prima, hanno valori elevati di consumo di energia per apparecchiature elettriche. La quasi totalità degli isolati che presenta i più bassi consumi di energia si trovano nei quartieri di Harlem, East Greenwich Village e West Greenwich Village; in generale, gli autori affermano che all'aumentare della distanza da Manhattan i consumi energetici tendono a diminuire in quanto ci si posta verso aree a carattere residenziale: gli isolati nel Queens e a Staten Island, infatti, sono caratterizzati da consumi energetici inferiori a 120 kWh/m². Infine, il consumo energetico maggiore relativo all'illuminazione ed all'uso di apparecchiature elettriche è localizzato all'interno del Central Business District (CBD), a differenza dell'uso finale di acqua calda i cui consumi più elevati aumentano al crescere della distanza dal CBD, ovvero, sono maggiori nelle aree residenziali.

Nello studio condotto, invece, a Shiraz (Iran) (Soltani, 2012) il consumo energetico di due aree della città è stato correlato a:

- variabili demografiche (dimensione delle famiglie, reddito e possesso di un'autovettura);
- variabili edilizie (numero di piani, superficie coperta, materiali di costruzione, esposizione degli edifici);
- caratteristiche fisiche del tessuto urbano (densità territoriale, distanza dal CBD).

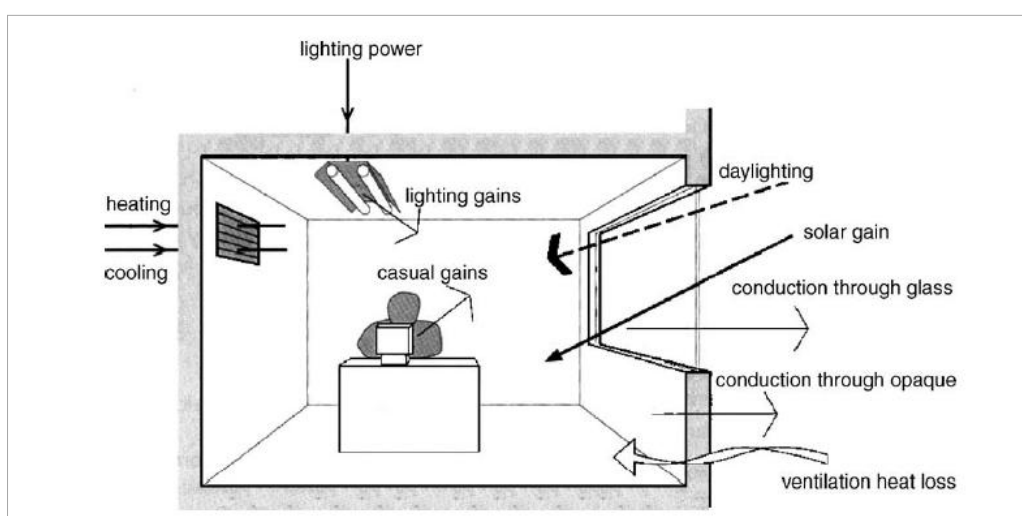
Tali dati sono stati reperiti tramite questionari, mentre i dati relativi ai consumi di energia elettrica sono stati forniti dall'ente gestore locale.

I risultati di questo caso studio mostrano che, tra le variabili che hanno maggiore incidenza sui consumi, sono presenti la superficie coperta dell'edificio, come nel caso di New York, ed il numero di piani.

Riguardo i risultati dei consumi energetici calcolati, questi non vengono descritti, ma viene fatto riferimento ai pesi che le variabili considerate assumono nell'analisi di

regressione lineare e che saranno descritti di seguito. «il numero di piani, la dimensione delle famiglie e la superficie coperta costituiscono i fattori principali».

Oltre a tali casi studio, si ritiene opportuno fare riferimento anche alle ricerche che i ricercatori del MIT, Bakers, Ratti e Steemers, stanno conducendo dal 2000 per lo studio delle relazioni tra forma urbana e consumi energetici. Questi studiosi hanno messo a punto un modello denominato Lighting and Thermal (LT) model che rappresenta il modello energetico a partire dal quale è stato messo a punto l'LT method. Questo è finalizzato alla stima dei consumi a m² per il riscaldamento, l'illuminazione, ed il raffrescamento su base annua, attraverso la simulazione di un modulo 3*3*6 m caratterizzato da una parete vetrata (figura 6).



**Figura 31: flussi energetici considerati nell'LT model,
all'interno di un'unità di dimensioni 3*3*6 m**

In primo luogo, il modello valuta la conduzione di calore e la perdita di calore di ventilazione attraverso l'involucro esterno. Attraverso l'impiego di fattori correttivi quali il numero di giorni occupati entro un determinato mese e profili di riscaldamento quotidiani, e considerando una temperatura interna media, sono calcolati i carichi di raffreddamento e di riscaldamento. Il modello, quindi, valuta i guadagni solari giornalieri, come somma dell'irraggiamento e dell'irradiazione diffusa attraverso il pavimento e le pareti.

Il modello LT consente, in pratica, di determinare, con ragionevole accuratezza, i principali flussi energetici relativi agli edifici. Tuttavia, esso richiede numerosi dati di input per eseguire i calcoli del consumo energetico. Sono necessari oltre 30 parametri,

tra cui i valori di trasmittanza, di riflettanza interna ed esterna, i dati relativi all'illuminazione, al riscaldamento, etc.

Sebbene tale modello operi alla scala degli edifici, Steemers (2003) lo ha combinato con le immagini raster della geometria e morfologia urbana, ottenute a partire dal telerilevamento satellitare, denominata Digital Elevation Model (DEM), per determinare i consumi energetici di "grandi aree urbane" (moduli di 400 x 400 m). In pratica, è riuscito a simulare e calcolare il comportamento energetico dei tessuti urbani rispetto ad alcune variabili:

- volume del costruito;
- superficie degli edifici;
- spazi aperti che si trovano entro un raggio di 6 metri da una facciata (aree passive);
- orientamento della facciata;
- urban horizon angle (UHA);
- obstruction sky view (OSV).

Questa tecnica è stata utilizzata per esplorare le relazioni tra forma urbana ed energia, utilizzando informazioni molto dettagliate relative agli edifici, in tre città europee, Londra, Tolosa e Berlino, con riferimento a tre differenti tipologie di tessuto, rispettivamente medievali, georgiani e moderni. Le sperimentazioni effettuate da Steemers e Ratti (2005) hanno dimostrato che la forma e la geometria urbana possono determinare una variazione del 10% del consumo di energia, aliquota che «potrebbe avere un enorme impatto sul bilancio energetico della città e che quindi merita un'attenta riflessione all'interno della pianificazione urbana».

4.5 Conclusioni

La valenza energetica delle aree urbane, così come l'importanza di guardare alle discipline di pianificazione urbana come un nuovo modo di pensare l'energia, costituiscono degli aspetti ancora trascurati all'interno del dibattito scientifico, considerato che l'approccio attuale per la risoluzione della questione energetica risulta essere ancora insufficiente, se paragonato con la complessità del tema.

La gran parte delle ricerche e sperimentazioni sono quasi esclusivamente rivolte alle prestazioni e all'efficienza energetica degli edifici, agli impianti di energia rinnovabili ed ai sistemi di trasporto, piuttosto che al sistema urbano nella sua interezza e complessità. Studi quantitativi e olistici che si occupano della questione energetica alla

scala urbana, considerando le interazioni tra le diverse componenti urbane non sono stati ancora sviluppati. In altri termini, la riduzione del consumo di energia a scala urbana è affrontata con un approccio settoriale, valutando il legame tra l'energia ed una sola componente urbana, il che rischia di portare ad una semplificazione sia delle informazioni di ingresso che, in particolare, dei risultati ottenuti. Ad esempio, nell'LT model, (Ratti *et al.* 2005), messo a punto per lo studio delle relazioni tra forma urbana e consumi energetici, gli autori considerano i parametri della forma urbana selezionati in maniera indipendente tra loro, ovvero senza tener conto delle relazioni tra essi. Di contro, nello studio effettuato a New York (Howard *et al.*, 2012) i consumi energetici di Manhattan sono relazionati con l'uso e la superficie coperta degli edifici, senza far riferimento alla geometria, alla morfologia o al microclima dell'area di studio, se non attraverso qualche valutazione qualitativa: «as one would expect a consumption normalized by block area would show particularly high values for parts of the city where the buildings are tightly packed and tall».

Quello che emerge dalle ricerche che sostengono di studiare i consumi energetici alla scala urbana, è che questi ultimi o sono correlati alla struttura fisica dell'area di studio (forma, densità, etc.), oppure sono legati alla scala edilizia, considerando edifici come "self-defined entities" (Ratti *et al.*, 2005).

La natura multidimensionale della questione energetica, combinata con la complessità che caratterizza i sistemi urbani ed i molteplici livelli di azione a cui intervenire, dovrebbe far riflettere sull'approccio da utilizzare, al fine di garantire la sostenibilità ambientale ed energetica dei sistemi urbani, sostenibilità che dipende anche dai «cambiamenti negli stili di vita dei cittadini, la riorganizzazione del sistema dei trasporti, la zonizzazione funzionale, l'uso razionale delle risorse naturali» (Moccia, 2013).

Su tale consapevolezza si sviluppa il presente lavoro di ricerca, finalizzato alla messa a punto di un modello interpretativo per il risparmio e l'efficienza energetica delle aree urbane, in particolare alla scala di quartiere.

CAPITOLO 5. LA METODOLOGIA PER LA MESSA A PUNTO DEL MODELLO INTERPRETATIVO

5.1 Introduzione⁷

Il lavoro di ricerca è inserito nel quadro più ampio del progetto SEM “Smart Energy Master per il governo energetico del territorio”, finalizzato alla messa a punto di un modello di governance del risparmio e dell’efficienza energetica del territorio. Per il raggiungimento di tale finalità è stato definito un modello conoscitivo-interpretativo sulla base delle caratteristiche fisiche degli spazi, costruiti e naturali, della mobilità, della localizzazione e della distribuzione delle attività che si svolgono nella città, dei comportamenti più diffusi degli abitanti e delle relazioni che si stabiliscono tra tutti questi elementi. All’interno del progetto SEM, in particolare per quanto riguarda la messa a punto del modello conoscitivo-interpretativo, il presente lavoro affronta gli aspetti urbanistici e ambientali.

Il lavoro di ricerca vuole costituire un contributo orientato alla risoluzione della sfida energetica nelle aree urbane, in particolare per quanto riguarda il risparmio energetico alla scala di quartiere, tentando di affrontare tale problematica da tre prospettive principali: approccio scientifico, impostazione metodologica e procedura operativa.

Il metodo adottato fa riferimento alla teoria generale dei sistemi che sembra avere grande attinenza con la tematica energetica. Se la città è il luogo della complessità, in quanto complesso è il sistema di relazioni e di attività che vi si svolgono, allo stesso modo l’energia risulta essere una tematica complicata, in ragione della sua trasversalità rispetto alle differenti componenti urbane.

La sua natura multidimensionale e composita, se da un lato fa sì che essa non possa essere affrontata facendo riferimento a specifici ambiti delimitati e settoriali, dall’altro, aggrava il già difficile ruolo dei tecnici, dei decisori e dei pianificatori che sono chiamati a fornire soluzioni atte a garantire l’efficienza energetica, così come il contenimento dei consumi. L’adozione di un paradigma interpretativo di tipo sistemico consente, quindi, di leggere e comprendere il legame città – energia attraverso le interrelazioni che esistono tra i molteplici e differenti elementi che lo compongono. In altri termini, per riuscire ad interpretare, prima, e a governare, poi, un fenomeno come quello energetico in ambito urbano, è necessario conoscerne la struttura complessiva, per individuare gli elementi e le leggi che ne regolano le relazioni.

La scelta di questo tipo di approccio rappresenta un primo aspetto innovativo del lavoro di ricerca, in quanto il dibattito scientifico solo in pochi casi sembra utilizzare un approccio di tipo sistemico, privilegiando ricerche relative al rendimento e la performance energetica di edifici, di impianti di produzione di energia e di sistemi di trasporto, piuttosto che il sistema urbano nella sua interezza.

⁷ Parte di questo capitolo è stata scritta in collaborazione con l’arch. Andrea Tulisi, junior researcher all’interno del progetto SEM.

L'approccio teorico appena definito, trova piena corrispondenza nella metodologia adottata, che si basa sulla messa a sistema di differenti caratteristiche urbane, in particolare quelle fisico - ambientali ed energetiche, al fine di definire quali relazioni possono essere ritenute determinanti dei consumi energetici.

In chiave operativa questo si traduce nella definizione di un modello che deve essere inteso non come un tradizionale modello matematico in grado di fornire previsioni sullo stato futuro di un fenomeno, quanto piuttosto come un procedimento logico e rigoroso attraverso cui mettere in relazione le variabili urbane con i consumi energetici.

L'assenza di un modello codificato a cui fare riferimento ha reso, infatti, necessario mettere a punto una metodologia di ricerca basata su un processo di specificazione delle differenti tipologie di caratteristiche oggetto di studio.

In tale prospettiva, l'obiettivo principale di questo lavoro di ricerca è, allora, duplice: mettere a punto un modello interpretativo basato sull'approccio sistemico che consenta di definire ed interpretare le interazioni tra caratteristiche fisiche ed ambientali e i livelli di consumo energetico a scala di quartiere e fornire utili spunti di riflessione su quanto sostenuto fino ad ora all'interno del dibattito scientifico.

5.2 Le fasi della messa a punto del modello interpretativo

Il modello interpretativo è articolato in una precisa successione di fasi operative orientate al raggiungimento della finalità sopra descritta. Come è possibile vedere dalla figura 1, il modello, in realtà, è costituito da cinque fasi che possono essere considerate come fasi conoscitive, in quanto volte ad acquisire informazioni per la definizione dell'area di studio in ragione delle caratteristiche fisico - ambientali ed energetiche prese in esame, ed una fase finale interpretativa per capire le relazioni tra le caratteristiche oggetto di studio.

Ciascuna fase è stata di seguito descritta, in modo dettagliato.

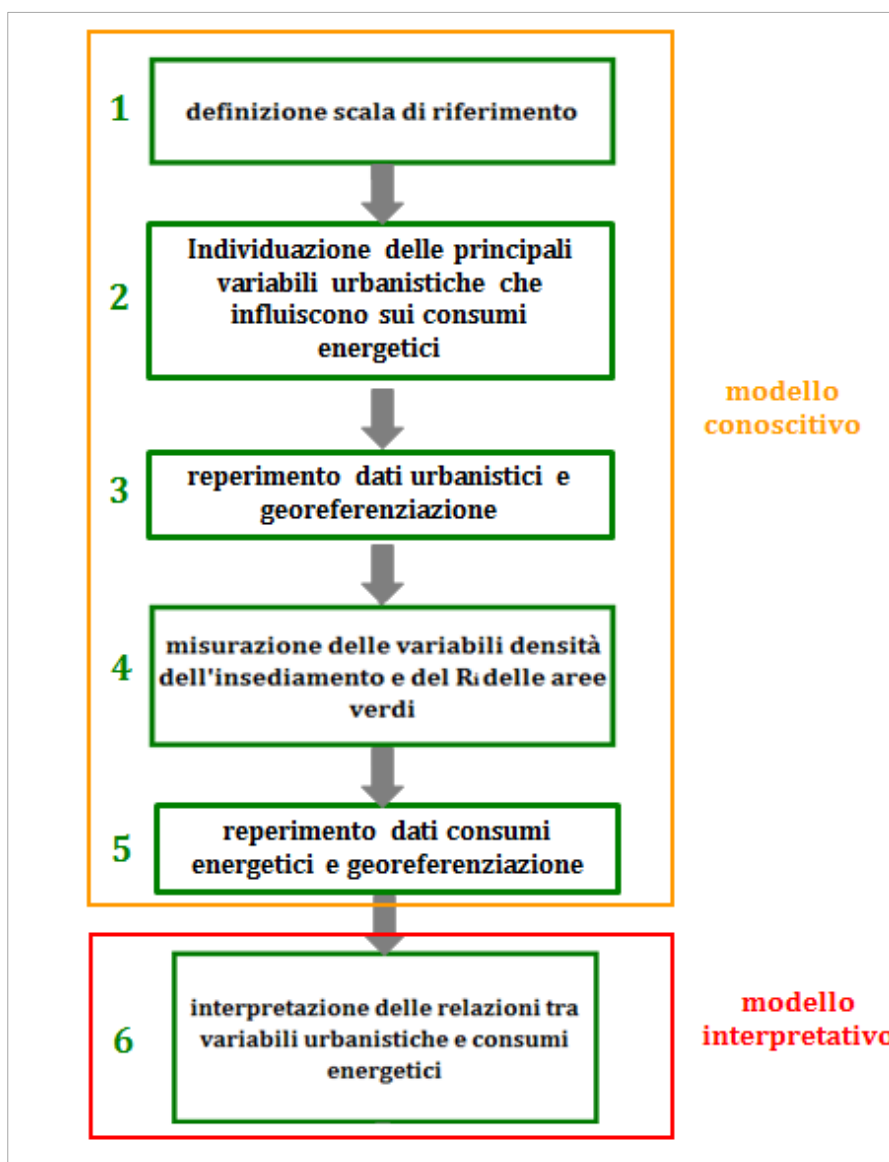


Figura 32: le fasi del modello interpretativo

Fase 1. *Definizione scala di riferimento.*

Secondo l'architetto francese Muller (2003) il quartiere è l'ambito territoriale minimo da preferire in un intervento di progettazione ecologica, in quanto rappresenta l'area di riferimento primario dei suoi abitanti ed è il luogo di origine e destinazione dei flussi e delle relazioni che si innescano tra la città e le sue parti. Il quartiere, anche facendo riferimento ai numerosi progetti di ecoquartieri, volti all'efficienza energetica e alla riduzione dell'impatto ambientale, rappresenta la scala intermedia di sperimentazione, tra quella troppo riduttiva del singolo edificio, e quella notevolmente complessa

dell'intero sistema urbano, in termini di relazioni tra le componenti. Il quartiere, quindi, si configura come il più adeguato livello spaziale al quale dimostrare la necessità di un approccio sistemico orientato alla sostenibilità energetica, al fine di superare la dimensione del singolo edificio.

La scelta, inoltre, di tale scala territoriale di sperimentazione, rappresenta il secondo elemento innovativo del lavoro di ricerca, in quanto, come sottolineato più volte all'interno dei diversi capitoli, nella quasi totalità degli studi e delle ricerche effettuate sino ad ora, prevale la scala di dettaglio come quella edilizia.

L'area di applicazione e sperimentazione del modello comprende i quartieri di Chiaia, Vomero e Arenella, situati nell'area centrale della città di Napoli, le cui differenti caratteristiche morfologiche e insediative, rappresentano un test significativo per la messa a punto di un modello facilmente replicabile su realtà urbane diverse.

L'estensione territoriale di questi tre quartieri (circa 10 kmq) corrisponde ad una città di piccole-medie dimensioni, il che sottolinea sia la complessità del lavoro svolto che la possibilità di applicazione del modello in altri contesti urbani.

Fase 2. Individuazione del set di variabili fisiche, edilizie ed ambientali che incidono sui consumi energetici.

Lo studio dei modelli e delle sperimentazioni effettuato nel quarto capitolo, ha permesso di individuare le variabili fisico - ambientali che hanno una significativa incidenza sui consumi energetici. E' stato, quindi, definito un set di variabili articolato in tre macrocategorie, fisiche, ambientali ed edilizie attraverso cui studiare le caratteristiche principali della morfologia e della forma urbana.

Le variabili fisiche descrivono la morfologia e la geometria del tessuto urbano, quelle ambientali sono relative alle caratteristiche climatiche e di contesto e quelle edilizie descrivono le caratteristiche fisiche di un edificio.

ID	Categoria	Variabile
1	caratteristiche fisiche	densità dell'insediamento
2		altezza edifici
3		media di compattezza
4		rapporto di copertura
5		aspect ratio
6	caratteristiche ambientali	Green Plot Ratio (GnPR)
7		Raggio d'influenza aree verdi
8		Index Green Ratio (IGnR)
9		clivometria
10	caratteristiche edilizie	epoca di costruzione
11		superficie coperta
12		edifici ad uso abitativo in muratura portante
13		edifici ad uso abitativo in calcestruzzo armato

Figura 33: set di variabili considerate, articolate in tre categorie

Fase 3. Reperimento dei dati per il calcolo delle variabili fisiche, edilizie ed ambientali ed associazione alle sezioni censuarie dei tre quartieri oggetto di studio.

I dati necessari per il calcolo delle variabili urbanistiche ed ambientali sono stati reperiti utilizzando fonti statistiche (i dati relativi al censimento ISTAT 2001) e cartografiche, attraverso delle elaborazioni in ambiente GIS della cartografia relativa ai tre quartieri) oggetto di studio (planimetrie e ortofoto). Tali dati sono stati, poi, georeferenziati, ovvero associati alle sezioni censuarie al fine di realizzare una serie di mappe tematiche relative alle variabili e ai dati significativi elaborati. Tutti i dati ottenuti sono stati, inoltre, sistematizzati in due matrici, una relativa alle sezioni censuarie che, rappresentano l'unità territoriale di riferimento, ed un'altra relativa agli edifici.

La scelta delle sezioni censuarie come unità territoriale di riferimento per la messa a punto del modello conoscitivo-interpretativo, è stata effettuata per due motivi principali: da un lato utilizzare dati a cui fosse possibile accedere liberamente, senza vincoli di pagamento o riservatezza e dall'altro permettere di comparare dati relativi a diversi ambiti rispetto alla stessa unità territoriale di riferimento. Inoltre, la sezione di censimento rappresenta un appropriato livello spaziale a cui riferirsi, in quanto intermedio tra il singolo edificio e il quartiere, che costituisce la scala territoriale di analisi del lavoro di ricerca. In pratica, le sezioni censuarie permettono di effettuare il calcolo dei dati a livello

disaggregato per poi essere successivamente aggregate in aree omogenee dal punto di vista dei consumi energetici, sulle quali intervenire in modo opportuno in funzione dei livelli di consumo e delle caratteristiche intrinseche di ciascuna di esse.

Fase 4. Definizione di un metodo per la misurazione della densità dell'insediamento e del Raggio d'influenza delle aree verdi.

Per quanto riguarda le due variabili densità dell'insediamento e raggio d'influenza delle aree verdi, che, in accordo con la letteratura scientifica di riferimento risultano avere una forte incidenza sui consumi energetici urbani, è stata messa a punto un'innovativa metodologia di ricerca, finalizzata a mettere in relazione tali variabili con i consumi energetici. Il dibattito scientifico non ha, infatti, ancora individuato dei valori di riferimento da poter utilizzare nelle sperimentazioni, né tantomeno è stata definita una relazione diretta tra densità e consumi energetici. L'obiettivo di tale fase è duplice: da un lato, mettere in relazione sia la densità dell'insediamento che raggio d'influenza delle aree verdi, con la temperatura, al fine di capire se e che incidenza tali variabili hanno sulle variazioni termiche nei tessuti urbani, dall'altro definire dei valori di riferimento che fossero poi significativi, una volta messi in relazione con i consumi energetici. Lo sviluppo di tale metodologia ha comportato un ulteriore approfondimento dello studio della letteratura scientifica, per poter individuare il software di simulazione ambientale e microclimatica più adatto alle esigenze del progetto e in grado di riprodurre il comportamento microclimatico e le caratteristiche fisiche e geometriche delle aree urbane. I risultati di tali simulazioni hanno permesso di ottenere dei valori di riferimento per entrambe le variabili, grazie ai quali capire anche l'incidenza dell'effetto di raffrescamento delle aree verdi nelle aree urbane.

Fase 5. Reperimento dei dati relativi ai consumi energetici ed associazione alle sezioni censuarie dei tre quartieri oggetto di studio.

I dati sui consumi energetici sono stati reperiti attraverso il sistema telematico SIATEL dell'Agenzia delle Entrate (L. Finanziaria del 2005). I dati sono relativi al 2011 e si riferiscono alle singole utenze, identificate con i dati catastali, sia per quanto riguarda i consumi di energia elettrica che di gas metano; i dati, inoltre, sono relativi al fatturato (€) e ai kWh e mc consumati annualmente. I dati sono

stati classificati in due macro categorie che, al loro interno, si articolano in differenti categorie:

- Persone Fisiche: comprendono le utenze domestiche residenziali (UDR);
- Persone Non Fisiche: comprendono tutte le utenze non residenziali, quali enti non commerciali (EnC), intestatari di partita IVA (P_iva), grandi utenze (GU) e le utenze domestiche non residenziali (UDNR).

La geolocalizzazione dei consumi, ovvero, l'associazione di tali dati alle sezioni censuarie, ha costituito un'ulteriore fase onerosa del lavoro di ricerca. L'operazione, infatti, di assegnazione delle numerose categorie di consumi alle sezioni, in ragione dei differenti indirizzi e numeri civici, è avvenuta manualmente, creando due geodatabase, rispettivamente per l'energia elettrica e per il gas. In pratica, sono stati realizzati due database relazionali in ambiente MS Access che contengono, al loro interno, le relazioni tra i consumi e le sezioni di censimento a cui appartengono.

Fase 6. Interpretazione delle relazioni tra le variabili fisiche, edilizie ed ambientali ed i consumi energetici.

Al fine di studiare il legame tra i consumi energetici e le variabili urbanistiche oggetto di studio, tentando di capire quali sono le possibili relazioni che determinano i consumi, i tre quartieri oggetto di studio sono stati articolati in differenti tipologie di aree, aventi caratteristiche fisiche, ambientali ed edilizie omogenee al loro interno. Ciascuna di queste categorie è stata rappresentata tramite una mappa tematica, il cui confronto con quelle relative ai consumi sia di energia elettrica che di gas, ha permesso di individuare le relazioni dalle quali possono dipendere i consumi energetici.

5.3 Le variabili di riferimento

Le 16 variabili fisiche, ambientali ed edilizie su cui si basa il modello interpretativo, rappresentano le caratteristiche più significative e maggiormente diffuse negli studi condotti fino ad oggi, la cui incidenza sui consumi energetici può essere valutata solo qualitativamente, in accordo col fatto che sia le interazioni che gli effetti della forma e della geometria urbana sui consumi energetici continuano ad essere poco studiati e controversi (Alberti, 1999).

Per alcune di queste variabili prese in considerazione, in particolare sia quelle per le quali è stato opportuno definire una specifica metodologia di calcolo, che quelle la cui incidenza sui consumi energetici può risultare di difficile definizione, è stata messa a punto una tabella descrittiva articolata nei seguenti punti:

- denominazione: nome della variabile;
- categoria: variabile fisica, ambientale, edilizia
- definizione: cosa misura e cosa definisce;
- significato: il significato della variabile da un punto di vista energetico;
- reperibilità: modalità di reperimento (ISTAT, analisi GIS, etc.);
- unità di misura;
- unità territoriale di riferimento: unità spaziale rispetto alla quale viene effettuato il calcolo della variabile.

denominazione	Aspect ratio
categoria	variabile fisica
definizione	è il rapporto tra altezza media degli edifici e distanza tra le due facciate sul fronte strada.
significato	L'altezza degli edifici influenza l'irraggiamento solare, così come l'ombreggiamento degli edifici stessi, influenzandone il fabbisogno ed i consumi energetici.
reperibilità	analisi GIS
unità di misura	m
unità territoriale di riferimento	sezione censuaria

denominazione	Densità dell'insediamento
categoria	variabile fisica
definizione	è definita come il rapporto tra il volume costruito presente all'interno di una sezione censuaria e la superficie totale della stessa
significato	la forte presenza di aree edificate a scapito della copertura vegetale comporta l'immagazzinamento di una maggiore quantità di energia solare che viene poi riemessa sotto forma di infrarosso all'ambiente, portando ad un'alterazione del microclima locale con un innalzamento della temperatura dell'aria e quindi maggiori consumi energetici legati al fabbisogno degli edifici
reperibilità	analisi GIS
unità di misura	mc/mq
unità territoriale di riferimento	sezione censuaria

denominazione	Clivometria
categoria	variabile fisica
definizione	la clivometria rappresenta l'andamento morfologico del territorio ed è definita come il rapporto tra il dislivello individuato dalle isoipse e la distanza planimetrica
significato	questo parametro influenza la durata dell'irraggiamento: tanto minore risulta essere l'acclività e tanto maggiore sarà la quantità di raggi solari intercettati dalla superficie; una superficie orizzontale infatti è in grado di catturare la radiazione solare per un periodo di tempo maggiore rispetto ad una superficie verticale o inclinata
reperibilità	analisi GIS:
unità di misura	m s.l.m.
unità territoriale di riferimento	-

denominazione	Green Plot Ratio (GnPR)
categoria	variabile ambientale
definizione	è definita come il rapporto tra la superficie verde totale presente nella sezione di censimento e la superficie di quest'ultima. In particolare, per il calcolo di questa variabile sono state esclusi gli elementi puntuali e/o isolati destinati a verde come ad esempio una singola aiuola o una rotatoria ricoperta da vegetazione in quanto l'aspetto d'interesse è lo studio degli effetti del raffrescamento delle aree verdi sull'insediamento e non della corretta piantumazione rispetto ad un unico edificio.
significato	La presenza della vegetazione influisce positivamente sulla riduzione dei consumi energetici: gli alberi creano ombreggiature, favorendo la ventilazione in estate e proteggendo dai venti in inverno: possono quindi svolgere un ruolo importante anche ai fini di un miglioramento del microclima urbano; la vegetazione, assorbe la radiazione solare, compensa in parte l'emissione di calore dai muri caldi e contribuisce a mantenere più fresco l'ambiente
reperibilità	analisi GIS
unità di misura	-
unità territoriale di riferimento	sezione censuaria

denominazione	Influence Green Ratio (IGnR)
categoria	variabile ambientale
definizione	è definito come il rapporto tra la superficie verde totale presente nella sezione di censimento comprensiva del raggio di influenza (la massima distanza oltre la quale non si risente più dell'effetto di raffrescamento delle aree verdi) e la superficie della sezione stessa
significato	questa variabile consente di tener conto dell'effetto di raffrescamento delle aree verdi in funzione della loro dimensione e dei valori di densità presenti nell'area oggetto di studio
reperibilità	analisi GIS
unità di misura	-
unità territoriale di riferimento	sezione censuaria

denominazione	Rapporto di compattezza
categoria	variabile edilizia
definizione	è definito come il rapporto tra la superficie disperdente e il volume riscaldato.
significato	La forma dell'edificio influisce in maniera significativa sulle perdite termiche e quindi sui consumi energetici. Lo scambio termico tra interno ed esterno di un edificio, avviene attraverso la superficie dell'involucro: tanto più elevata è la superficie che racchiude il volume, tanto più elevato è lo scambio. In altri termini, più un edificio è compatto, e, quindi, più tale rapporto è basso, minore è l'energia necessaria per il suo riscaldamento, in quanto minori sono le perdite di calore.
reperibilità	analisi GIS
unità di misura	-
unità territoriale di riferimento	Singolo edificio e sezione censuaria

5.4 La misurazione della densità dell'insediamento

In accordo con gli studi relativi alla relazione tra forma urbana e consumi energetici (capitolo terzo), la densità del costruito ha una forte incidenza sui consumi energetici urbani; tuttavia, poiché il dibattito scientifico sul tema non ha ancora individuato dei

valori di riferimento da poter utilizzare nelle sperimentazioni, né tantomeno è stata definita una relazione diretta tra densità e consumi energetici, è stato ritenuto utile mettere in relazione la densità dell'insediamento con la temperatura, quella superficiale degli edifici, al fine di capire se e che incidenza la densità ha sulle variazioni termiche nei tessuti urbani. Tale considerazione è legata anche al fatto che alcuni studiosi come Oke hanno dimostrato che la morfologia urbana ed in particolare la densità incidono sul fenomeno dell'isola di calore urbana (UHI), fenomeno legato indirettamente al tema dei consumi energetici, che determina un microclima più caldo all'interno delle aree urbane, rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali, e che quindi comporta un aumento dei consumi energetici soprattutto nei mesi estivi.

In tale ottica si è reso necessario utilizzare un software di simulazione ambientale e microclimatica a modello tridimensionale, in grado di riprodurre il comportamento microclimatico e le caratteristiche fisiche e geometriche delle aree urbane. Per tali motivi, ed anche tenendo conto che il software dovesse essere fruibile senza particolari vincoli o condizioni, è stato scelto ENVI-met, sviluppato dal professore Michael Bruse dell'università tedesca Johannes Gutenberg Mainz. Il programma è stato realizzato proprio con la finalità di indagine del comportamento micro-climatico urbano ed è in grado di simulare:

- flussi di radiazioni su tutto lo spettro, dall'infrarosso all'ultravioletto, rispettando l'ombreggiamento, la riflessione e l'emissione delle radiazioni dal sistema di edifici e la vegetazione;
- traspirazione, evaporazione e flussi di calore sensibile dalla vegetazione nell'aria;
- simulazione completa dei fattori fisici delle piante, come ad esempio la reazione di fotosintesi ed i suoi effetti;
- temperatura delle superfici dell'area di simulazione (edifici e suolo);
- scambi di calore e di acqua all'interno del suolo;
- calcolo di parametri quali la temperatura media radiante e il PMV (Predicted Mean Vote) dei fruitori dell'area in analisi;
- dispersione di gas inerti, particolato e sedimentazione su superfici e foglie;
- flussi d'aria e turbolenze, dati relativi al vento.

Per effettuare le simulazioni è stato necessario stabilire due elementi principali: le condizioni climatiche di input ed i valori di densità da simulare. In relazione a quest'ultimo aspetto, infatti, occorre precisare che il software è in grado di simulare microaree urbane con una risoluzione variabile fra gli 0,5 e i 10 metri e per un periodo di tempo compreso fra le 24 e le 48 ore, con un time-step di calcolo massimo di 10 secondi.

Questa combinazione di risoluzioni permette l'analisi a piccola scala delle interazioni fra edifici, superfici e vegetazione all'interno dell'area oggetto di studio. Sebbene questo costituisce un limite del programma, in quanto nella presente ricerca impedisce di simulare sia uno che tutti i tre quartieri, ENVI-met risulta essere comunque il software più adatto e più attendibile rispetto ad altri software disponibili (Roset & Vidmar, 2013). I dati di input richiesti dal software sono molteplici in ragione dei numerosi outputs che è in grado di calcolare, ma ai fini della ricerca in esame le informazioni fornite al programma sono state le seguenti:

- Data solare relativa alla simulazione: sono stati scelti il giorno più caldo (26/07) e quello più freddo (26/01) rilevati a Napoli negli ultimi anni, in modo tale da simulare le peggiori condizioni climatiche estive ed invernali;
- Durata relativa alla simulazione (ore oggetto della simulazione): 24 ore;
- Ora di inizio della simulazione (nel giorno indicato al primo punto): 24:00;
- Dati relativi al vento (direzione e velocità): 0,1 m/sec al fine di simulare la quasi completa assenza di vento, proveniente da sud;
- Temperatura dell'aria: 26,8 °C per l'estate e 10,3 °C per l'inverno;
- Umidità relativa: 70% per l'estate e 75,5% per l'inverno.

Tali dati di input sono stati reperiti dal Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatici di Interesse Ambientale (SCIA) dell'ISPRA, per quanto riguarda i valori delle temperature che, rappresentano il valore medio delle t di luglio e agosto relative all'intera città di Napoli (stazione di Capodichino) nel decennio 2004 - 2014 e dall'ENEA per quanto riguarda i valori di umidità e della velocità del vento, relativi sempre all'intero territorio comunale e rilevati nella stessa stazione meteorologica.

In pratica, il parametro climatico – ambientale in ragione del quale sono state ottenute le differenti classi di densità e differenti valori di temperature superficiali esterne degli edifici, è la radiazione solare.

Per quanto riguarda i valori di densità dell'insediamento da simulare, non potendo utilizzare alcun valore di riferimento, né tantomeno individuare delle aree campione all'interno dei tre quartieri, in quanto questi sono caratterizzati da forti differenze morfologiche che ENVI-met non è in grado di simulare, in particolare la clivometria, si è ritenuto opportuno effettuare una modellizzazione dell'area di studio, anche al fine di fornire una metodologia che possa risultare applicabile in qualsiasi contesto. In pratica è stata effettuata un'astrazione della realtà attraverso dei moduli quadrati.

L'unità geometrica di riferimento è un quadrato di lato 30*30 m ripetuto in una sequenza di 9 moduli (quelli in rosso), che si susseguono in modo perfettamente simmetrico (figura 34). Questa configurazione di 9 moduli rappresenta quindi una

sezione censuaria astratta, caratterizzata da uno specifico valore di densità, relativo a quel rapporto di copertura e a quel valore di altezza degli edifici. Questi ultimi due valori sono quelli che permettono di costruire dei cubetti all'interno di ogni modulo e che rappresentano in pratica gli edifici di uguali dimensioni (figura 35). La rappresentazione dei differenti valori di rapporti di copertura viene ottenuta espandendo la dimensione del quadrato elementare (10*10 m) su cui sono costruiti i moduli, di 2 m complessivi (quadrati in arancio, in figura 34). L'incremento di 2 m è legato alle capacità ed ai tempi di calcolo del software: tanto più l'elemento base è piccolo, tanto più preciso sarà il risultato della simulazione, ma saranno anche maggiori i tempi di simulazione. Il vantaggio di una configurazione di questo tipo è che permette di gestire facilmente sia la rappresentazione dei valori di densità, considerato che si tratta di rapporti tra superfici (quella edificata, data dai cubetti, e quella totale dell'intero modulo) che la simulazione in ENVI-met che opera su una griglia quadrata (figura 36).

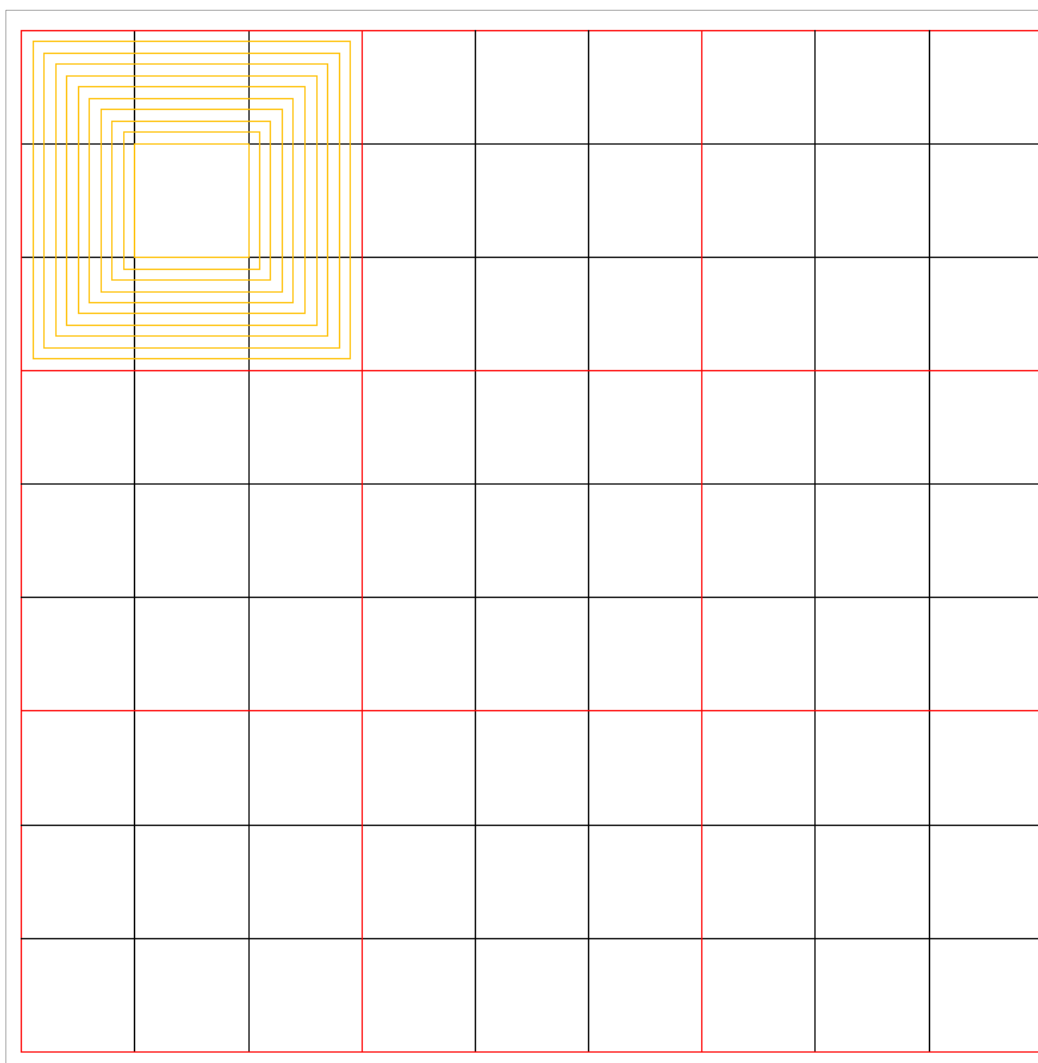


Figura 34: schema geometrico costruito per la modellizzazione

Si ottengono in totale 100 diverse tipologie di moduli e quindi 100 valori di densità rappresentativi di numerose varietà di costruito reale (figura 35). Tra tutte questi valori di densità sono stati individuati quelli presenti in modo rilevante (almeno 5 sezioni censuarie) all'interno dell'area di studio (celle in verde nella figura 37), effettuando delle interrogazioni in GIS. Tra questi, poi, sono stati simulati un valore basso di densità (1,96 mc/mq), un valore alto (15,77 mc/mq), un valore intermedio (8,07 mc/mq), due valori prossimi tra loro (9,01 e 9,72 mc/mq) e due valori che consentissero di capire se a parità di rapporto di copertura, in un caso, e a parità di altezza, in un altro, quale tra queste due variabili fosse quella più incidente (4,57 e 6,76 mc/mq) (figura 35).

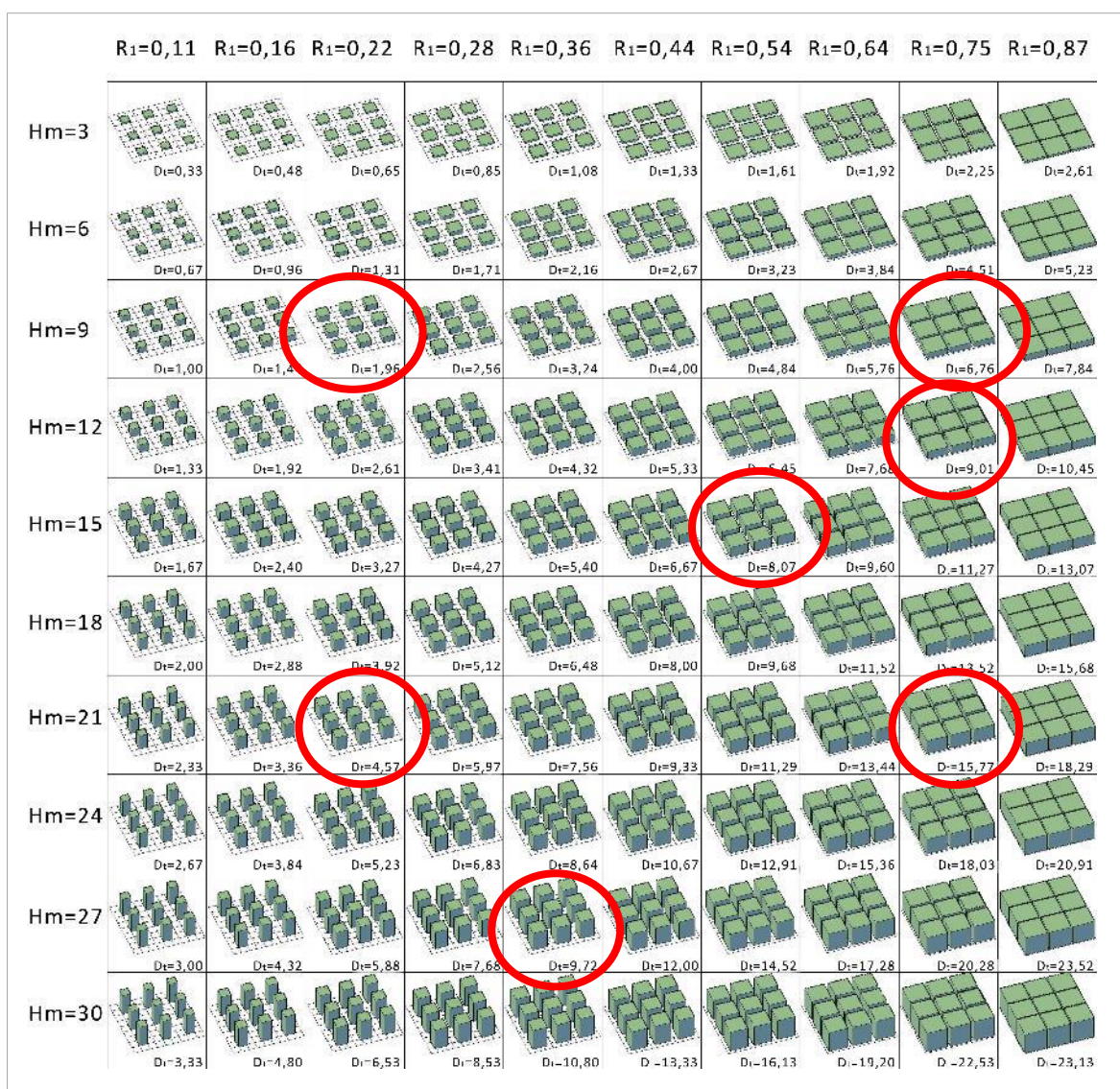


Figura 35: schema dei moduli utilizzati per le simulazioni in cui le colonne sono relative ai rapporti di copertura e le righe alle altezze.

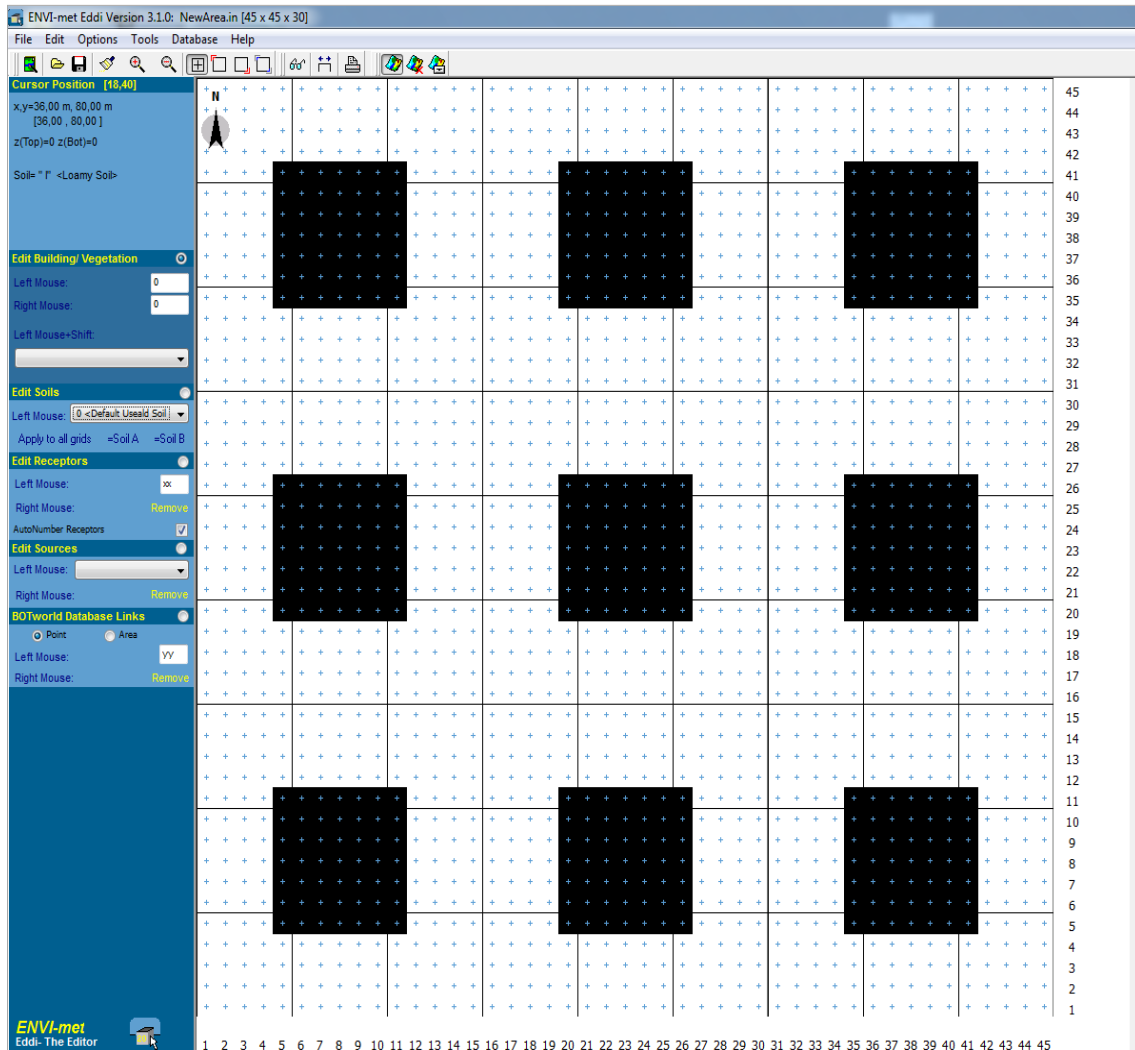


Figura 36: interfaccia grafica di ENVI-met

Rapporti di		0,11	0,16	0,22	0,28	0,36	0,44	0,54	0,64	0,75	0,87
copertura		100,00	144,00	196,00	256,00	324,00	400,00	484,00	576,00	676,00	784
Altezze edifici	3	0,33	0,48	0,65	0,85	1,08	1,33	1,61	1,92	2,25	2,61
	6	0,67	0,96	1,31	1,71	2,16	2,67	3,23	3,84	4,51	5,23
	9	1,00	1,44	1,96	2,56	3,24	4,00	4,84	5,76	6,76	7,84
	12	1,33	1,92	2,61	3,41	4,32	5,33	6,45	7,68	9,01	10,45
	15	1,67	2,40	3,27	4,27	5,40	6,67	8,07	9,60	11,27	13,07
	18	2,00	2,88	3,92	5,12	6,48	8,00	9,68	11,52	13,52	15,68
	21	2,33	3,36	4,57	5,97	7,56	9,33	11,29	13,44	15,77	18,29
	24	2,67	3,84	5,23	6,83	8,64	10,67	12,91	15,36	18,03	20,91
	27	3,00	4,32	5,88	7,68	9,72	12,00	14,52	17,28	20,28	23,52
	30	3,33	4,80	6,53	8,53	10,80	13,33	16,13	19,20	22,53	26,13

Figura 37: matrice in cui ogni cella è il valore di densità del costruito relativo a quel valore di indice di copertura (uguale su una stessa colonna), a quel valore di altezza (uguale su una stessa riga) e a quel valore di superficie del modulo rappresentante l'edificato. I valori di densità riportati in verde sono quelli presenti in modo rilevante all'interno dell'area di studio (almeno 5 sezioni censuarie) e tra questi sono stati simulati quelli cerchiati in rosso.

Tra i numerosi output di ENVI-met quello preso in considerazione è la temperatura esterna superficiale delle pareti che viene fornita per ogni ora e in ogni punto di esse. Poiché questa ricerca è orientata a capire l'incidenza della densità dell'insediamento sulle variazioni di temperatura in ambito urbano, senza quindi operare ad un livello di dettaglio come quello del singolo edificio, per ogni caso simulato si è calcolato il valore medio della temperatura esterna superficiale delle pareti, mediato su tutte le superfici dell'edificio e sulle ore più centrali della giornata (10-16), in relazione al soleggiamento estivo ed invernale.

Risultati simulazione soleggiamento estivo				Risultati simulazione soleggiamento inverno			
Densità insediamento	h media	Indice copertura	Temperatura media superfici esterne	Densità insediamento	h media	Indice copertura	Temperatura media superfici esterne
1,96	9	0,22	33,4	1,96	9	0,22	18,6
4,57	21	0,22	31,7	4,57	21	0,22	17,2
6,76	9	0,64	30,4	6,76	9	0,64	15,7
8,07	15	0,54	30,84	8,07	15	0,54	15,1
9,01	12	0,75	29,7	9,01	12	0,75	15,5
9,72	27	0,36	30,3	9,72	27	0,36	15,4
15,77	21	0,75	28,4	15,77	21	0,75	15,3

Tabelle 3 e 4: risultati della simulazione relativi, rispettivamente al soleggiamento estivo ed invernale.

Al fine di determinare ulteriori elementi utili alla conoscenza delle relazioni tra le variabili che entrano in gioco in queste simulazioni e all'interpretazione dei risultati ottenuti, è stato calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson⁸ tra ciascuna delle tre variabili fisiche e le temperature di outputs. Oltre la densità anche il rapporto di copertura risulta essere fortemente correlato alla temperatura media superficiale, al contrario dell'altezza degli edifici che risulta essere un parametro ininfluenza (tabella 2).

⁸ La correlazione indica la tendenza che hanno due variabili (X e Y) a variare insieme. E' stato utilizzato il coefficiente di Pearson che serve a misurare la correlazione tra variabili a intervalli o a rapporti equivalenti. È dato dalla somma dei prodotti dei punteggi standardizzati delle due variabili ($\sum z_x z_y$) diviso il numero delle osservazioni.

Correlazione (estate)			Correlazione (inverno)		
Densità insediamento - T media superfici esterne	Indice copertura - T media superfici esterne	h media edifici - T media superfici esterne	Densità insediamento - T media superfici esterne	Indice copertura - T media superfici esterne	h media edifici - T media superfici esterne
-0,95	-0,84	-0,37	-0,78	-0,76	-0,31

Tabelle 5 e 6: correlazione tra le variabili considerate e la temperatura media esterna

La distribuzione dei valori ottenuti è stata interpolata in modo lineare, ed è stata anche assicurata l'affidabilità del modello calcolando il coefficiente R² che esprime la proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello utilizzato, e che risulta pari a 0,89 per il caso estivo e 0,61 per quello invernale (figure 38 e 39). Entrambe le modellizzazioni proposte risultano quindi valide ed affidabili.

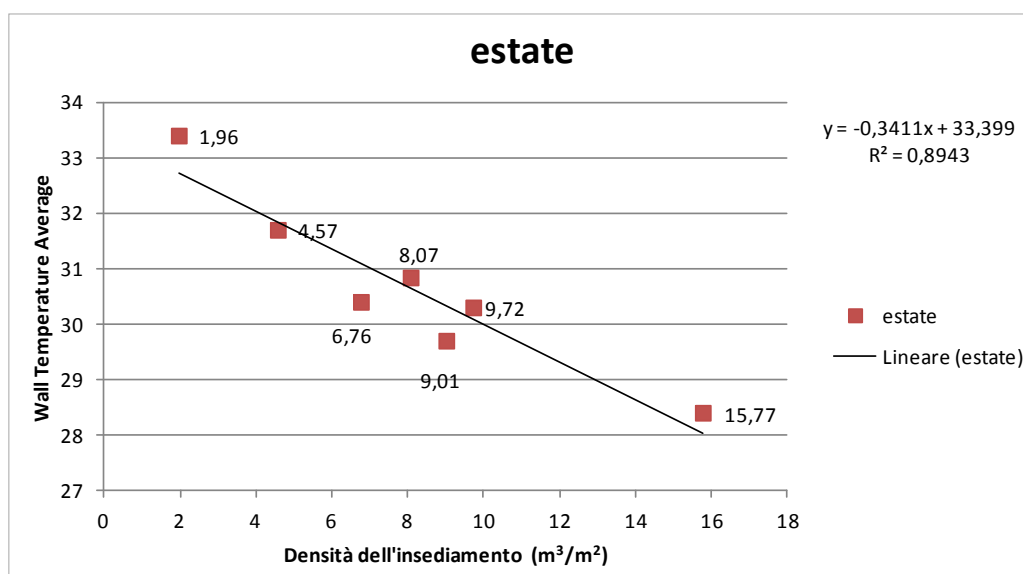


Figura 38: rappresentazione grafica delle temperature esterne superficiali delle pareti in funzione della densità e del soleggiamento estivo.

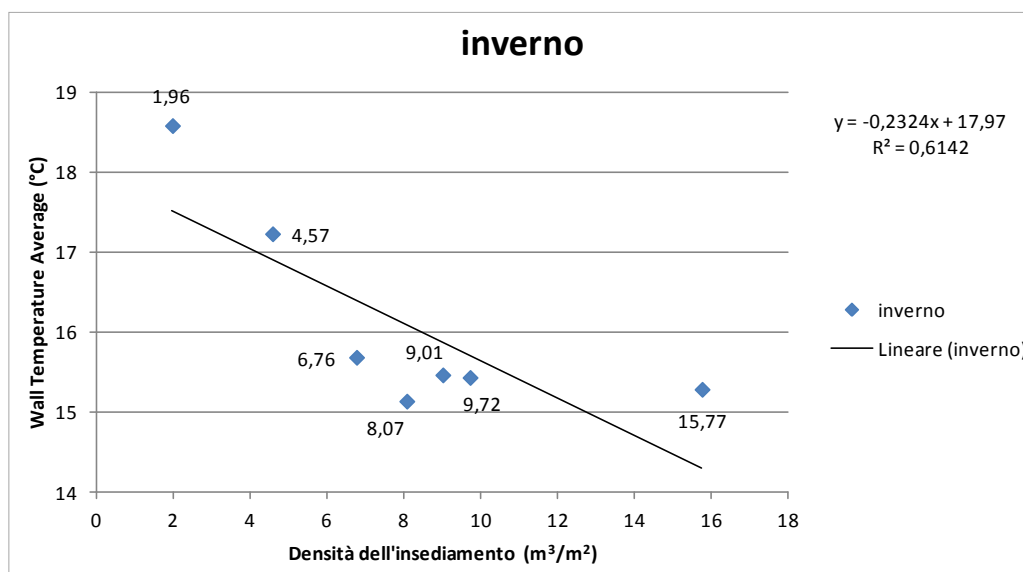


Figura 39: rappresentazione grafica delle temperature esterne superficiali delle pareti in funzione della densità e del soleggiamento invernale.

I risultati ottenuti mostrano che tra la densità dell'insediamento e la variazione della temperatura esterna superficiale degli edifici c'è una correlazione inversa: all'aumentare della densità diminuiscono i valori di temperatura.

Tale risultato, in riferimento al soleggiamento estivo, può far ipotizzare che, in accordo con numerosi studi sul tema, i consumi energetici nelle aree urbane caratterizzate da elevata densità insediativa sono più contenuti, in quanto le temperature sono minori per l'effetto reciproco di ombreggiamento determinato dagli edifici.

In inverno, invece, la presenza di numerosi edifici, ovvero, di differenti ostacoli ai percorsi dei raggi solari può rappresentare un elemento di svantaggio per il microclima urbano, determinando temperature inferiori rispetto ad aree caratterizzate da minori valori di densità dell'insediamento, e quindi presumibili consumi maggiori di energia, in particolare legati al riscaldamento.

La variazione complessiva della temperatura esterna superficiale tra il valore più basso e quello più alto di densità simulate è pari a 5°C per l'estate e 3°C per l'inverno.

Sulla base dei risultati delle simulazioni è stato possibile definire delle classi di densità attraverso cui rappresentare l'intera area di studio. Per la determinazione di tali intervalli, si è considerata la variazione di temperatura unitaria, in modo tale che per ogni grado di variazione si potesse calcolare il relativo valore di densità dell'insediamento:

Temperatura estiva [°C]	Densità dell'insediamento [mc/mq]
28	15,828
29	12,897
30	9,965
31	7,033
32	4,101
33	1,170
34	-1,762

Temperatura invernale [°C]	Densità dell'insediamento [mc/mq]
15	12,780
16	8,477
17	4,174
18	-0,129
19	-4,432

Tabelle 7 e 8: valori di densità dell'insediamento per ogni grado centigrado, in estate ed in inverno.

Le classi di densità dell'insediamento ottenute sono le seguenti:

classi densità estate		classi densità inverno	
classe 1	0,0025 – 4,101	classe 1	0,0025 – 4,174
classe 2	4,102 – 7,033	classe 2	4,175 – 8,477
classe 3	7,034 – 9,898	classe 3	8,478 – 19,486
classe 4	9,899 – 12,451		
classe 5	12,452 – 19,486		

Tabelle 9 e 10: valori di densità dell'insediamento per ogni grado centigrado in estate ed in inverno.

In pratica, rispetto ai valori ottenuti (tabella 4) i tre più bassi, in entrambi i casi, sono stati aggregati in un'unica classe, la prima, e quello più alto è confluito nell'ultima classe, rispettivamente la quinta e la terza, il cui limite superiore è dato dal valore di densità dell'insediamento più elevato presente nei tre quartieri.

La differenza del numero di classi individuate, in particolare, per quanto riguarda l'inverno, è dovuta al fatto che la variazione di temperatura è minore durante la stagione fredda, rispetto all'estate solo 3 gradi.

La minore variazione di temperatura in inverno è, infatti, dovuta alla minore incidenza della radiazione solare: in inverno la superficie degli edifici esposta all'irraggiamento solare è un'aliquota minore rispetto all'estate, poiché pur ipotizzando che la presenza degli ostacoli (gli edifici) sia uguale, l'angolo di incidenza solare più basso all'orizzonte determina ombre più lunghe e quindi superfici ombreggiate maggiori. La presenza di ostacoli è in pratica, più determinate in inverno.

5.5 La misurazione del raggio di influenza delle aree verdi

Analogamente a quanto affermato per la densità dell'insediamento, anche per le aree verdi è stato necessario effettuare delle simulazioni con il software ENVI-met, con un duplice obiettivo: da un lato, individuare dei valori utili per lo studio dell'incidenza dell'effetto di raffrescamento prodotto da tali aree sulle variazioni di temperatura in ambito urbano, (da legare poi ai consumi energetici) e dall'altro, definire un raggio d'influenza delle aree verdi, in funzione della loro superficie e dei valori di densità scelti. In letteratura, infatti, sebbene sono stati effettuati differenti studi per stabilire la misura in cui la presenza del verde influenza il suo ambiente circostante (Honjo & Takakura, 1990–91; Spronken-Smith, 1994; Givoni, 1998), pochi sono quelli effettuati nelle città dei Paesi mediterranei, ed in particolare in quelle italiane.

Location and country	Climate type	Season	Green site and comparator	Features Of green site	Air temperature difference	Influence area (m)	Reference
Haifa	Mediterranean	-	Park to its surrounding	0,5 ha	-	20-150	Givoni 1972
Mexico City	Savanna tropical	Dry season		500 ha	2-3°C	2000	Jauregui 1990
Tokyo	Monsoon temperate	-	Green area to its surrounding	300-700 m wide	-	200	Honjo e Takakura 1992
Kumamoto, Japan	Humid temperate	August-September		60*40m	3°C	-	Saito et al. 1991
Montreal, Canada	Temperate continental	-	Urban parks to built areas	-	2,5°C	-	Gao 1993
Tokyo	Monsoon temperate	Summer	Vegetated to non vegetated zones	-	1,6°C-	-	
TamaNew Town, Japan	Humid temperate	August-September	Park to nearby urban sites	0,6km ² grass field	1,5°C	1000	Ca et al. 1998
Tel Aviv, Israel	Mediterranean	July-August	11 urban green area to its surroundings	450-11000 m ²	1,3-4°C	-	Shashua-Bar & Hoffman 2000; Jonsson 2004
Gaborone, Botswana	Savanna tropical	Summer	Oasis to open fields	-	2°C-	-	Jonsson 2004
Tel-Aviv, Israel	Mediterranean		Urban park to built up area	Trees	3,5°C	-	Potcher et al. 2006
Tokyo, Japan	Monsoon temperate		Park to its surrounding	Large park	1°C	-	Sugawara et al. 2006
Hong Kong China	Monsoon subtropical		Tree cover	-	0,5-1°C	-	Girigharan et al. 2008
Nagoya, Japan	Monsoon temperate	July	Park to its surrounding	174 ha	1,9 °C	200-300	Hanada & Ohta 2010

Figura 40: alcuni recenti studi sull'effetto di raffrescamento delle aree verdi.

Come prima fase di lavoro è stato necessario definire delle classi di superficie verde per individuare i valori da simulare. Tali classi sono individuate utilizzando un semplice metodo statistico di classificazione, quale quello dei quartili che ripartiscono la serie ordinata dei dati in $(q + 1)$ in parti di uguale numerosità.

Classe	Superficie (m ²)
1	0,151 – 487,277
2	487,278– 2559,488
3	2559,489– 8661,508
4	8661,508 - 844228

Tabella 11: classi iniziali di aree verdi.

Il limite superiore della classe 4 si riferisce all'area collinare del quartiere Arenella, ovvero a delle sezioni censuarie la cui superficie è quasi completamente occupata dalla vegetazione. Tale condizione è legata alla morfologia della città e può quindi essere poco significativa ai fini del presente studio, orientato non solo a definire le classi di aree verdi, ma soprattutto a stimare l'effetto del raffrescamento delle aree verdi in relazione alla densità dell'insediamento. Per definire, allora, il limite superiore della quarta classe si è proceduto nel seguente modo: effettuando una query in GIS sono state selezionate le sezioni censuarie appartenenti alla quarta classe, di queste sono state escluse quelle con un GnPR $\geq 0,80$ (in pratica quelle in cui la quasi totalità della superficie fosse destinata a verde) ed è stato preso come limite superiore il valore maggiore delle aree verdi restanti ed appartenenti alla quarta classe, pari a 128.233 m². In definitiva, le classi iniziali di aree verdi sono tre:

Classe	Superficie (m ²)	Valore medio
1	0,151 – 2559,488	839,61
2	2559,489– 8661,508	5043,48
3	8661,508 – 128223	32847,1

← le precedenti due classi sono state unite, in quanto i valori appartenenti alla prima classe sono poco significativi

Tabella 12: classi di aree verdi.

Definite le classi, per ciascuna di esse sono stati calcolati i relativi valori medi, come valori da simulare in ENVI-met:

Questi valori sono da incrociare con le classi di densità dell'insediamento precedentemente ottenute, nell'ottica di capire l'incidenza delle aree verdi sul costruito, dal punto di vista delle variazioni termiche. Le classi di densità

dell'insediamento, relative all'estate, sono 5; di queste si considerano i valori medi della prima, terza e quinta classe da utilizzare nella simulazione, ovvero, bassa, media ed alta densità:

Classe	Densità	Valore medio	
1	0,0025 – 4,101	2,084	← densità bassa
2	4,102 – 7,033		
3	7,034 – 9,898	8,482	← densità media
4	9,899 – 12,415		
5	12,452 – 19,486	13,280	← densità alta

Tabella 13: valori medi di densità dell'insediamento scelti per la simulazione.

Individuati i valori di superficie verde e di densità da simulare, e in analogia con quanto fatto per la definizione delle classi di densità dell'insediamento, sono stati simulati degli elementi modulari all'interno dei quali l'area verde è stata posta in posizione centrale. La distanza tra il quadrato rappresentante l'area verde e quello dell'intera area simulata è stata fatta variare (150, 170 e 200 m) tenendo presente sia le capacità di calcolo del software, che, soprattutto, i valori delle distanze massime di influenza presenti in letteratura. In ragione di ciò, per la costruzione della griglia geometrica da costruire in ENVI met, (figura 41) gli edifici sono stati rappresentati da un quadrato 10x10 la cui altezza viene ricavata dalla formula inversa della densità :

$$h=D/l_c$$

dove:

D = valore della densità da simulare

l_c = Indice di copertura, dato dal rapporto tra superficie coperta del modulo base e la superficie totale dello schema da simulare. Il valore di questo indice tiene conto della distanza tra gli edifici che è stata fatta variare per rappresentare i tre casi di densità scelti: alta 10m, media 20m, bassa 30m.

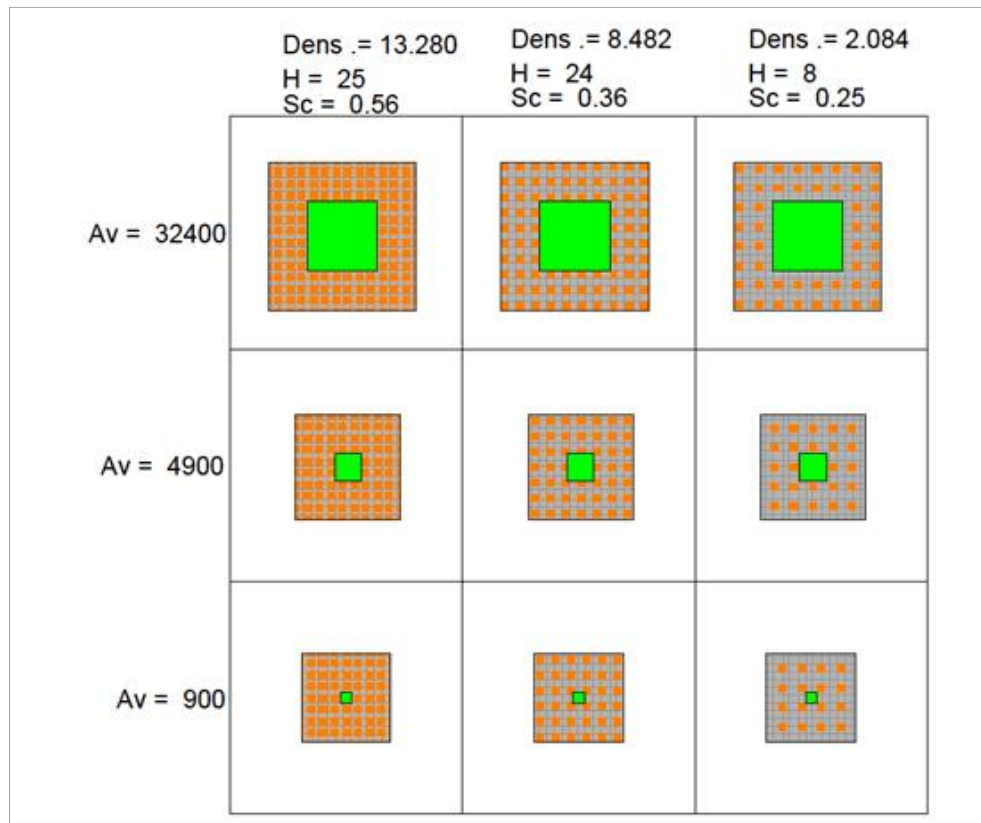


Figura 41: schemi modulari per la simulazione delle aree verdi

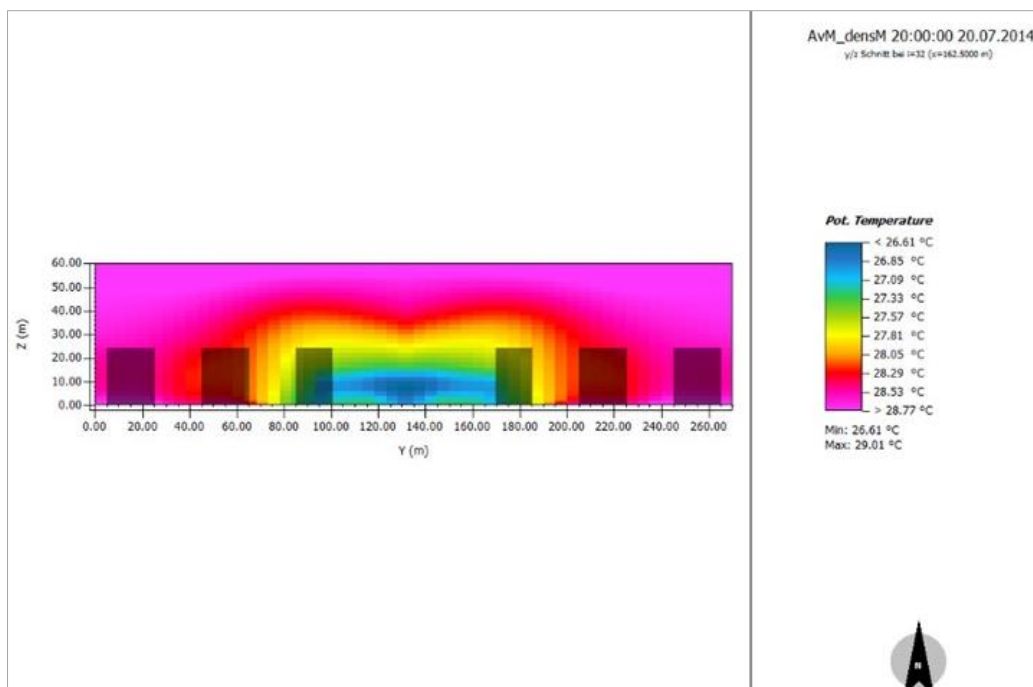


Figura 42: simulazione del caso area verde e densità media in ENVImet.

Come si vede dalla figura 41 i valori delle aree verdi simulati sono poco differenti da quelli medi calcolati all'inizio, in quanto questi ultimi sono stati rapportati ad una superficie quadrata.

I dati di input relativi alle condizioni climatiche utilizzati per effettuare la simulazione sono gli stessi della simulazione delle densità relativi al periodo estivo (vd. par. 3).

Dei 9 casi possibili, derivanti dagli incroci tra i valori di densità e delle superfici di aree verdi, sono stati simulati quelli lungo la diagonale principale, in quanto sono i casi rappresentativi dell'area oggetto di studio.

Effettuate le simulazioni, sono state estrapolate, per ogni schema, lungo una sezione orizzontali, le temperature potenziali medie per ogni ora nella fascia oraria 18-24, con un passo di 5 metri a partire dall'area verde.

La fascia orari considerata è stata scelta in accordo con gli studi sul tema, secondo i quali il «raffreddamento evaporativo durante le ore diurne ha un impatto molto limitato sulle temperature dell'aria, a livello del suolo, a differenza di quanto accade dal tramonto in poi, quando l'area verde si consolo dia come un'isola fredda» (Brundl *et al.*, 1986; Saito, 1990). Sulla base delle differenze tra la temperatura media rilevata ad ogni passo e la temperatura dell'area verde (ΔT), sono stati elaborati dei grafici attraverso i quali individuare i raggi d'influenza per ciascuno dei tre casi simulati.

Tali grafici riportano sull'asse delle ascisse la distanza dall'area verde, e sull'asse delle ordinate il ΔT . In accordo con il lavoro di Chen *et al.* (2012) la massima distanza oltre la quale non si risente più dell'effetto di raffrescamento delle aree verdi, ovvero il raggio di influenza, corrisponde al punto in cui la tangente alla curva è orizzontale e quindi la derivata prima della funzione polinomiale cubica si annulla:

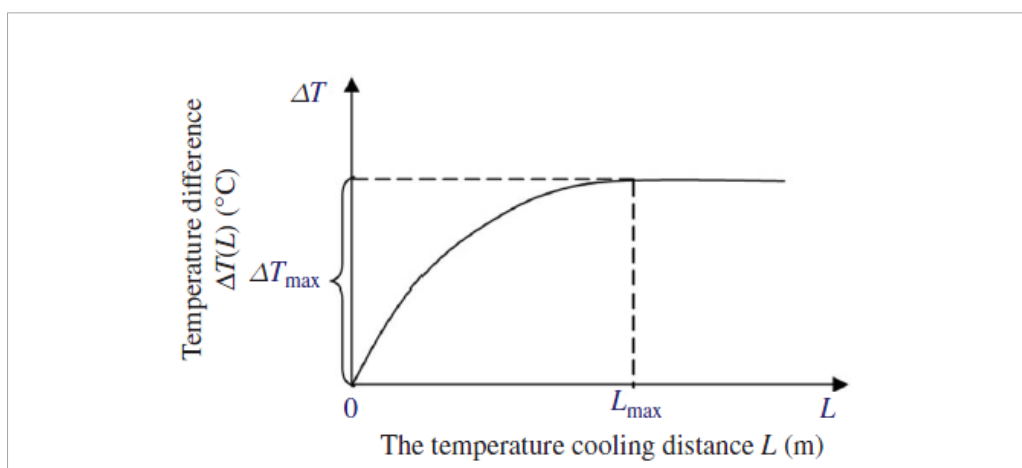


Figura 43: modello dell'effetto di raffrescamento delle aree verdi di Chen *et al.* (2012) in cui L_{max} è il raggio di influenza delle aree verdi.

L'andamento orizzontale della curva indica, infatti, che non si riscontra più alcuna variazione della temperatura, condizione che corrisponde, in pratica, all'assenza dell'area verde.

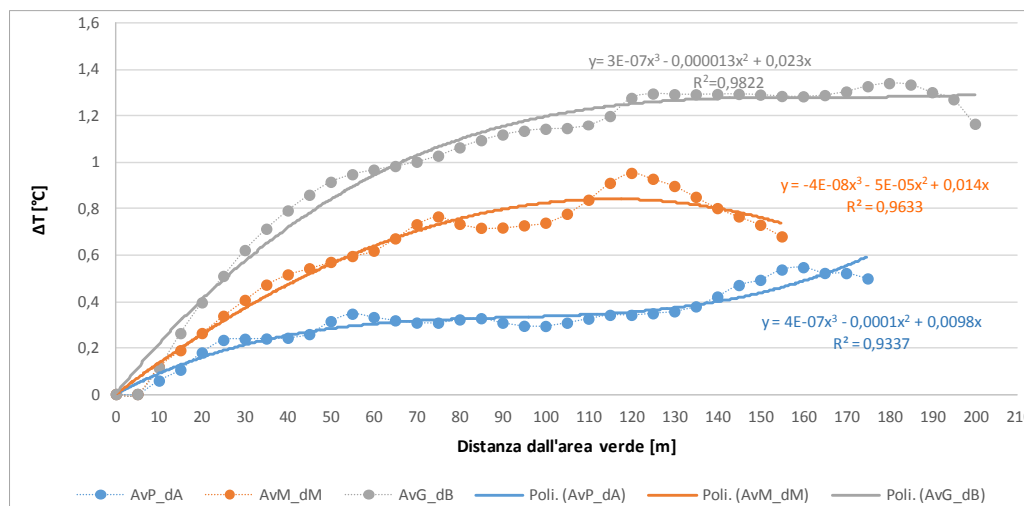


Figura 44: andamento delle temperature medie rilevate in funzione della distanza dalle aree verdi e le relative curve polinomiali cubiche

La determinazione di questa massima distanza avviene imponendo uguale a zero la derivata prima della curva polinomiale cubica con cui si approssima la curva reale:

$$R_i = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 3ac}}{3a} \tag{1}$$

$$aL^3 + bL^2 + cL \tag{2}$$

Utilizzando la (1) per la risoluzione della (2), si ottengono i seguenti R_i :

- 48 m per aree verdi piccole e densità alta;
- 122 m per aree verdi medie e densità media;
- 145 m per aree verdi grandi e densità bassa.

I raggi d'influenza aumentano al crescere delle aree verdi e al diminuire della densità dell'insediamento, senza però essere caratterizzati da un rapporto diretto di proporzionalità rispetto alle dimensioni delle superfici verdi.

Inoltre, l'abbassamento della temperatura determinato dalla presenza del verde, è pari a circa 0,2°C nel primo caso, circa 0,8°C e circa 1,2°C nel terzo caso. In pratica, aree verdi di dimensioni inferiori ai 5000 mq circa non determinano abbassamenti rilevanti delle

temperature urbane e quindi la loro presenza non contribuisce né a mitigare fenomeni quali l'UHI né a diminuire i consumi energetici per la climatizzazione estiva.

Il modello interpretativo messo a punto in questo lavoro di ricerca rappresenta la "traduzione in chiave operativa" dell'approccio sistemico adottato, atto ad individuare quali relazioni tra le variabili fisiche, ambientali ed edilizie possono essere ritenute rilevanti in termini di consumo di energia elettrica e di gas alla scala di quartiere. Lo sviluppo di un modello di questo tipo, è stato effettuato anche al fine di fornire un approccio teorico, interpretativo ed operativo proprio della disciplina urbanistica, finalizzato alla governance energetica dei sistemi insediativi.

Benché si tratti di un modello sostanzialmente qualitativo in quanto, come meglio descritto nel capitolo successivo, definisce le relazioni tra le variabili oggetto di studio ed i consumi di energia elettrica e di gas attraverso una comparazione delle caratteristiche dell'area di studio, al suo interno presenta elementi significativi ed innovativi, quali le procedure di misurazione della densità dell'insediamento e delle distanze massime di raffrescamento delle aree verdi.

Entrambe le metodologie, infatti, hanno il vantaggio di poter essere replicate ed applicate a differenti contesti urbani, nonché a scale più ampie di sperimentazione, come un'intera area urbana.

Un altro punto di forza del modello è che esso utilizza dati sui consumi di energia elettrica e di gas reali, a differenza della gran parte degli studi che invece fanno riferimento a consumi stimati o che, comunque, sono finalizzati alla loro stima. Tale aspetto può, quindi, accrescere il contributo apportato dal presente lavoro alla ricerca, in quanto lo studio di consumi reali messi in relazione con un ampio set di variabili fisiche, ambientali ed edilizie consente di fare chiarezza sulle principali criticità ed incertezze legate alla valenza urbana della questione energetica, prima tra tutte l'influenza della densità sui consumi.

CAPITOLO 6. LE RELAZIONI TRA CARATTERISTICHE FISICHE E CONSUMI ENERGETICI

6.1 Introduzione

La relazione tra morfologia, forma e geometria delle aree urbane e consumi energetici risulta essere ancora poco condivisa e caratterizzata da numerose criticità ed incertezze. Sebbene molte ricerche dichiarino di studiare tale rapporto con un approccio multidimensionale 1 a n, quasi sempre questi si riducono ad investigare la relazione biunivoca tra una singola componente del sistema urbano ed i consumi energetici. Ad aumentare, inoltre, il grado di indeterminazione dei risultati intervengono elementi quali la scala di applicazione, sostanzialmente quella di dettaglio come il singolo edificio, ed il fare riferimento a consumi stimati.

In altri termini, sia da un punto di vista teorico che applicativo, l'estrema complessità degli elementi in gioco e delle interrelazioni che li legano, impedisce ai ricercatori di fare luce sul tema, individuando delle relazioni certe che poi siano di supporto per la governance energetica nelle aree urbane.

In tale ottica il lavoro di ricerca mira al raggiungimento di due obiettivi principali: in primo luogo mettere a punto un modello in grado di descrivere ed interpretare le possibili relazioni che si instaurano tra le variabili fisiche, ambientali ed edilizie ed i consumi di energia elettrica e di gas all'interno dell'area di studio e, sulla base dei risultati ottenuti, fornire un contributo al dibattito scientifico cercando riscontro o meno di quegli assunti teorici ed empirici che fino ad ora hanno caratterizzato gli studi energetici alla scala urbana.

Dallo studio della letteratura scientifica sul tema, descritto nei capitoli terzo e quarto, infatti, emergono risultati talvolta contraddittori.

Ad esempio, l'apparente paradosso tra la tendenza generalizzata a densificare per aumentare l'efficienza energetica della città, nonché per ridurre i costi di trasporto, e l'impatto che tale processo può avere sul microclima urbano e sulla stessa qualità della vita in città rimane ancora poco chiaro (Givoni, 1992). Tuttavia, l'orientamento verso aree urbane compatte sembra prevalere sia nelle politiche europee ed internazionali, soprattutto in ragione delle maggiori opportunità di limitare il consumo di suolo, che nelle ricerche effettuate in riferimento ai consumi energetici (Pitt, 2012).

Se Steemers a riguardo (2003) sostiene che i pro e i contro della compattezza di un insediamento sono in realtà ben bilanciati <<and the choice depends on infrastructure issues, for instance the opportunities for the buildings to share energy networks>> (Veronesi 2008), l'importanza attribuita alla densità quale fattore determinante dei consumi energetici alla scala urbana risulta molto consolidata (Burchell & Listokin, 1982; Elkin *et al.* 1991; Owens, 1992; Stenhouse 1992; Zhang *et al.* 2011; Howard *et al.* 2012), in ragione del fatto che essa è considerata quale caratteristica significativa per la definizione della forma urbana della città.

Se per la densità il dibattito scientifico è ancora aperto, sembra essere un po' più condiviso il ruolo della vegetazione nella riduzione dei consumi. La vegetazione gioca infatti un ruolo significativo nella regolazione del microclima urbano e quindi nei consumi legati soprattutto al condizionamento estivo, in ragione dei processi assorbimento della radiazione solare e di raffrescamento legati all'ombra e all'evapotraspirazione (Yamamoto *et al.*, 2006; Shashua-Bar e Hoffman, 2000; Doherty, 2009).

All'insieme degli studi sopra citati che hanno investigato il ruolo della densità e delle aree verdi all'interno del rapporto città – energia, si aggiungono le seppur poche ricerche che si sono sforzate di considerare l'effetto sui consumi energetici di più di una caratteristica fisica della città (Soltani *et al.*, 2012; Howard *et al.*, 2012; Ko & Radke, 2013; Salat & Guesne, 2008).

6.2 La procedura operativa

Al fine di poter definire quali caratteristiche urbane oggetto di studio incidono sui consumi, i tre quartieri sono stati articolati in differenti tipologie di aree, aventi caratteristiche fisiche, ambientali ed edilizie omogenee al loro interno e differenti tra loro. In ragione di tale scopo, è stata dapprima definita la struttura del sistema urbano, per poi confrontarla con i consumi di energia elettrica e di gas.

L'operazione di "sovrapposizione" dei differenti strati fisici informativi attraverso cui individuare la configurazione spaziale che caratterizza l'area di studio, ovvero, perimetrare aree aventi medesime caratteristiche urbanistiche, ha rappresentato un'ulteriore fase onerosa del lavoro di ricerca, per due motivazioni principali: in primo luogo, per l'assenza, in letteratura, di valori certi delle variabili fisiche, ambientali ed edilizie a cui poter fare riferimento, in quanto rilevanti per la loro incidenza sui consumi energetici; in ambiente GIS, inoltre, sebbene sia possibile effettuare delle query complesse, ovvero, delle interrogazioni concatenate che soddisfino una o un insieme di condizioni, risulta difficoltoso strutturarle considerando tutte insieme le tredici variabili urbanistiche.

Per individuare, quindi, le relazioni tra le variabili fisiche, ambientali ed edilizie che strutturano i tre quartieri, è stata definita la correlazione tra ciascuna di queste variabili ed i consumi di energia elettrica e di gas, attraverso un'analisi di tipo statistico.

In altri termini, è stata effettuata una correlazione tramite l'indice statistico di Bravais Pearson che consente di definire la misura della relazione che sussiste tra due o più

variabili. Tale indicatore (r) è dato dalla somma dei prodotti dei punteggi standardizzati delle due variabili ($z_x z_y$) considerate, diviso il numero delle osservazioni:

$$r = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2] [N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Per la variabile relativa all'epoca di costruzione degli edifici, in quanto variabile ordinale, è stato necessario effettuare una diversa analisi statistica, che è l'Analisi della varianza (ANOVA). L'ANOVA è un'estensione del test T-Student sul confronto tra le medie: la variabilità interna a ciascun gruppo viene confrontata con la variabilità tra i gruppi.

In pratica, sono state definite delle classi di valori della variabile relativa all'epoca di costruzione degli edifici che rappresentano i gruppi da confrontare, nei quali vengono misurate i consumi di energia e di gas.

Poiché l'ANOVA effettua un confronto tra gruppi, si è ritenuto utile applicarla anche alle classi di densità individuate in funzione delle temperature superficiali esterne estive ed invernali, al fine di ottenere ulteriori elementi utili all'articolazione dell'area di studio in differenti tipologie di aree.

L'ipotesi nulla del test prevede che i dati di tutti i gruppi abbiano la stessa origine, ovvero la stessa distribuzione stocastica, e che le differenze osservate tra i gruppi siano dovute solo al caso. L'ipotesi alternativa è che ci sia una differenza significativa tra le medie (ad esempio, le classi di densità hanno un consumo medio significativamente differente tra di loro).

Quale parametro rappresentativo dei consumi energetici è stato scelto il consumo medio per sezione censuaria, ottenuto come il rapporto tra la sommatoria delle differenti utenze ed il numero totale di utenze:

$$C_m = \frac{\sum_n^1 c_i}{N}$$

La definizione degli intervalli significativi sia dei consumi di energia elettrica che di gas, è stata effettuata utilizzando in GIS la classificazione Natural Breaks. Questa ultima si basa sul metodo di ottimizzazione di Jenks, che effettua una classificazione ottimale per intervalli, tale che la somma delle varianze dei valori della variabile in esame risulti minima per ciascuna delle singole classi individuate (2). In pratica, si tratta di risolvere un problema di ottimizzazione (1) il cui obiettivo è quello di classificare i valori in n classi, tali che la somma delle deviazioni dalle medie in ogni classe sia minima (3):

$$\sum_1^N V_j = \text{minimo} \quad (1)$$

$$V_j = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{n_j} (x_i - m_j)^2 \quad (2)$$

$$m_j = \frac{1}{n_j} \sum_{n_j} x_i \quad (3)$$

Tale tipo di classificazione ha individuato cinque classi di consumo di energia elettrica e quattro classi di consumo di gas. I valori degli indici di correlazione ottenuti (tabella 1) non hanno mostrato alcuna rilevante relazione tra ciascuna delle variabili in esame ed i consumi, né di energia elettrica, né di gas.

Allo stesso modo, i risultati dell'ANOVA (tabelle 2 e 3) non mostrano una differenza tra le medie, né per le classi di densità, né per quelle dell'epoca di costruzione degli edifici, ovvero, l'assenza di significatività tra le classi sia rispetto ai consumi di energia sia di gas. Seppure tale risultato non permetta, quindi, di acquisire informazioni utili per la determinazione della struttura del sistema, fornisce degli interessanti elementi di riflessione riguardo al legame tra spazio fisico e consumi, che saranno descritti all'interno delle conclusioni sul lavoro svolto.

	Consumo medio energia elettrica	Consumo medio gas
Densità	-0,031	-0,037
Altezza edifici	-0,026	-0,010
S/V	-0,056	-0,058
indice copertura	-0,026	-0,021
aspect ratio	-0,068	-0,045
GnPr	0,119	0,101
IGnR	0,077	0,093
sup coperta	-0,041	-0,024
edif muratura portante	-0,024	-0,026
edifici calcestruzzo	-0,045	-0,012

Tabella 14: valori degli indici di correlazione tra le variabili urbanistiche ed i consumi medi energetici.

Epoca di costruzione degli edifici				
		Somma dei quadrati	Media dei quadrati	Sig.
Media kwh	Fra gruppi	49239044,783	12309761,196	0,371
	Entro gruppi	4439828932,299	11502147,493	
	Totale	4489067977,083		
Media gas	Fra gruppi	7005,370	1751,343	0,993
	Entro gruppi	9975628,630	28021,429	
	Totale	9982634,000		

Tabella 15: risultati dell'ANOVA per l'epoca di costruzione degli edifici

Densità in funzione delle temperature superficiali estive				
		Somma dei quadrati	Media dei quadrati	Sig.
Media kwh	Fra gruppi	461550713,846	115387678,462	0,593
	Entro gruppi	67950732120,751	164928961,458	
	Totale	68412282834,597		
Media gas	Fra gruppi	217982,371	54495,593	0,096
	Entro gruppi	10467628,141	27402,168	
	Totale	10685610,512		

Densità in funzione delle temperature superficiali invernali				
		Somma dei quadrati	Media dei quadrati	Sig.
Media kwh	Fra gruppi	200585872,917	100292936,458	0,545
	Entro gruppi	68208960084,303	165154867,032	
	Totale	68409545957,220		
Media gas	Fra gruppi	97598,285	48799,142	0,172
	Entro gruppi	10570026,368	27597,980	
	Totale	10667624,653	100292936,458	

**Tablelle 16a e 16b: risultati dell'ANOVA per le classi di densità,
in funzione delle temperature superficiali estive**

In assenza di utili elementi informativi riguardo alle relazioni tra le variabili, è stato necessario ripartire dallo studio di tali variabili, definite sulla base della letteratura scientifica di riferimento, al fine di individuare le differenti tipologie di aree in cui sono strutturati i tre quartieri, in ragione delle caratteristiche considerate.

Una lettura più approfondita delle ricerche di riferimento ha permesso di capire che, sebbene si tratti di un set di sedici variabili, è possibile sintetizzare il contenuto informativo di parte di esse in un numero più limitato di parametri, ovvero, densità

dell'insediamento, il raggio di influenza delle aree verdi (R_i) delle aree verdi, altezza ed epoca di costruzione degli edifici. La comparazione tra le differenti ricerche studiate ha, infatti, fatto emergere che spesso si utilizzano variabili diverse che però esprimono o fanno riferimento al medesimo contenuto informativo. Non a caso, la densità dell'insediamento, come già descritto nel terzo capitolo, può essere considerata come indicatore di sintesi delle caratteristiche morfologiche della città, in quanto fa riferimento ad elementi quali la volumetria e la compattezza.

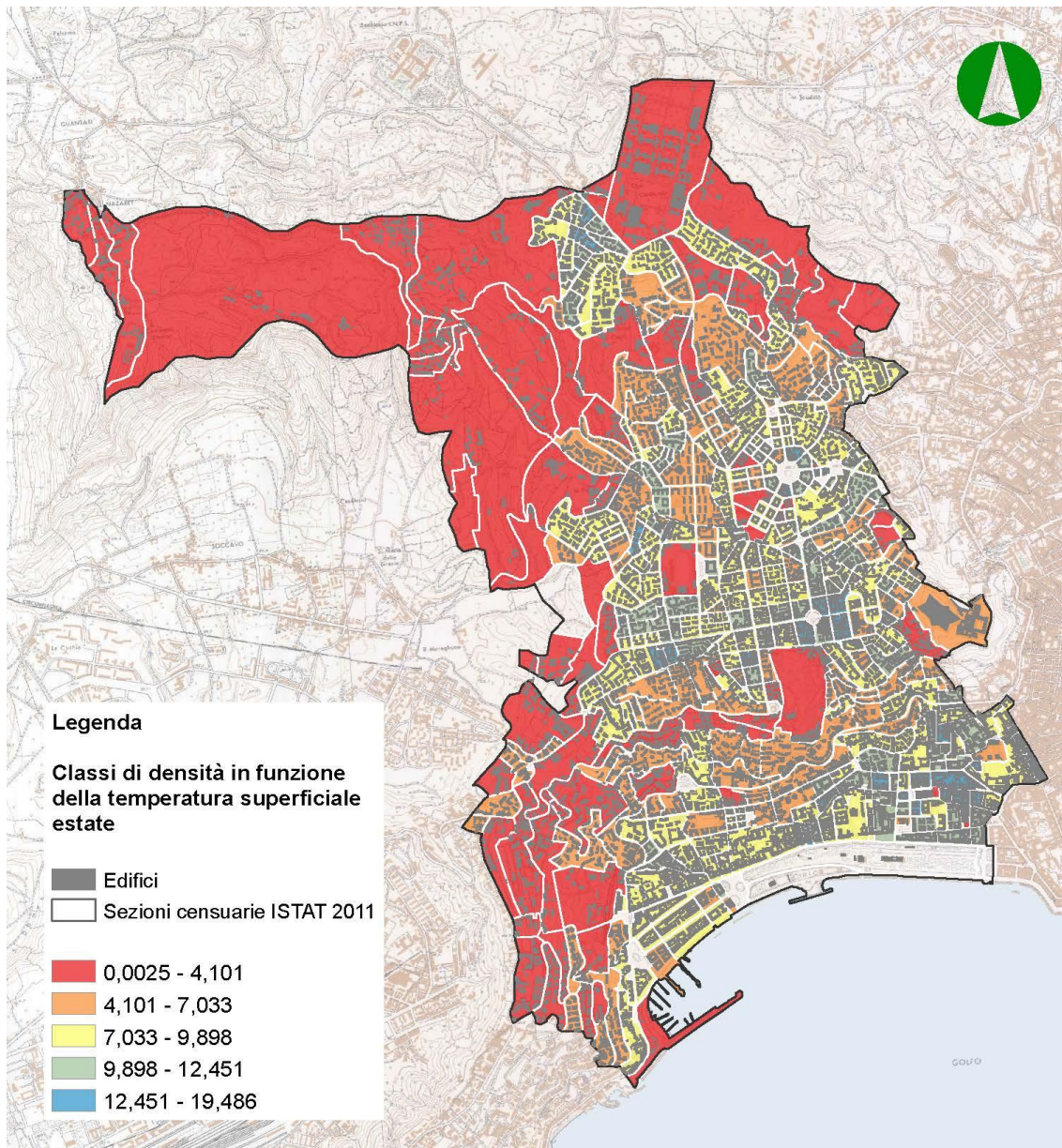
Alle distanze massime di raffrescamento delle aree verdi è possibile ascrivere le variabili ambientali individuate, in ragione del fatto che l'Index Green Ratio (IGnR) è calcolato sulla base di tale variabile e che il Green Plot Ratio (GnPR) ha un contenuto informativo meno rilevante, in termini di relazioni con i consumi energetici. L'epoca di costruzione fornisce informazioni relative anche ai materiali utilizzati, e, quindi, alle variabili relative agli edifici in muratura e in calcestruzzo armato. L'altezza rappresenta una delle variabili maggiormente rilevanti in letteratura.

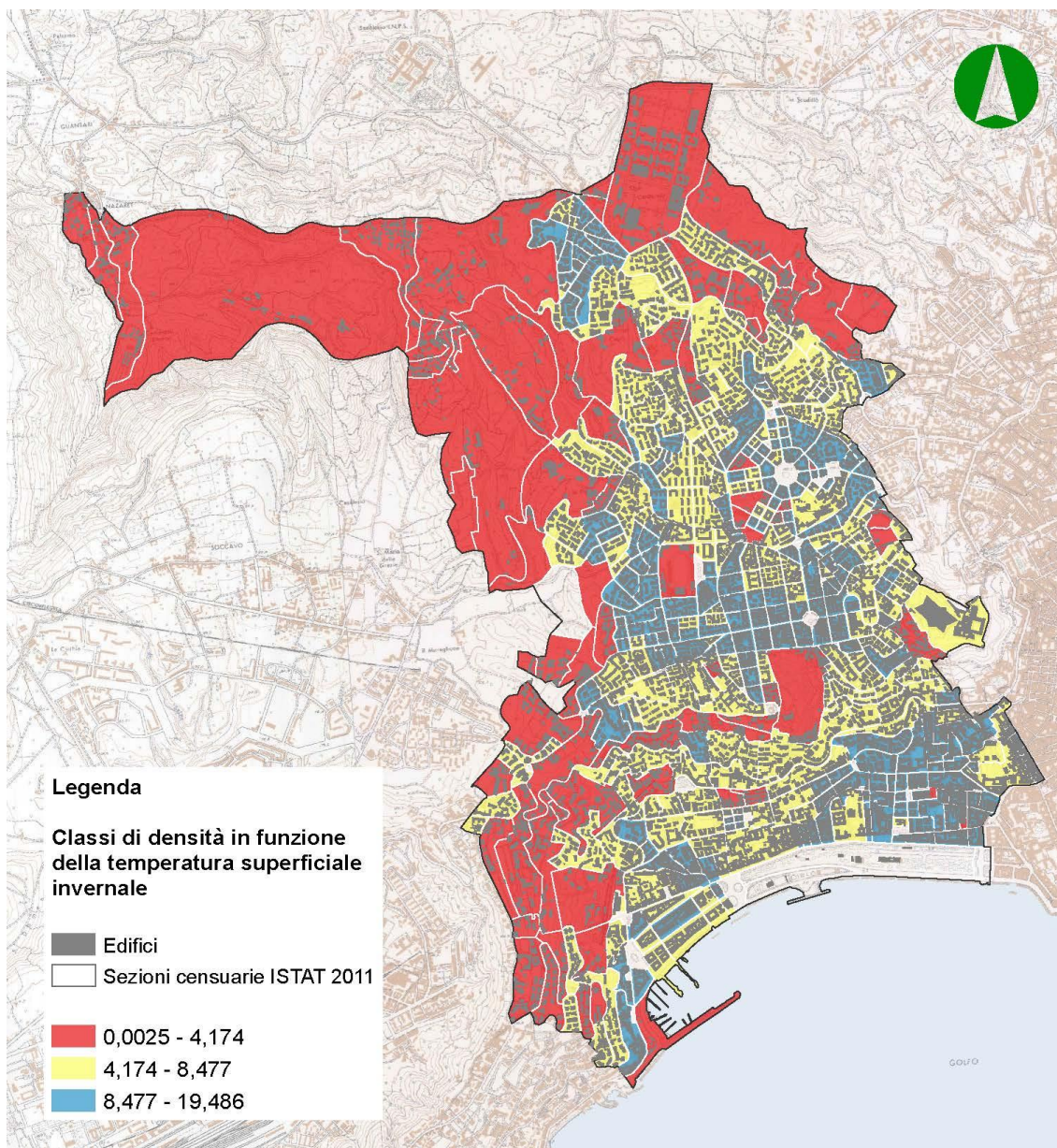
La seguente descrizione di come ciascuna di queste quattro variabili caratterizza i tre quartieri è stata effettuata in ragione di un duplice obiettivo: individuare le aree che ricadono all'interno di intervalli prestabiliti per ciascuna variabile, da un lato, ed effettuare una comparazione sia con i consumi di energia elettrica che di gas per trovare riscontro o meno degli assunti teorici sul tema, dall'altro, vale a dire capire l'influenza delle variabili sui consumi.

Tale comparazione consente di capire la differenza dei consumi tra le diverse aree, per intervalli significativi.

6.3 Le variabili di sintesi

Densità dell'insediamento





Perquanto riguarda la densità dell'insediamento sono state individuate due differenti classificazioni, in ragione del soleggiamento estivo ed invernale. La metodologia di ricerca messa a punto per tale variabile, è stata resa necessaria in quanto in letteratura non è stata ancora esplicitata la relazione diretta che la lega ai consumi.

La densità dell'insediamento è stata messa in relazione con la temperatura superficiale esterna degli edifici, al fine di comprendere se e in che misura la densità incide sulle variazioni termiche nei tessuti urbani.

Il parametro climatico – ambientale in ragione del quale sono state determinate le differenti classi di densità ed i relativi valori di temperature superficiali esterne degli edifici, è la radiazione solare. Tale considerazione spiega la differenza del numero di

classi in riferimento all'estate ed all'inverno: in inverno la variazione di temperatura, 3°C è più contenuta rispetto all'estate, 5°C, in ragione della minore incidenza della radiazione solare sugli edifici.

Sebbene non sia corretto effettuare un confronto tra le due mappe in termini di densità, in quanto entrambe sono state ottenute a partire dagli stessi parametri geometrici di input, è possibile trarre alcune considerazioni in riferimento al soleggiamento ed alla sua influenza sui consumi. Le sezioni censuarie a bassa densità dell'insediamento, caratterizzate anche da una notevole distribuzione di verde al loro interno, presentano maggiori temperature. Queste maggiori temperature rappresentano, in termini di consumi energetici, un elemento peggiorativo in estate, in quanto l'assenza di elementi che fungano da barriera ai raggi solari determina, in genere, un rilevante ricorso ai sistemi di condizionamento. In inverno, al contrario, temperature superficiali maggiori costituiscono un elemento di vantaggio, in quanto contribuiscono a limitare il ricorso al riscaldamento e quindi a ridurre i consumi di gas. Tuttavia, in entrambi i casi, occorre prendere in considerazione la presenza delle numerose aree verdi che, concorrono sia alla mitigazione del calore, incidendo positivamente sul contenimento dei consumi, sia a determinare condizioni microclimatiche tali da rendere necessario l'utilizzo del riscaldamento, in ragione della maggiore umidità.

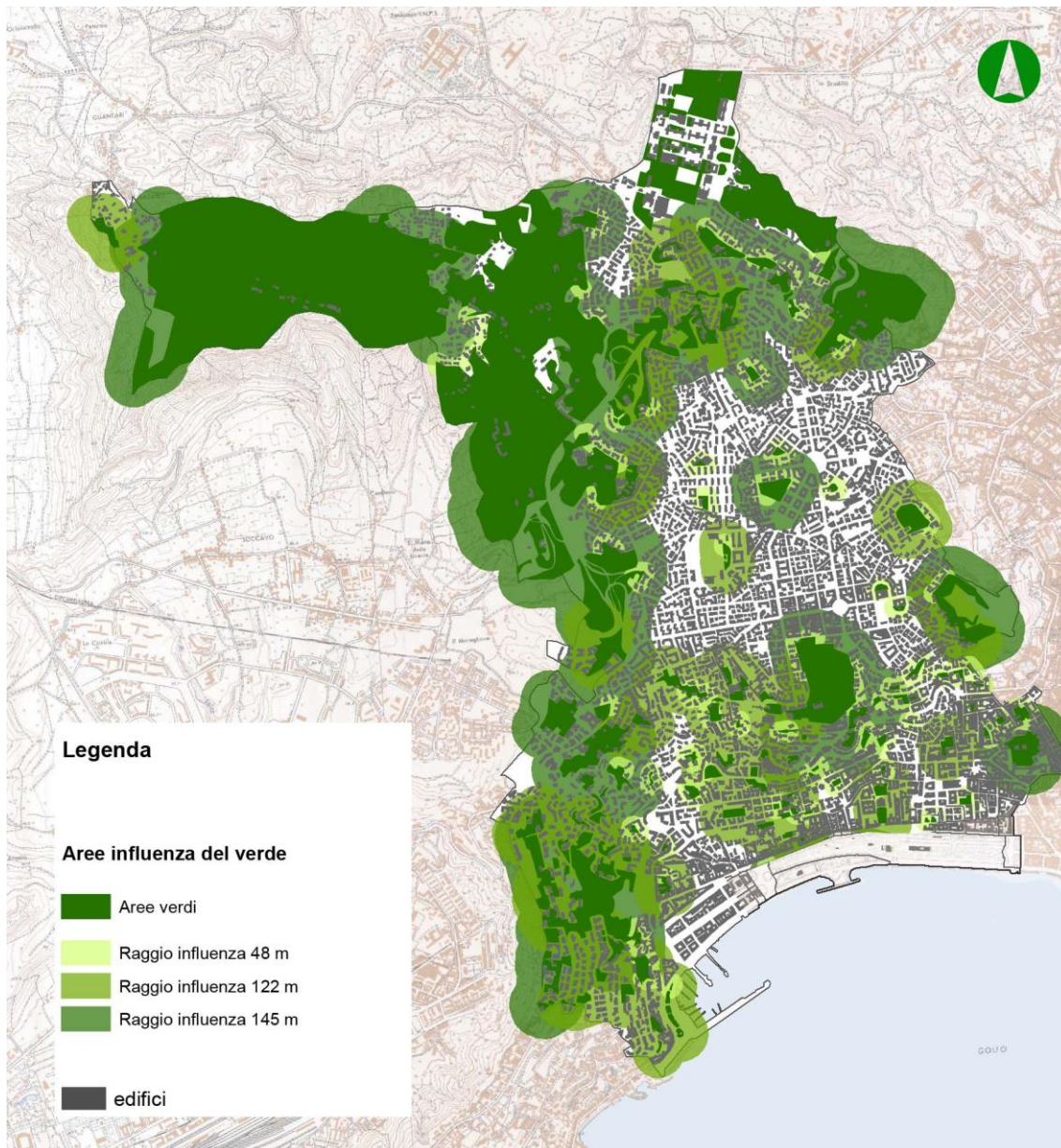
Le considerazioni appena fatte, a meno del verde, si ribaltano con riferimento alle sezioni censuarie caratterizzate da densità più elevate. I maggiori volumi presenti e le ridotte distanze tra gli edifici, comportano un maggiore effetto di ombreggiamento, il che contribuisce a ridurre le temperature superficiali in estate, proprio grazie al reciproco effetto barriera. In inverno, invece, caratteristiche fisiche di questo tipo ostacolano il soleggiamento e quindi determinano un abbassamento delle temperature superficiali.

La lettura di entrambe le mappe, effettuata nell'ottica di capire come la densità dell'insediamento caratterizzi i tre quartieri, permette di iniziare ad individuare due tipologie di aree: quelle caratterizzate da una minore presenza insediativa e da una notevole presenza di verde, localizzate principalmente nei quartieri Arenella e Chiaia, e quelle invece tipiche di un tessuto notevolmente costruito all'interno del quale le altre variabili considerate ne permetteranno una caratterizzazione di maggiore dettaglio.

Il confronto con la mappa dei consumi di energia elettrica sembra far riscontrare che, in alcuni casi, le sezioni censuarie aventi bassa densità (0,0025 – 7,033 mc/mq) siano caratterizzate da consumi più elevati, a meno di quelle sezioni in cui l'elevata quantità di costruito presente comporta alti consumi. Tale possibile riscontro interessa parte delle sezioni che si trovano all'interno dei quartieri Chiaia e Arenella.

Con riferimento ai consumi di gas, la lettura delle due mappe non ha, invece, fornito indicazioni utili ad interpretare la possibile relazione tra le due variabili.

Area di influenza degli spazi verdi



La simulazione delle tre differenti dimensioni di aree verdi ha permesso di determinare, per ciascuna di esse, la distanza massima dell'effetto di raffrescamento. Tali distanze, una volta definite, sono state associate in ambiente GIS alle relative aree verdi in funzione della loro dimensione.

Sono state poi effettuate delle operazioni di buffering, che permettono di individuare dei poligoni il cui perimetro è pari al valore della distanza di raffrescamento. Grazie a questo tipo di rappresentazione è, quindi, possibile visualizzare le sezioni censuarie interessate dall'effetto di raffrescamento delle aree verdi.

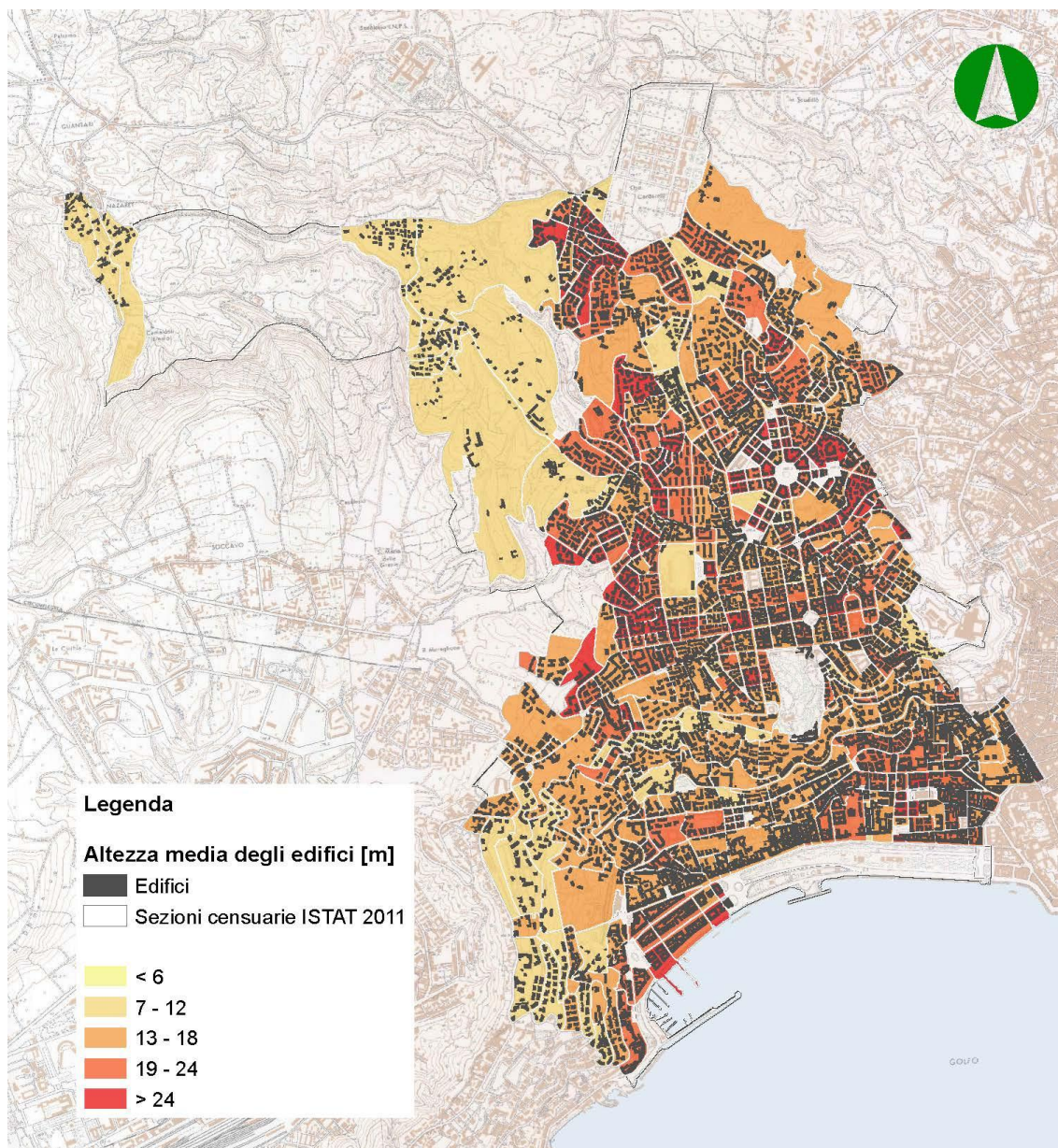
Dimensione area verde [m ²]	Raggio di influenza [m]	ΔT [°C]
839,61	48	0,2
5043,48	122	0,8
32847,1	145	1,2

Tabella 17: raggi di influenza e abbassamento della temperatura relativi a ciascuna delle tre aree verdi simulate

Come si può notare, le aree verdi di medie e grandi dimensioni sono localizzate soprattutto ad ovest e a nord dei quartieri, mentre la parte centrale dell'area di studio, il quartiere Vomero, è quella che meno beneficia dell'effetto di raffrescamento, sia perché sono pochi gli spazi a verde al suo interno e sia perché le elevate densità dell'insediamento che la caratterizzano ostacolano tale effetto microclimatico positivo. Si potrebbe, quindi, presumere che rispetto ai soli consumi di energia elettrica le sezioni censuarie localizzate nelle aree collinari di Posillipo e Camaldoli, così come quelle del quartiere Chiaia, potrebbero essere caratterizzate da consumi inferiori rispetto a quelle interne al quartiere Vomero.

In realtà, la comparazione tra la mappa relativa ai consumi energetici e questa riguardante l'influenza del verde, non conferma tale ipotesi, mostrando come i livelli di consumo non siano caratterizzati dalla presenza delle aree verdi.

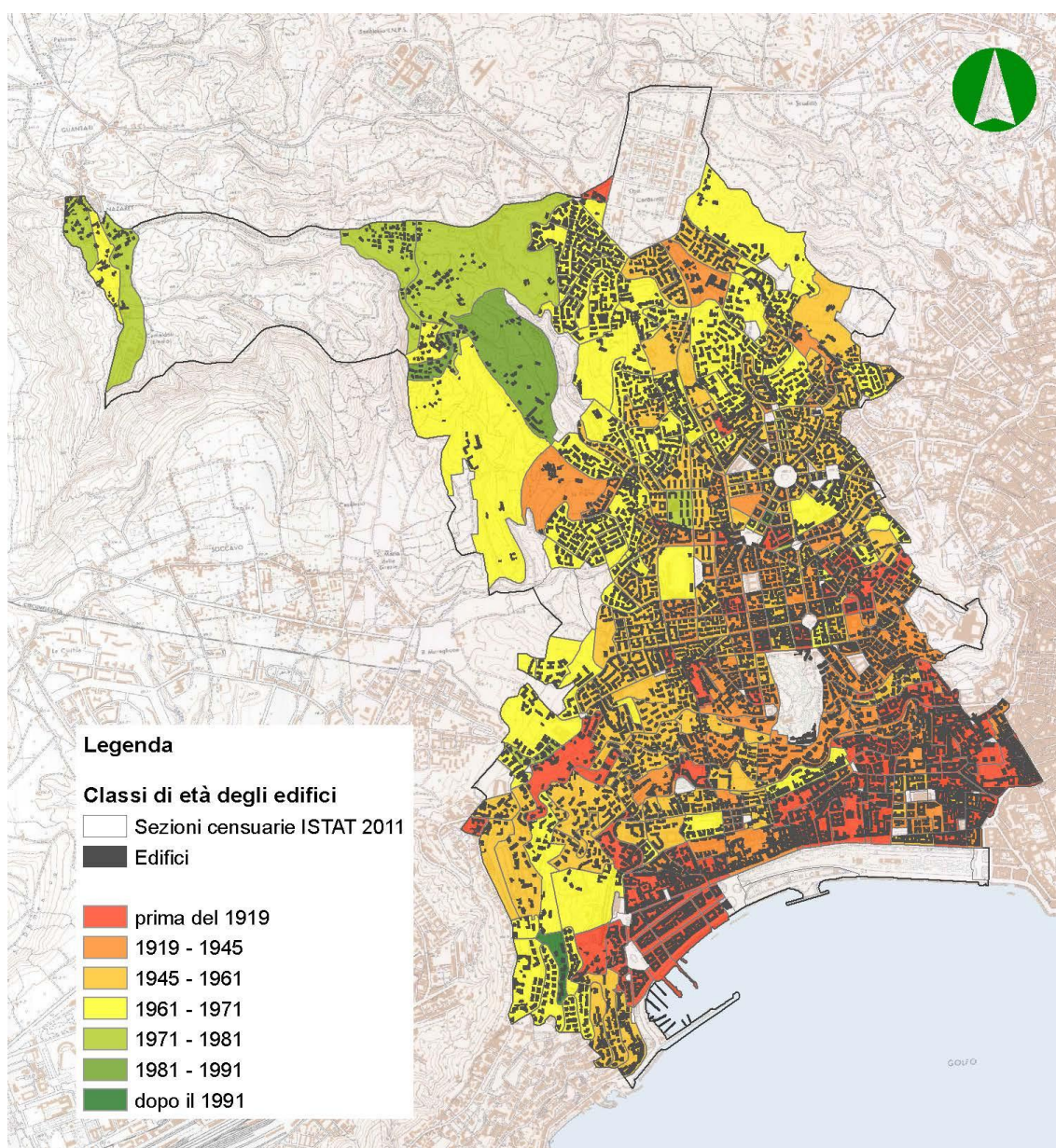
Altezza degli edifici



Le classi di altezza degli edifici sono state definite in modo tale da far emergere le differenze tra le sezioni censuarie, in ragione del fatto che tali diversità possono poi rivelarsi significative in termini di consumi energetici. Per tale motivo sono state individuate cinque classi che consentono di differenziare in modo preciso e puntuale quartieri molto variegati come, ad esempio, quello dell'Arenella. La mappa tematica elaborata consente di notare che la quasi totalità degli edifici alti al più 12m è localizzata nella parte ovest sia dei quartieri Arenella e Chiaia, ovvero le aree collinari dei Camaldoli e di Posillipo. Tale informazione permette di iniziare ad individuare una tipologia di

sezioni censuarie caratterizzata da edifici bassi, assimilabili per lo più ad abitazioni indipendenti o a condomini con un numero contenuto di appartamenti. Il confronto con la mappa dei consumi di energia elettrica permette di notare che, in generale, le sezioni censuarie caratterizzate da una minore altezza (6-18m) presentano consumi più elevati. Tale possibile riscontro interessa le sezioni che si trovano al confine dei quartieri Chiaia e Vomero, così come l'area ad est del quartiere Arenella. Con riferimento ai consumi di gas, la lettura delle due mappe non ha, invece, fornito indicazioni utili ad interpretare la possibile relazione tra le due variabili.

Epoca di costruzione degli edifici



La classificazione dell'epoca di costruzione degli edifici è stata fatta sulla base delle stesse considerazioni esposte riguardo alla precedente variabile dell'altezza media. All'interno di un'area di studio come quella in esame, fortemente "stratificata", sono le dissimilarità a fornire elementi utili all'individuazione delle caratteristiche urbane che incidono sui consumi energetici.

La distribuzione delle classi di età degli edifici all'interno dei tre quartieri, permette di individuare tre tipologie di aree:

- quelle caratterizzate da un'edilizia prevalentemente storica, antecedente il 1930, e localizzata soprattutto nel quartiere Chiaia e nella parte centrale del quartiere Vomero;
- quelle caratterizzate da un'edilizia realizzata soprattutto nel periodo 1946 – 1960 che, sebbene sia presente in tutti i tre quartieri, contraddistingue l'Arenella;
- quelle caratterizzate da un'edilizia successiva al 1960 dislocata in modo eterogeneo in tutti i tre quartieri, prevalentemente all'interno dell'Arenella.

Le differenti epoche di costruzione e, quindi, le diverse tecnologie e qualità costruttive, possono far presumere una differente caratterizzazione delle sezioni censuarie in funzione dei consumi di energia elettrica e di gas.

Ad esempio, le sezioni censuarie al cui interno sono presenti edifici realizzati nell'immediato dopoguerra, in generale, hanno consumi maggiori, in ragione della bassa qualità edilizia che ha caratterizzato tale periodo; allo stesso modo, le sezioni censuarie caratterizzate dalla presenza di edifici storici possono avere consumi talvolta più contenuti rispetto a quelle al cui interno sono presenti edifici più recenti, in ragione della maggiore inerzia termica che le contraddistingue.

Tali ragionamenti trovano qualche riscontro per quanto riguarda i consumi di energia elettrica, ma non per quelli relativi al gas, in quanto la comparazione ha mostrato come i livelli di consumo non siano influenzati da tali caratteristiche.

6.4 La classificazione delle tipologie di area

L'obiettivo del modello interpretativo è quello di consentire l'individuazione delle caratteristiche fisiche, ambientali ed edilizie che maggiormente influenzano i consumi di energia elettrica e di gas, in una logica di tipo sistemico.

L'utilizzo di questo tipo di approccio ha l'obiettivo, infatti, di "guardare" contestualmente e contemporaneamente gli elementi e le relazioni rilevabili nelle aree

in esame, rispetto ai diversi aspetti (fisico, ambientale ed edilizio), per articolare tali aree in ragione delle loro caratteristiche. L'individuazione delle diverse classi di aree in cui articolare i tre quartieri è stata effettuata sulla base degli intervalli significativi dei valori assegnati a tutte le variabili.

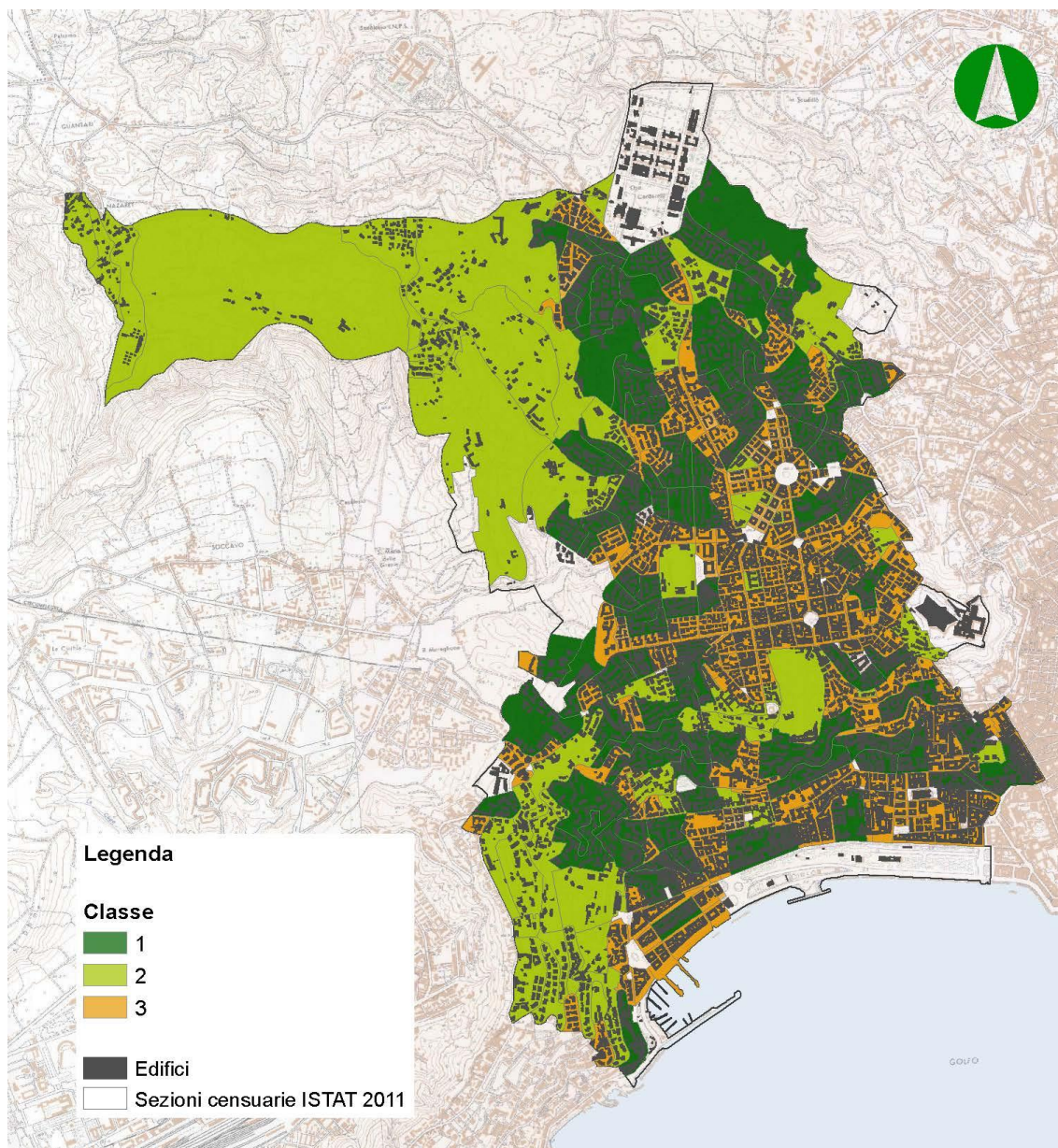
In altri termini, per ciascuna delle quattro variabili (la densità dell'insediamento, il raggio d'influenza delle aree verdi, l'altezza e l'epoca di costruzione degli edifici), è stata effettuata una classificazione delle sezioni censuarie in ragione dei valori che le variabili assumono.

Per classificare, poi, le sezioni censuarie in ragione di tutte le sedici caratteristiche considerate (attraverso le variabili) sono state effettuate, in ambiente GIS, delle query sugli attributi delle sezioni censuarie, per step successivi di interrogazione.

Sono state effettuate, cioè, delle operazioni di geoprocessing che consentono di realizzare procedure di analisi spaziale, quali l'overlay, ovvero, la sovrapposizione delle diverse variabili, anche attraverso fasi successive di ricalibrazione dei valori delle variabili, al fine di far emergere l'articolazione dell'area di studio che rappresenti al meglio le differenze presenti all'interno dei tre quartieri.

Tutte queste operazioni sono state effettuate eliminando le 56 sezioni relative agli spazi aperti costruiti, in quanto aventi caratteristiche, sia urbanistiche che relative ai consumi, non rilevanti ai fini della ricerca, ed è stata esclusa anche la sezione censuaria relativa al complesso ospedaliero del Cardarelli, in quanto la presenza di questa tipologia di attività poteva determinare una distorta interpretazione delle relazioni tra le variabili.

Sulla base della procedura GIS, sopra accennata, sono state classificate le sezioni censuarie tenendo conto contestualmente di tutte le variabili scelte, come riportato nella seguente figura 6.

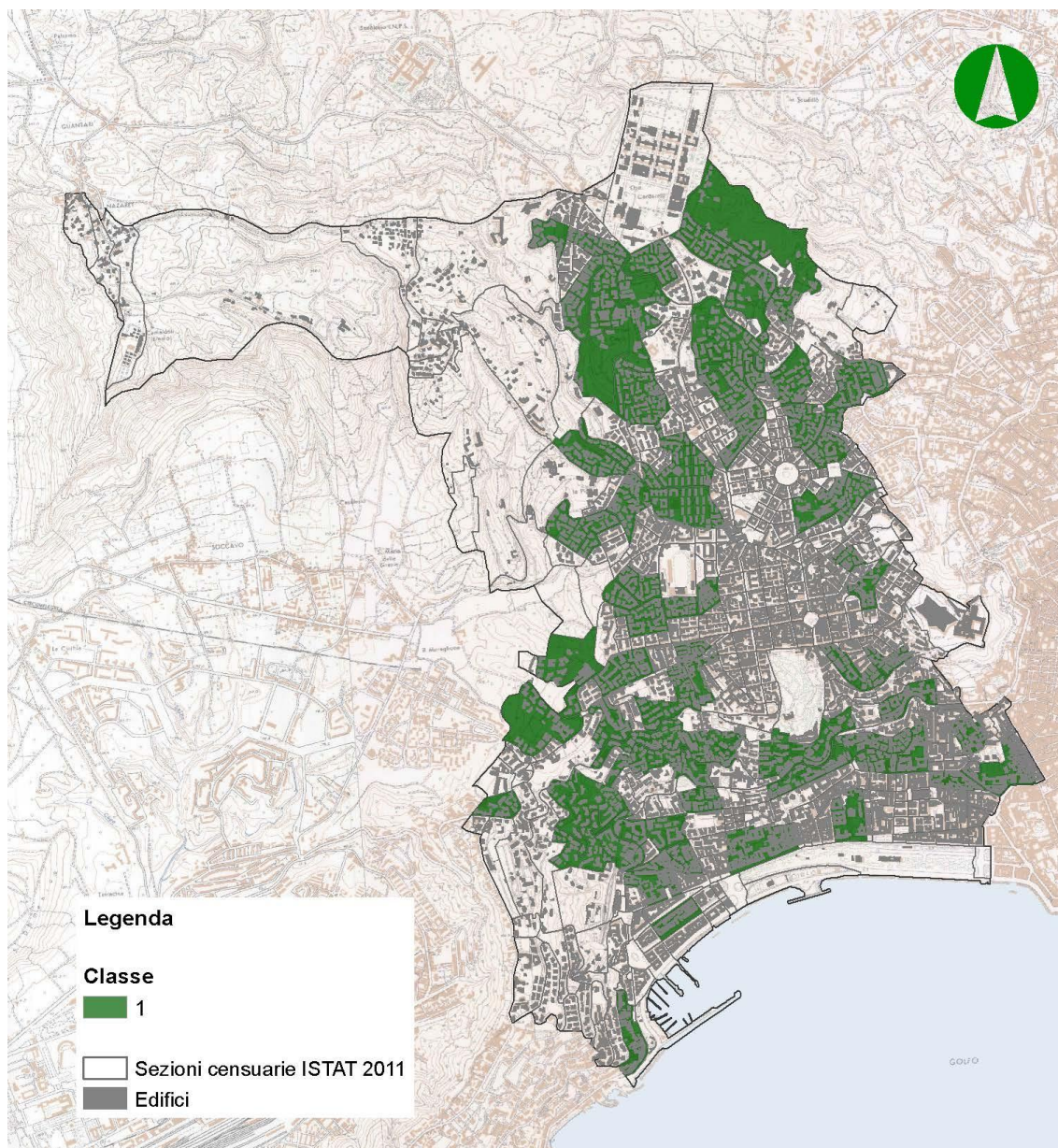


Di seguito si riporta la descrizione delle relazioni tra le variabili fisiche, ambientali ed edilizie che caratterizzano ciascuna delle tre classi di aree.

Tale descrizione è stata effettuata facendo riferimento sia al range di variazione delle variabili all'interno di ciascuna classe, che al loro valore medio confrontato con quello medio totale dell'intero sistema urbano.

Quest'ultimo confronto è stato effettuato con lo scopo di riuscire a caratterizzare in modo preciso ogni classe, estrapolando il maggiore contenuto informativo possibile.

La classe “Espansione non regolata”



	Valori che caratterizzano la classe	Valore medio
Densità dell'insediamento	<13,10 mc	7,81 mc
IGnR	-	0,50
Altezza edifici	11,56 < h < 31,4 m	18,84 m
Epoca di costruzione	per lo più '61-'71	-

Le sezioni censuarie appartenenti alla classe 1 sono caratterizzate dalla presenza di edifici costruiti prevalentemente nel decennio 1961-1971 e da alti valori di volumetrie, poco più del doppio rispetto al valore medio dell'intero sistema urbano.

Si tratta, per lo più, di sezioni censuarie caratterizzate dall'edilizia del secondo dopoguerra, a bassa qualità costruttiva.

La gran parte delle sezioni censuarie appartenenti a tale classe si sono sviluppate in modo disomogeneo, senza un preciso disegno pianificatorio alla base, come è possibile notare dalla figura seguente che mostra edifici costruiti senza alcun ordine, collegati tra loro da un "intreccio" di strade piuttosto ristrette, risultanti dagli spazi esigui rimasti liberi dall'edificazione.

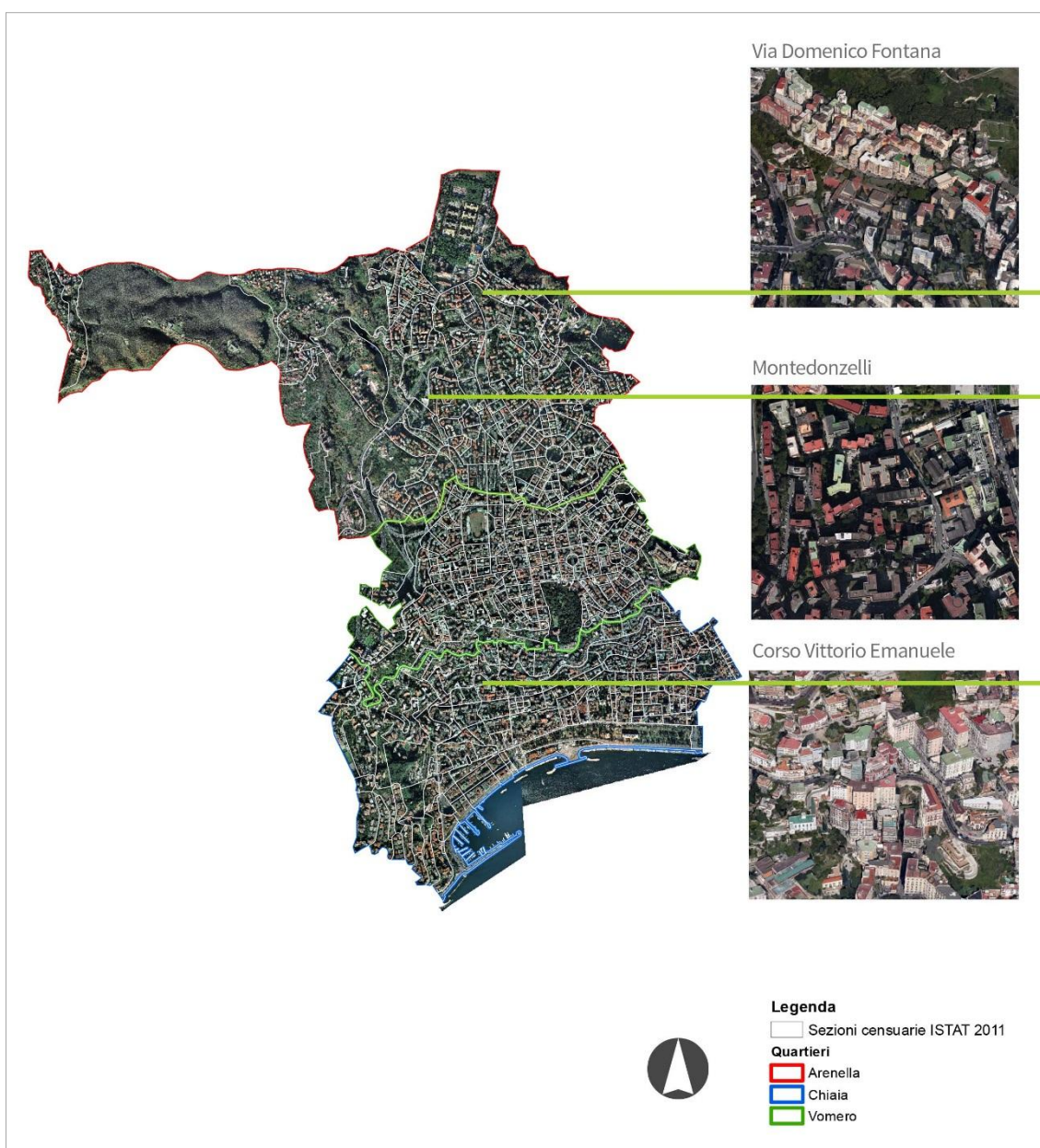


Figura 45: Esempi di differenti tipologie di sezioni censuarie presenti all'interno della classe 1.

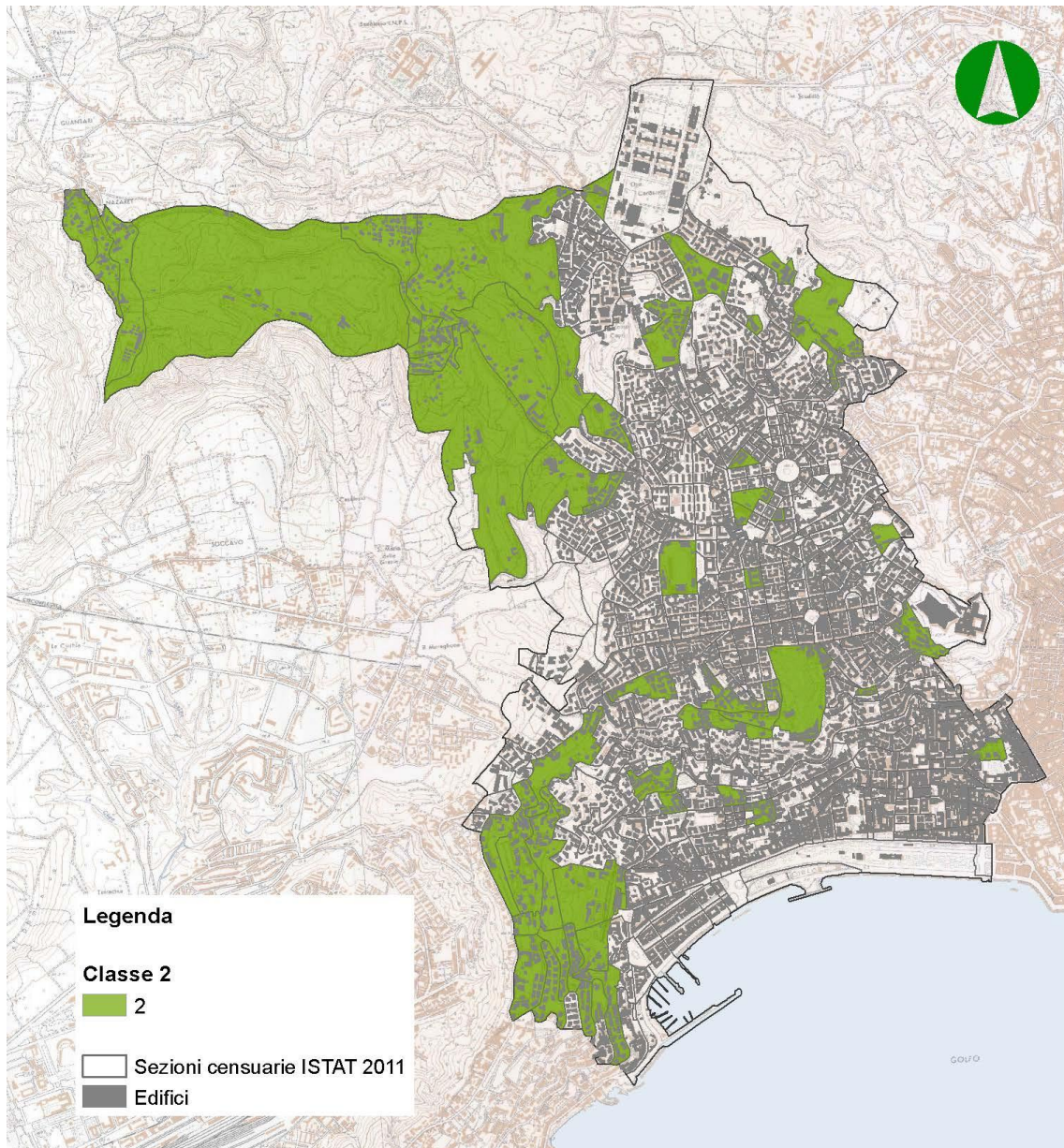
Non a caso appartengono a tale classe la quasi totalità delle sezioni censuarie interne al quartiere Arenella, di formazione più recente, rispetto agli altri due oggetto di studio, comprendendo aree come quelle relative al Rione Alto, adiacente alla zona ospedaliera, al Policlinico e a via Domenico Fontana.

Tutte queste sono aree caratterizzate da un tessuto non pianificato, in cui il processo di edificazione è iniziato come conseguenza della saturazione edilizia del vicino quartiere del Vomero: <<la collina del Vomero aveva raggiunto una congestione edilizia senza alcun equilibrato rapporto tra abitazioni e servizi.

L'espansione di tale quartiere mancava di un sistema viario organico e non era riferita a piani di dettaglio>> (Comune di Napoli 2004).

E' opportuno notare che a tale classe appartengono, sebbene in minima parte, anche sezioni censuarie caratterizzate da un tessuto edilizio antecedente il 1919 e da una struttura urbana pianificata, come quelle del quartiere Chiaia, in ragione della consistenza delle volumetrie. Tale classe, in definitiva, può essere definita come la classe "dell'espansione non regolata".

La classe “Tessuto di pregio”



	Valori che caratterizzano la classe	Valore medio
Densità dell'insediamento	$0,044 < d < 7,15 \text{ mc}$	2,76
IGnR	-	0,84
Altezza edifici	$5,46 < h < 21,4 \text{ m}$	10,87 m
Epoca di costruzione	per lo più dopo il '60	-

L'aspetto peculiare di questa tipologia di aree è rappresentato dalla presenza delle aree verdi che caratterizzano in modo significativo tale classe.

Si tratta di sezioni censuarie contraddistinte fortemente da ampi spazi aperti non costruiti, il valore medio dell'IGnR è infatti prossimo all'unità, e, quindi, da più bassi valori di densità dell'insediamento e di volumetrie, rispetto alle altre tipologie di aree individuate.

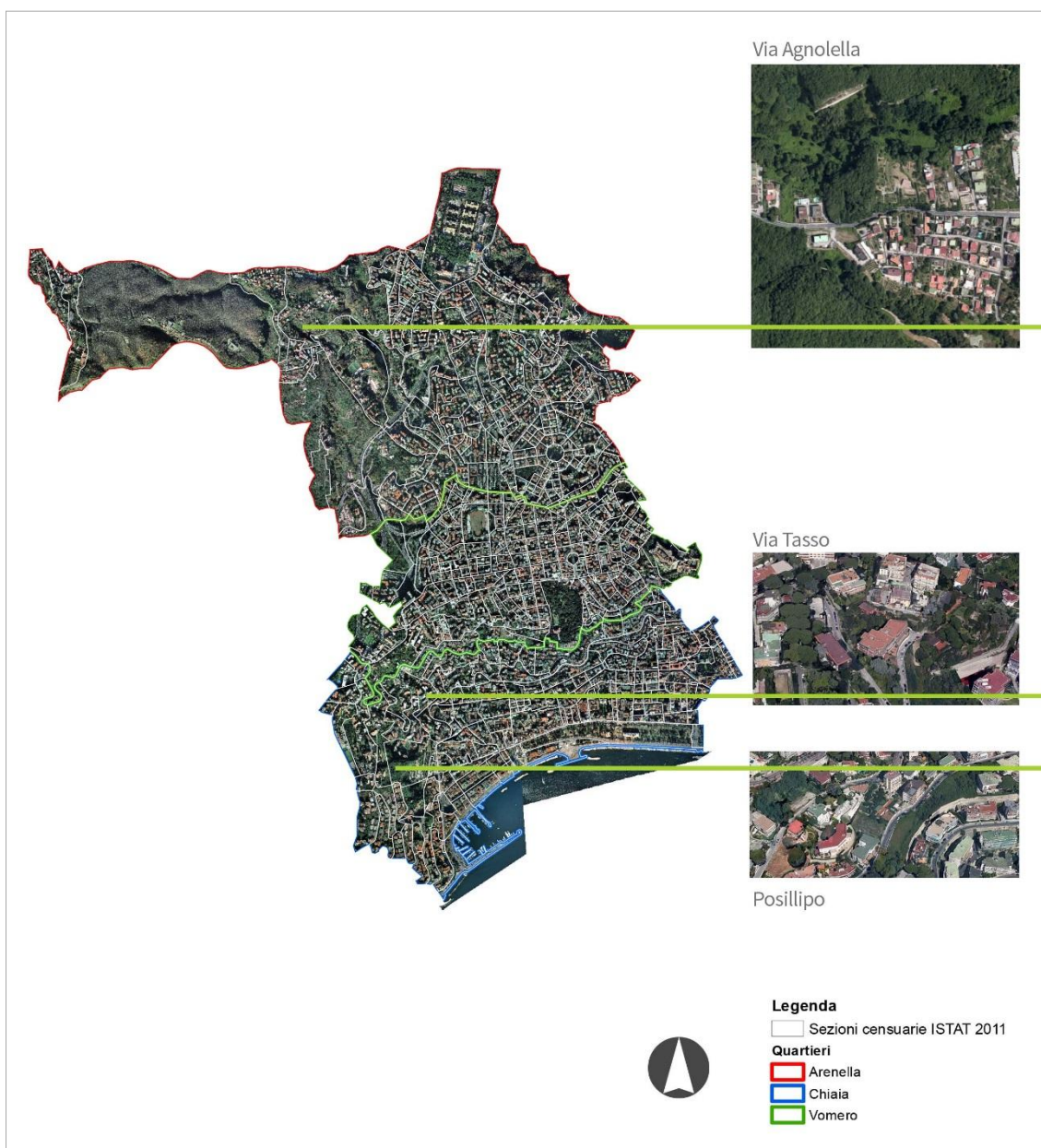


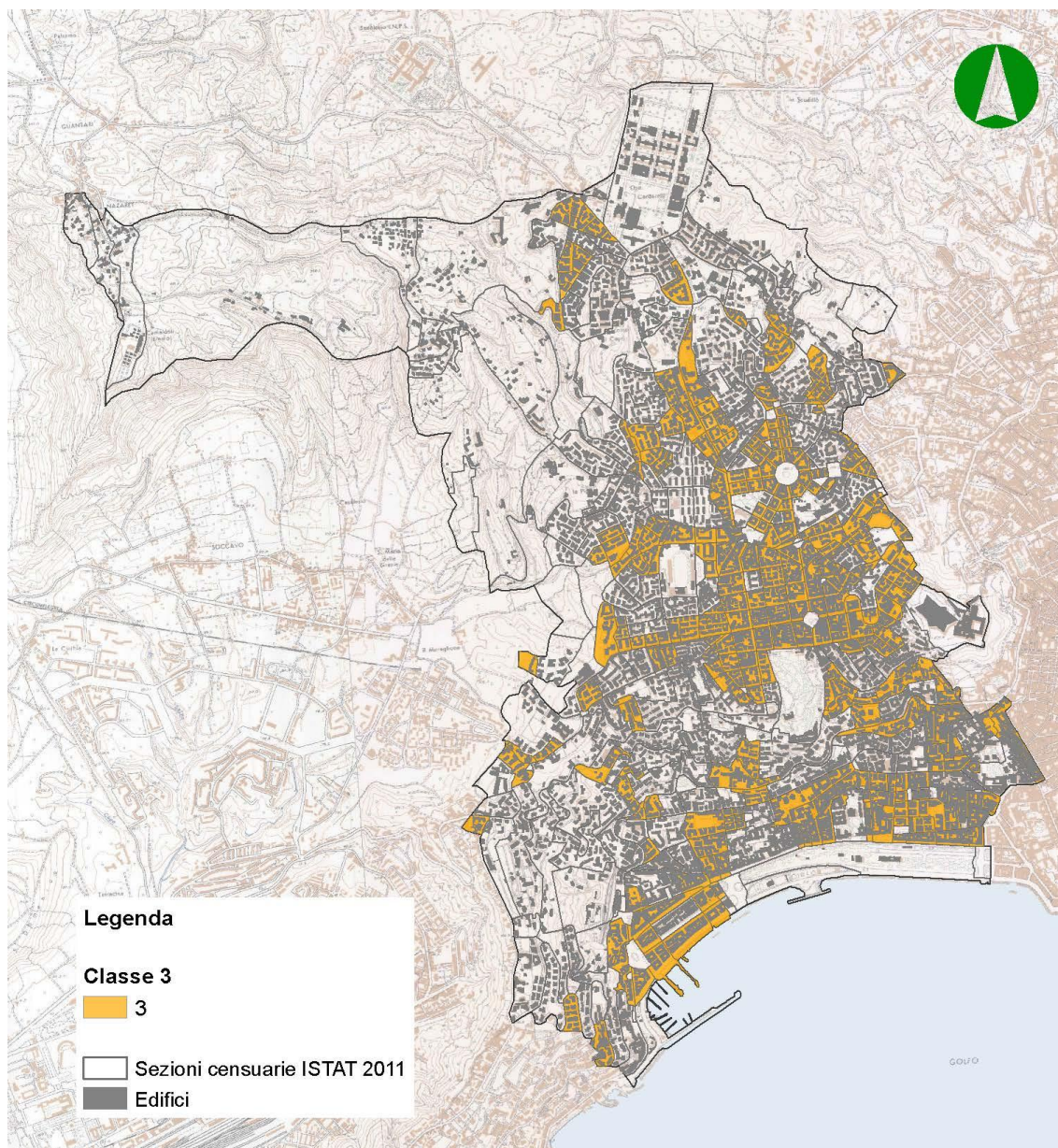
Figura 46: Esempi di differenti tipologie di sezioni censuarie presenti all'interno della classe 2.

In altri termini, le sezioni censuarie appartenenti alla classe 2 sono localizzate soprattutto nei quartieri di Chiaia ed Arenella, ed in particolare sono quelle relative all'area di Posillipo, nel primo caso, e dei Camaldoli, nel secondo caso.

Si tratta di aree in cui l'intenso e non sempre controllato processo edificatorio che caratterizza fortemente quelle appartenenti alla prima classe precedentemente descritta, viene sostituito da un'edilizia residenziale più o meno pregiata che vede il suo inizio soprattutto a partire dagli anni '50, con edifici bassi (circa tre piani) e con un numero di abitazioni tale da garantire un'elevata qualità edilizia ed immobiliare.

Tale classe, in definitiva, può essere definita come la classe del "tessuto di pregio".

La classe “Tessuto pianificato”



	Valori che caratterizzano la classe	Valore medio
Densità dell'insediamento	2,2 < d < 19,5 mc	8,92 mc
IGnR	-	0,16
Altezza edifici	9,8 < h < 32,6 m	19,6m
Epoca di costruzione	per lo più fino al '45	-

La classe 3 è caratterizzata da edifici alti (6 piani in media) e compatti, costruiti soprattutto prima del 1930 e da alti indici di copertura, che indicano un significativo

utilizzo del suolo. Le sezioni censuarie appartenenti a questa classe sembrano essere rappresentative del tessuto compatto e pianificato, realizzato su un disegno unitario. Si tratta in pratica, di “quartieri di fondazione”, ovvero, quartieri che sono stati disegnati e progettati, prevedendo un tessuto a scacchiera, reticolare, come nei casi di Piazza Vanvitelli e Medaglie d’Oro. Non a caso appartengono a tale classe la gran parte delle sezioni censuarie del quartiere Vomero ed anche differenti sezioni del quartiere Chiaia, come quelle di viale Gramsci.

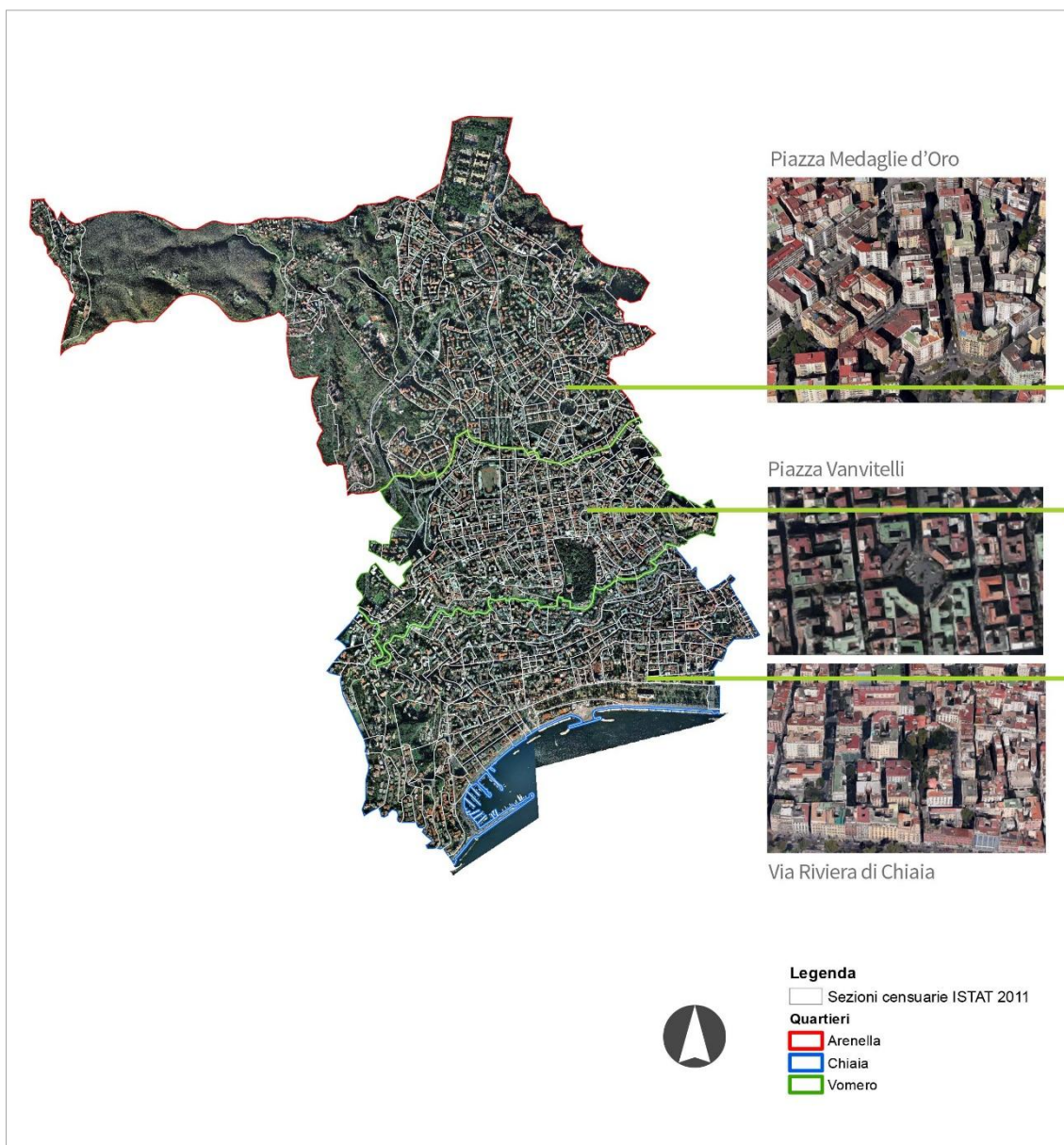


Figura 47: Esempi di differenti tipologie di sezioni censuarie presenti all'interno della classe 3.

Oltre all'edilizia storica, rientra in tale classe anche quella realizzata durante il boom economico, durante gli anni '46 - '60, periodo in cui alla pianificazione dei tessuti urbani si è sostituita una crescita urbana spesso incontrollata, che dall'area centrale del quartiere Vomero si è estesa verso i nuovi rioni all'interno del quartiere Arenella.

All'interno di questa classe sono stati inserite anche quelle sezioni censuarie costituite da un unico edificio localizzato, a sua volta, all'interno di un singolo lotto. Sono prodotti edilizi particolari costruiti prevalentemente prima del 1930 ed in minima parte, nel periodo 1946 - 1960, alti in media 8 piani e poco compatti.

Tale classe, in definitiva, può essere definita come la classe del "tessuto pianificato".

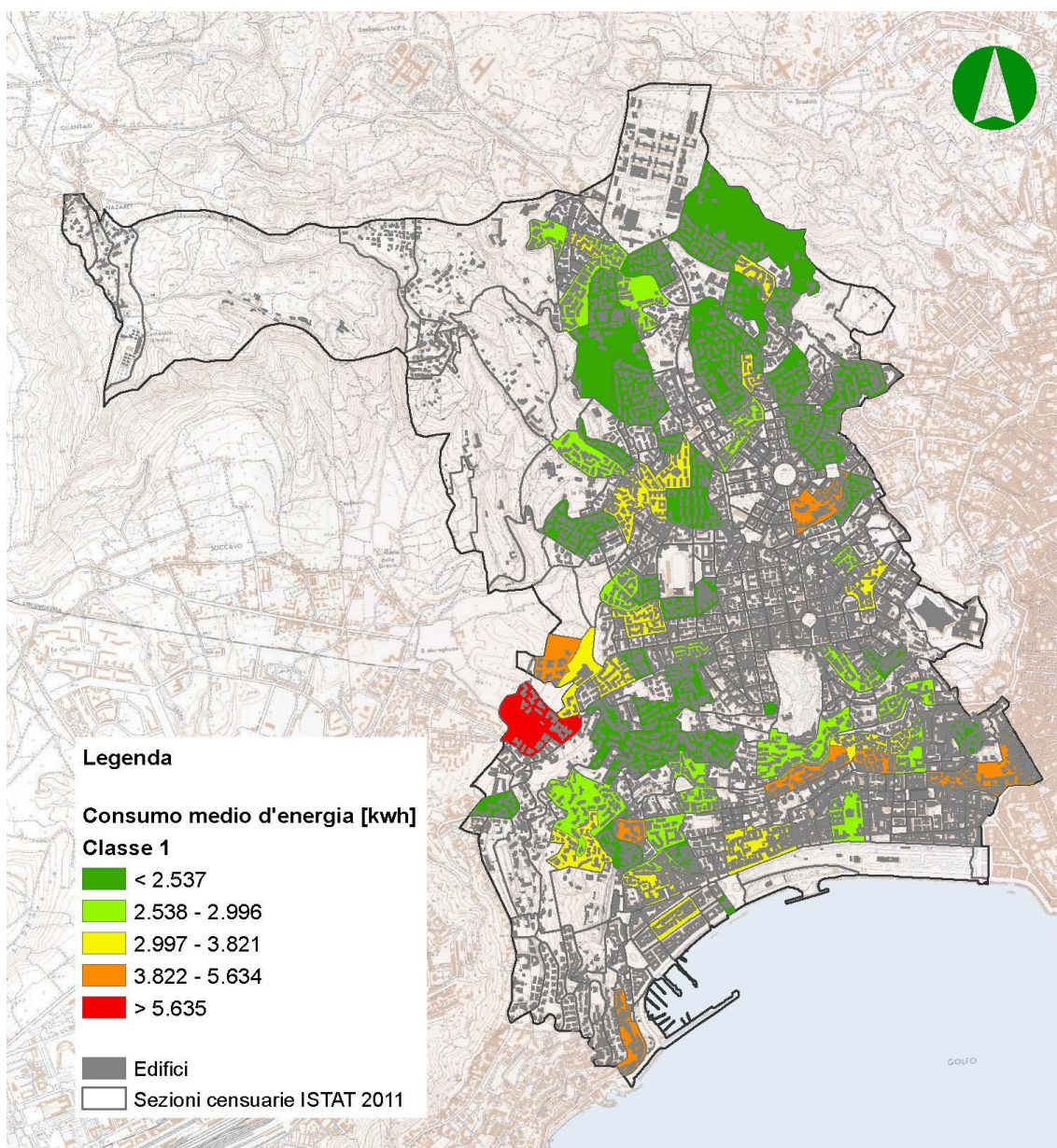
6.5 Le tipologie di area ed i consumi energetici

La messa a sistema delle variabili fisiche, ambientali ed edilizie ha permesso di individuare tre classi di aree all'interno dei quartieri oggetto di studio. Per ognuna di queste tipologie di aree è stata effettuata la comparazione sia con i consumi di energia elettrica che di gas, al fine di individuare le caratteristiche che influiscono maggiormente sui consumi energetici.

In ragione dell'approccio sistemico su cui si basa questo lavoro di ricerca è stata, infatti, effettuata una lettura integrata delle differenti variabili considerate in modo tale da fornire delle prime indicazioni relative agli elementi fisici che più incidono sui consumi energetici. Tale lettura è avvenuta per selezionare le sezioni censuarie che, all'interno di ciascuna classe, presentano consumi medi più elevati. La lettura delle caratteristiche prevalenti che maggiormente sono diffuse nelle aree che appartengono alle classi più elevate di consumo può dare, infatti, indicazioni utili nell'individuazione di interventi urbanistici per la riduzione dei consumi energetici.

In altre parole, l'obiettivo di questo confronto è quello di cercare una "regola" ovvero, individuare un insieme di caratteristiche fisiche, ambientali ed edilizie che accomunano la maggior parte delle sezioni censuarie definite energivore e che, perciò, possono essere considerate di maggiore interesse per la definizione di interventi orientati al risparmio energetico.

La classe “Espansione non regolata” ed i consumi energetici



Classe 1 “espansione non regolata” – consumi di energia elettrica	
% sezioni energivore	11%
Caratteristiche più diffuse delle sezioni energivore	
Densità	Media 0,0025 – 9,9 mc/mq
Altezza edifici	Medio alti almeno 12 m
Presenza di verde	si
clivometria	Bassa 0-150 m s.l.m.

Le sezioni censuarie che all'interno di questa classe presentano consumi elevati di energia elettrica ($>3822\text{kWh/anno}$) sono circa l'11% e la maggior parte nel quartiere Chiaia, un quartiere caratterizzato da bassa clivometria ($<150\text{ m s.l.m.}$).

Questa informazione può già rappresentare una prima indicazione utile, in quanto altre sezioni, a parità di caratteristiche, presentano consumi minori, essendo localizzate in fasce clivometriche più elevate, come ad esempio, le sezioni censuarie vicine l'area del complesso ospedaliero del Cardarelli.

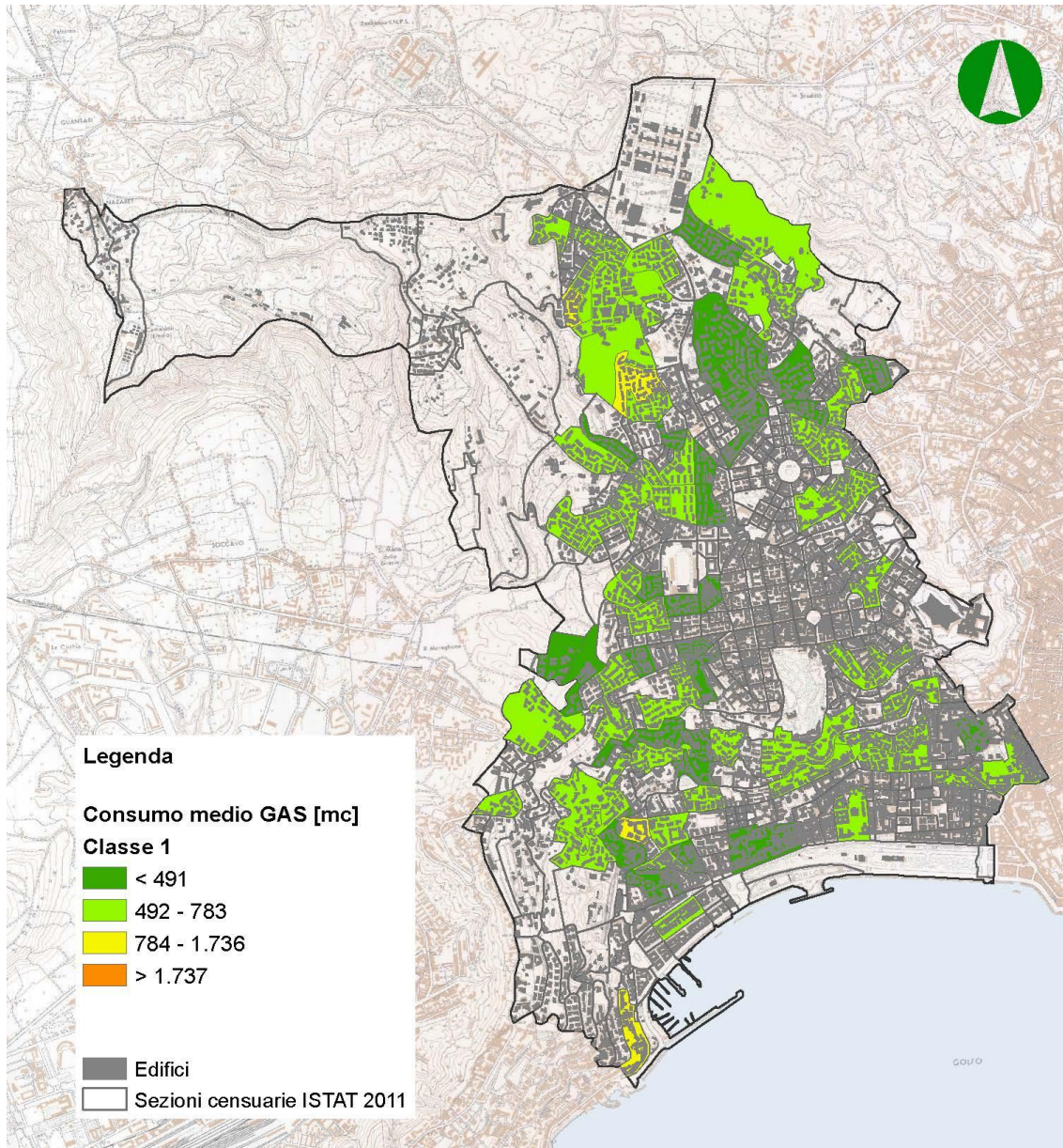
Considerando, inoltre, anche la densità dell'insediamento e l'altezza media, le sezioni energivore sono caratterizzate da una densità dell'insediamento media ($0,0025 - 9,9\text{ mc/mq}$) e da edifici medio alti (almeno 12 m).



Con riferimento alle aree verdi, invece, queste sembrano essere un elemento peggiorativo in termini di consumi, in quanto laddove i consumi di energia elettrica sono elevati, si risente fortemente dell'effetto di raffreddamento del verde.

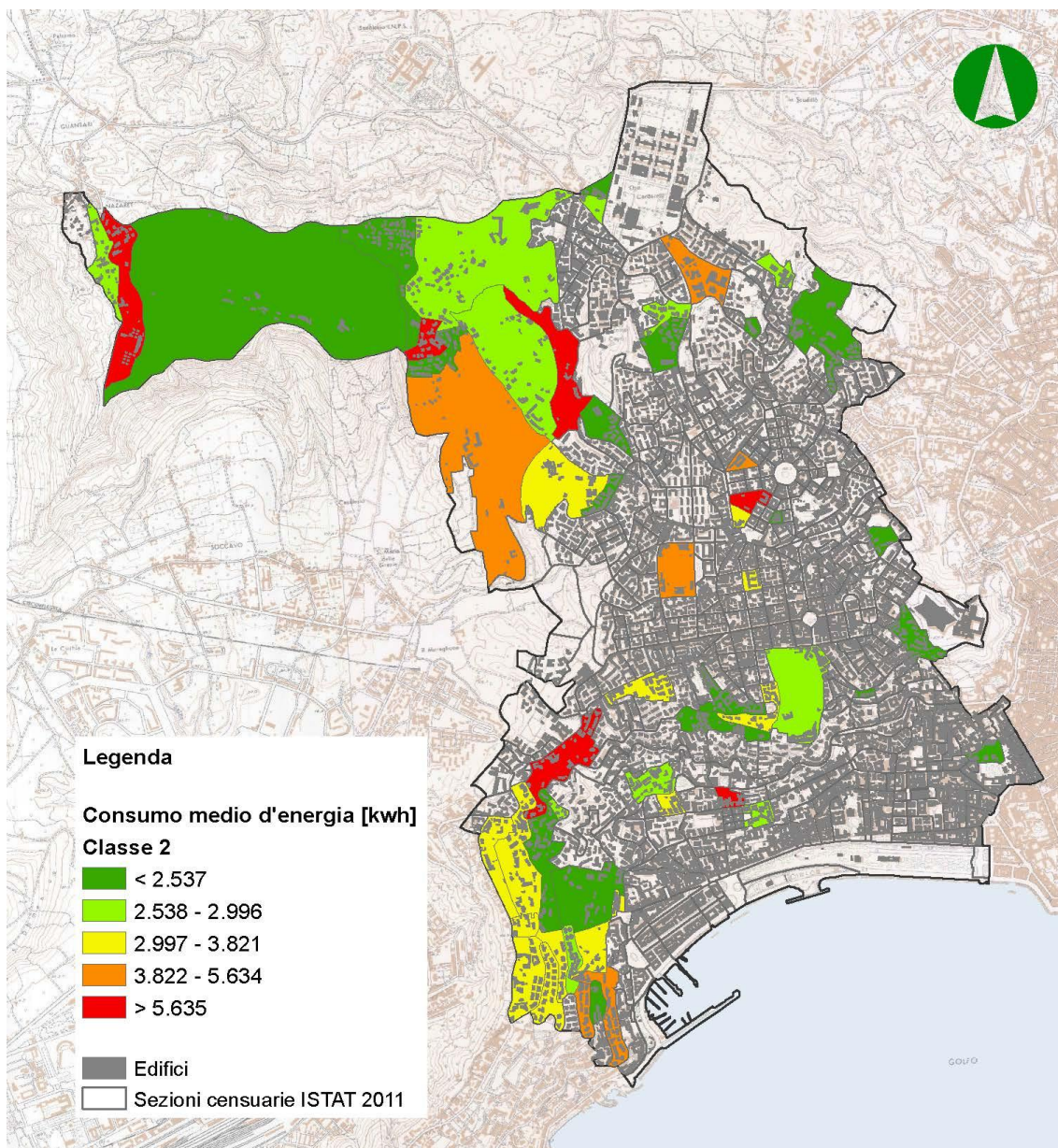
Spostando l'attenzione sulle sezioni censuarie caratterizzate da maggiori consumi di gas la prima evidenza è che solo due delle 10 (20%) sezioni energivore in termini di energia elettrica presentano elevati consumi anche di gas. Inoltre, sembra che le poche sezioni che presentano maggiori consumi di gas, circa il 5%, sono caratterizzate da valori di densità medi dell'insediamento ($4 - 9\text{ mc/mq}$) e da edifici alti almeno 18 m . Anche in questo caso, la presenza delle aree verdi contraddistingue le sezioni energivore in termini di gas.

A differenza di quanto emerso in riferimento ai consumi di energia elettrica, invece, il maggiore consumo di gas non sembra essere influenzato dalla variazione di clivometria.



Classe 1 "espansione non regolata" – consumi di gas	
% sezioni energivore	5%
Caratteristiche più diffuse delle sezioni energivore	
Densità	Media 4 – 9,9 mc/mq
Altezza edifici	Alti almeno 18m
Presenza di verde	si
Clivometria	-

La classe “Tessuto di pregio” ed i consumi energetici



Classe 2 “tessuto di pregio” – consumi di energia elettrica	
% sezioni energivore	27%
Caratteristiche più diffuse delle sezioni energivore	
Densità	Bassa 0,0025 – 7 mc/mq
Altezza edifici	Bassa al massimo 12 m
Presenza di verde	si
clivometria	-

Questa classe è caratterizzata da un maggior numero di sezioni censuarie energivore (27%), in termini di consumi di energia elettrica, rispetto alle altre due tipologie di aree. Tale condizione può essere spiegata in ragione dei bassi valori di densità dell'insediamento (0,002 – 7 mc/mq) e della forte presenza di aree verdi, elementi che contraddistinguono in modo peculiare questa classe e che, soprattutto, rientrano tra quelle caratteristiche a cui sono stati ascritti i maggiori consumi delle sezioni energivore appartenenti alla classe 1.

Le sezioni con consumi elettrici elevati presenti all'interno di questa classe (classe 2) sembrano, inoltre, essere caratterizzate, per la gran parte, da un'altezza degli edifici mediamente bassa (al massimo 12 m).

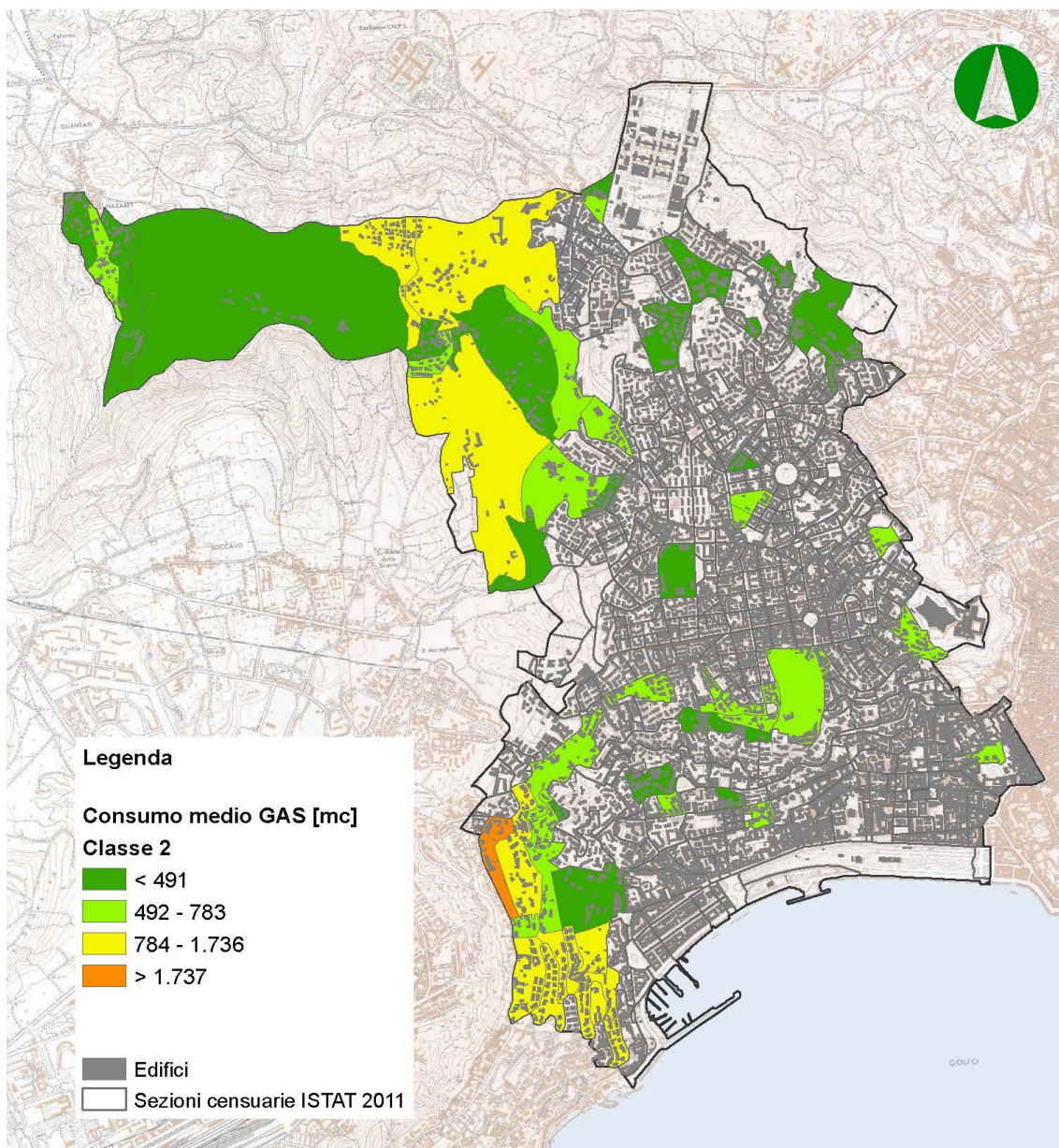


Alcune delle sezioni caratterizzate da consumi elevati di energia elettrica, presentano anche valori mediamente più elevati dei consumi di gas (il 16%). L'aspetto interessante è che tale compresenza di

consumi elevati riguarda quelle sezioni localizzate nelle aree collinari di Posillipo e dei Camaldoli, aree in cui, come detto prima, la forte presenza di verde è associata a valori bassi di densità dell'insediamento.

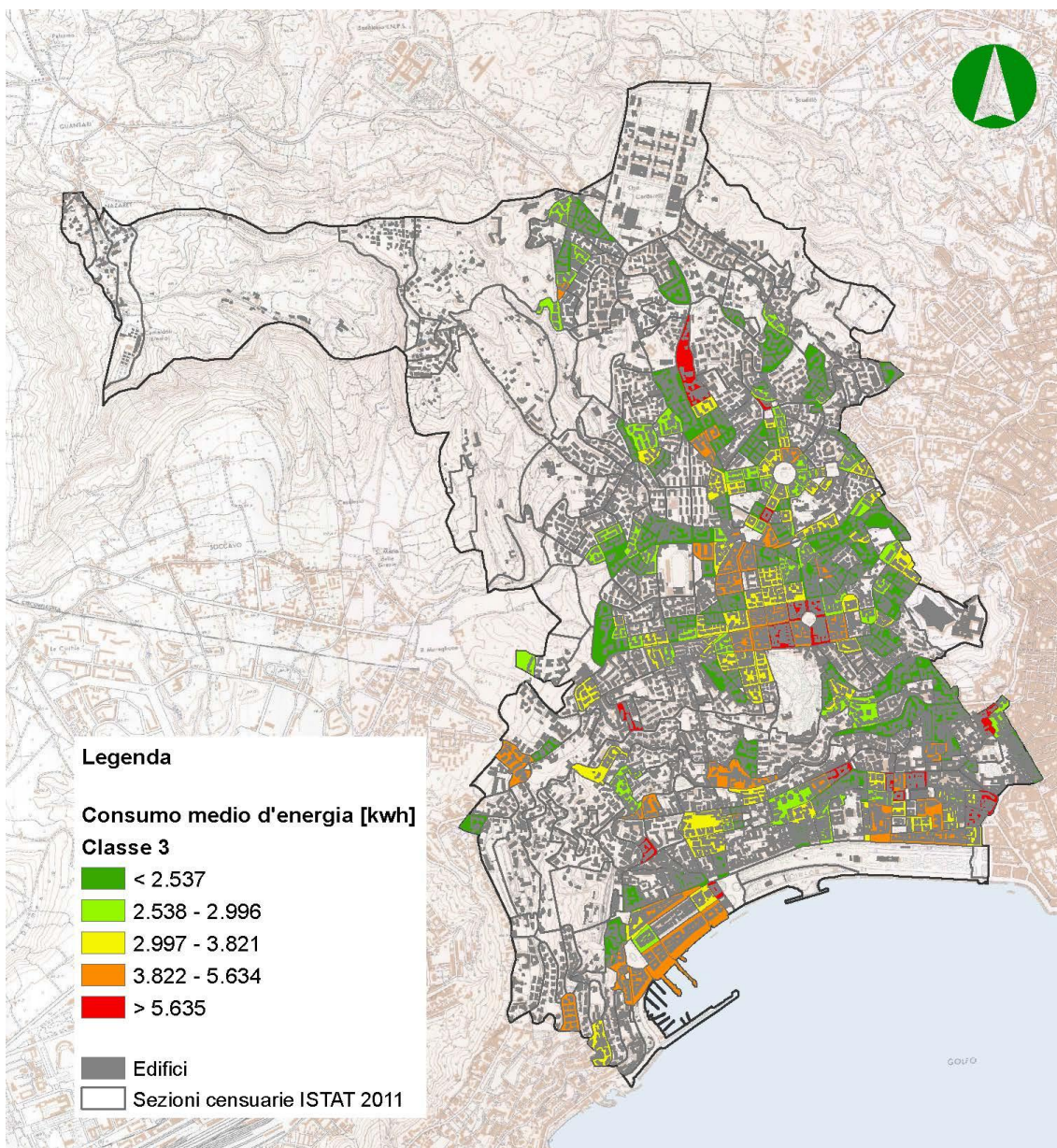
Tale considerazione sembra confermare i numerosi studi secondo cui le aree urbane con bassi valori di densità sono caratterizzate da maggiori consumi energetici (Andrews 2008; Ewing & Rong 2008).

A differenza di quanto emerso per i consumi di energia elettrica della classe 1, per la classe 2 la clivometria sembra non essere significativa.



Classe 2 "tessuto di pregio" – consumi di gas	
% sezioni energivore	8%
Caratteristiche più diffuse delle sezioni energivore	
Densità	Bassa 0,0025 – 7 mc/mq
Altezza edifici	Bassa al massimo 12 m
Presenza di verde	si
clivometria	-

La classe “Tessuto pianificato” ed i consumi energetici



Classe 3 “tessuto pianificato” – consumi di energia elettrica	
% sezioni energivore	24%
Caratteristiche più diffuse delle sezioni energivore	
Densità	Alta >10 mc/mq
Altezza edifici	Alti almeno 18 m
Presenza di verde	no
clivometria	-

Le numerose sezioni censuarie di tale classe che presentano elevati consumi di energia elettrica, il 24%, sono caratterizzate, per la gran parte, da alti valori di densità dell'insediamento (>10 mc/mq) ed anche da edifici alti, per lo più, almeno 18m.

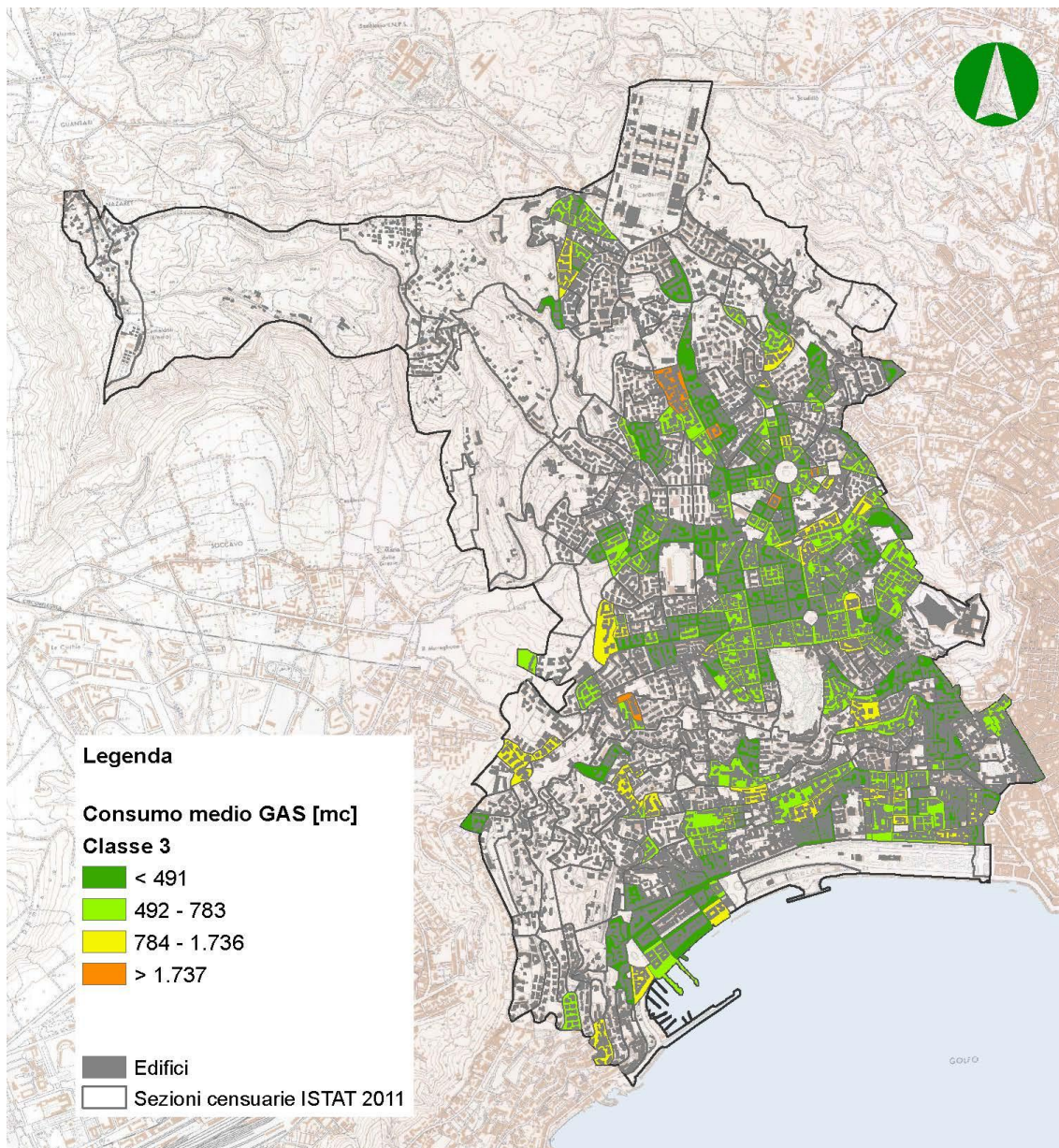
La gran parte di queste sezioni energivore, inoltre, sembrano essere caratterizzate dall'assenza di aree verdi o, comunque, essere localizzate oltre la distanza massima di raffrescamento delle aree verdi contermini.



Questo elemento sembra allora confermare i diversi studi che sostengono l'importanza degli spazi destinati a verde sulla positiva riduzione dei consumi energetici (Akbari *et al.* 2001; Hong Ye *et al.* 2013).

Spostando l'attenzione sulle sezioni censuarie caratterizzate da maggiori consumi di gas la prima evidenza è che 16 delle 24 (66%) sezioni energivore in termini di energia elettrica presentano elevati consumi anche di gas.

Inoltre, sembra che le sezioni che presentano maggiori consumi di gas, il 13%, sono caratterizzate, per lo più, da valori di densità dell'insediamento medio alti (> 7 mc/mq) e da edifici alti almeno 18 m. Si tratta, inoltre, di sezioni, che nella maggior parte dei casi, sono interessate dalle aree di influenza di alcune delle superfici verdi presenti in tale classe e che sono localizzate all'interno del quartiere Chiaia, ovvero, in un'area a bassa clivometria (0 – 150 m s.l.m.).



Classe 3 “tessuto pianificato” – consumi di gas	
% sezioni energivore	13%
Caratteristiche più diffuse delle sezioni energivore	
Densità	Medio alta >7 mc/mq
Altezza edifici	Alti almeno 18 m
Presenza di verde	si
clivometria	Bassa 0-150 m s.l.m.

6.6 Spazio fisico e consumi energetici: questioni aperte e lavoro a farsi

Il lavoro di ricerca descritto in questa tesi ha preso spunto dal crescente interesse che la comunità scientifica e le istituzioni internazionali, nazionali e locali stanno mostrando verso la tematica energetica alla scala urbana.

Nelle attuali sfide energetiche che le città sono chiamate ad affrontare, la disciplina urbanistica riveste un ruolo fondamentale, in quanto consente di definire approcci e dimettere a punto metodologie di intervento per il contenimento dei consumi e per l'efficiamento energetico. Al fine, quindi, di collocare questa tesi all'interno dell'attuale dibattito scientifico e di far emergere il contributo apportato dal lavoro di ricerca svolto, è stato definito lo stato dell'arte della ricerca scientifica sul tema dei consumi energetici alla scala urbana. Questa fase conoscitiva è stata sviluppata nei primi quattro capitoli, partendo dalla descrizione dei processi di urbanizzazione dal punto di vista energetico e delle politiche orientate all'efficienza energetica, per poi illustrare gli approcci ed i modelli sviluppati in letteratura.

Da questa prima fase del lavoro sono emerse le criticità e le incertezze legate alla valenza urbana della questione energetica, nel raggiungimento degli obiettivi europei di sostenibilità ambientale.

In particolare, ciò che è risultato evidente è la mancanza di un approccio teorico, interpretativo ed operativo proprio della disciplina urbanistica, finalizzato alla governance energetica dei sistemi insediativi.

In tale ottica, il lavoro di ricerca ha affrontato la tematica del risparmio energetico alla scala urbana, nello specifico quella di quartiere, da tre prospettive principali: approccio scientifico, impostazione metodologica e procedura operativa.

La definizione di tali elementi, così come del modello interpretativo proposto, è contenuta nel quinto capitolo.

Tale modello interpretativo è la "traduzione in chiave applicativa" dell'approccio sistemico adottato, atto ad individuare quali tra le caratteristiche fisiche, ambientali ed edilizie, possano essere ritenute possibili responsabili dei consumi di energia elettrica e di gas.

Rispetto alle tradizionali ricerche sul legame città – energia, questo lavoro ha introdotto alcuni elementi di innovazione. In primo luogo, il ricorso all'approccio olistico per la conoscenza del sistema urbano in relazione ai consumi energetici.

La scala di applicazione costituisce un secondo elemento innovativo, considerato che la quasi totalità delle sperimentazioni avviene ad una scala di dettaglio come quella edilizia. Alla base della ricerca vi è, infatti, la considerazione che un approfondito ragionamento alla scala di quartiere possa facilitare la difficile interpretazione delle caratteristiche e delle complesse relazioni tra città ed energia.

La messa a punto del modello, infine, è un ulteriore elemento innovativo, in quanto consente di definire ed interpretare, nell'ottica sistemica, le caratteristiche fisiche, ambientali ed edilizie che maggiormente influenzano i consumi di energia elettrica e di gas.

L'intera metodologia di ricerca messa a punto ha permesso di contribuire a chiarire alcune questioni che da tempo catturano l'attenzione degli studiosi.

L'utilizzo degli indici di correlazione per tentare di determinare il legame tra ciascuna variabile fisica, ambientale ed edilizia ed i consumi di energia elettrica e di gas, ha mostrato, nel capitolo sesto, come non sussista alcuna interrelazione con nessuna delle variabili studiate.

	Consumo medio energia elettrica	Consumo medio gas
Densità	-0,031	-0,037
Altezza edifici	-0,026	-0,010
S/V	-0,056	-0,058
indice copertura	-0,026	-0,021
aspect ratio	-0,068	-0,045
GnPr	0,119	0,101
IGnR	0,077	0,093
sup coperta	-0,041	-0,024
edif muratura portante	-0,024	-0,026
edifici calcestruzzo	-0,045	-0,012

Tabella 17: risultati dell'indice di correlazione

Epoca di costruzione degli edifici				
		Somma dei quadrati	Media dei quadrati	Sig.
Media kwh	Fra gruppi	49239044,783	12309761,196	0,371
	Entro gruppi	4439828932,299	11502147,493	
	Totale	4489067977,083		
Media gas	Fra gruppi	7005,370	1751,343	0,993
	Entro gruppi	9975628,630	28021,429	
	Totale	9982634,000		

Tabella 18: risultati dell'ANOVA

In ragione di tali risultati è possibile affermare che considerare singolarmente le variabili relative allo spazio fisico in relazione ai consumi energetici, così come fatto nella pressoché totalità delle ricerche che quasi sempre tengono conto solo di una parte di

esse, non consente di poter comprendere e determinare la reale influenza di tali caratteristiche sui consumi energetici. E' opportuno studiarle non solo nella loro specificità ma, soprattutto, approfondendo le reciproche relazioni tra esse utilizzando, quindi, un approccio di tipo olistico.

Le variabili proposte possono essere, allora, viste solo come un primo tassello nella messa a punto di un più ampio set di parametri con cui definire ed interpretare le relazioni tra le differenti componenti di un sistema urbano, nell'ottica del risparmio energetico.

Sebbene i risultati delle analisi statistiche siano prossimi allo zero e, quindi, come appena descritto, non significativi ai fini dell'interpretazione delle caratteristiche in esame in termini di consumi energetici, è interessante notare che tutte le variabili sono correlate negativamente con entrambe le tipologie di consumi, ad eccezione di quelle legate alle aree verdi caratterizzate da una correlazione positiva. Sembra, quindi, che la presenza delle aree verdi non costituisca un elemento positivo ai fini della riduzione dei consumi energetici, come sostenuto ampiamente in letteratura. Tale constatazione è, comunque, indicativa ed è approfondita di seguito, in relazione ai risultati complessivi ottenuti dal modello interpretativo.

Entrambi gli indici di correlazione hanno evidenziato la scarsa influenza della densità sui consumi energetici. Tale risultato trova riscontro anche nella comparazione tra le mappe relative alla densità dell'insediamento, sia in funzione del soleggiamento estivo che invernale, e quelle dei consumi medi di energia elettrica e di gas.

Con riferimento alla radiazione solare estiva, poche sono le corrispondenze tra le classi individuate dei consumi e quelle delle densità. Al contrario di quanto ipotizzato sulla base dello studio della letteratura scientifica di riferimento, le sezioni censuarie a densità alta (quarta e quinta classe) non sono caratterizzate da bassi consumi, in ragione delle minori temperature delle superfici esterne degli edifici, e lo stesso accade per quasi tutte le sezioni a bassa densità per le quali si erano ipotizzati consumi più elevati a causa delle maggiori temperature. Considerazioni analoghe valgono per i consumi di gas.

In altri termini, il confronto tra queste mappe, se da un lato fa intuire la forte variabilità dei consumi energetici, visto che la loro distribuzione all'interno dei tre quartieri risulta essere molto variegata e frammentata, dall'altro permette di affermare che la sola densità non è sufficiente per interpretare il fenomeno energetico.

Sebbene la densità non possa essere tralasciata quando si effettuano studi sulle relazioni tra sistema urbano e consumi energetici, in quanto fornisce informazioni utili per capire la struttura del sistema, essa non rappresenta l'elemento fisico determinante dei consumi. In altri termini, la trattazione della tematica energetica a scala di quartiere

e, quindi, a maggiore ragione a scala urbana dove le relazioni sono ancora più complesse, non può avvenire riducendo il tutto in termini esclusivamente di densità dell'insediamento.

L'eccessiva semplificazione che tende, quindi, a caratterizzare le ricerche relative ai consumi energetici a scala urbana, in particolare quelli relativi alla forma ed alla dimensione delle città, che studiano i parametri in gioco in maniera indipendente tra loro, è stata affrontata in tale lavoro di ricerca, ma si è tentato di superarla attraverso una lettura integrata delle differenti variabili considerate al fine di individuare quali caratteristiche fisiche, ambientali ed edilizie influiscono maggiormente sui consumi sia di energia elettrica che di gas. Tali caratteristiche sono state definite per ciascuna delle tre classi di aree in cui sono stati articolati i quartieri oggetto di studio, in ragione delle variabili che accomunano la maggior parte delle sezioni censuarie definite energivore.

La classe 1 è caratterizzata da edifici costruiti successivamente agli anni '60, alti almeno quattro piani e da valori di densità dell'insediamento medi. Queste caratteristiche sembrano contraddistinguere sia le sezioni energivore dal punto di vista dell'energia elettrica, che del gas, a meno dell'altezza degli edifici più diffusamente elevata in riferimento alla seconda tipologia di consumi.

La presenza delle aree verdi può rappresentare un ulteriore elemento a cui attribuire i maggiori consumi delle sezioni energivore in termini di energia elettrica e di gas.

La classe 2 è fortemente connotata da una variabile fisica e da una ambientale: la densità dell'insediamento, caratterizzata da bassi valori, e la considerevole presenza di aree verdi. Queste caratteristiche, unitamente ad edifici costruiti per lo più dopo il 1960 ed alti circa tre piani ed una localizzazione per lo più collinare, possono essere individuati come gli elementi che influiscono sui consumi delle sezioni energivore sia in termini di energia elettrica che di gas.

La classe 3, infine, è caratterizzata da edifici alti almeno sei piani, per lo più compatti e costruiti prima del 1945, ovvero, edilizia storica. Queste caratteristiche accomunano sia le sezioni energivore dal punto di vista dell'energia elettrica, che del gas, a differenza invece delle aree verdi che sembrano essere un elemento peggiorativo solo in riferimento ai consumi di gas.

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche delle sezioni energivore appena descritte:

Consumi di energia elettrica			
	Classe 1 espansione non regolata	Classe 2 tessuto di pregio	Classe 3 tessuto pianificato
% sezioni energivore	11%	27%	24%
Caratteristiche più diffuse delle sezioni energivore			
Densità	Media	Bassa	Alta
Altezza media edifici	Medio alta	Bassa	Alta
Presenza di aree verdi	Si	Si	No
Clivometria	Bassa	-	-

Consumi di gas			
	Classe 1 espansione non regolata	Classe 2 tessuto di pregio	Classe 3 tessuto pianificato
% sezioni energivore	5%	8%	13%
Caratteristiche più diffuse delle sezioni energivore			
Densità	Media	Bassa	Medio alta
Altezza media edifici	Alti	Bassa	Alta
Presenza di aree verdi	Si	Si	Si
Clivometria	-	-	Bassa

Tabelle 19 a e 19b: riepilogo delle caratteristiche delle sezioni censuarie energivore per ciascuna classe di aree

La comparazione qualitativa tra le caratteristiche fisiche, edilizie ed ambientali che sembrano influire sui consumi di energia elettrica e di gas, permette di effettuare le seguenti considerazioni:

- A bassi valori di densità dell'insediamento ed edifici bassi si associano valori più elevati di consumi di energia elettrica e di gas. Le ragioni di tali livelli di consumo trovano corrispondenza nei numerosi studi secondo cui le porzioni di territorio urbano poco edificate presentano consumi energetici più elevati, in quanto si tratta di residenze di dimensioni notevoli (villette a schiera) che richiedono maggiori quantitativi di energia per i differenti usi finali (riscaldamento, raffreddamento, etc.) e che, essendo localizzate in modo disaggregato sul territorio, hanno maggiori superfici esterne disperdenti e, quindi, richiedono maggiori quantità di energia.

La forte presenza di spazi verdi in aree aventi queste caratteristiche di densità dell'insediamento e di altezza degli edifici, se da un lato fa emergere la sua influenza negativa in termini di consumi di gas, in ragione di una probabile maggiore umidità che tende a far utilizzare maggiormente il riscaldamento invernale, dall'altro sembra non trovare corrispondenza in quegli studi che sostengono l'effetto positivo degli spazi verdi sulla riduzione delle temperature e quindi sul contenimento dei consumi energetici.

- A densità dell'insediamento mediamente alte ed edifici alti si associano più elevati consumi di energia elettrica e di gas. Se tali livelli di consumi sono dovuti anche al fatto che queste caratteristiche sono proprie di quelle porzioni delle aree urbane dove vi è una forte presenza del costruito e, quindi, di attività ed utenti, è comunque possibile presupporre che tali caratteristiche possano determinare elevati consumi di energia elettrica ascrivibili alla maggiore necessità di illuminazione artificiale e di condizionamento estivo, così come alti consumi di gas legati al maggiore effetto di ombreggiamento e, quindi, alle più basse temperature, in ragione dell'effetto barriera determinato dalla vicinanza degli edifici.

All'interno di porzioni di aree urbane aventi queste caratteristiche di densità dell'insediamento e di altezza degli edifici l'influenza degli spazi verdi sui consumi energetici non è di facile determinazione.

In realtà le considerazioni appena esposte sembrano suggerire che i maggiori consumi di energia elettrica e di gas presenti all'interno di alcune sezioni censuarie dei tre quartieri oggetto di studio non dipendano in maniera univoca dalle variabili considerate. Densità alta o bassa, così come presenza o assenza del verde ed altezza degli edifici elevata o bassa influiscono in maniera diversa sui consumi energetici e, quindi, la possibilità di individuare una forma urbana sostenibile "ideale", che sia in grado di massimizzare l'efficienza energetica, resta ancora teorica (Doherty *et al.*, 2009). Questi risultati impongono una seria riflessione sulla validità dell'ambizioso obiettivo di individuare un modello unico che metta in relazione forma urbana e consumi energetici, aprendo la possibilità ad una riformulazione di tale obiettivo che si basi sull'ipotesi che esistano, non uno, bensì diversi modelli di consumo in ragione delle differenti caratteristiche fisiche, ambientali ed edilizie dei diversi ambiti urbani.

In conclusione, la scelta di adottare un approccio di tipo olistico-integrato anziché uno di tipo settoriale, e di considerare la scala di quartiere anziché quella edilizia ha permesso di approfondire il tema del rapporto città-energia tenendo conto

contemporaneamente di molte caratteristiche dello spazio fisico; questo tipo di approccio ha confermato la complessità delle relazioni esistenti tra tali caratteristiche ed i consumi energetici e, quindi, l'inadeguatezza dell'utilizzo di un approccio settoriale, i cui risultati risultano essere poco aderenti a quelli precedentemente descritti. Inoltre, se insieme alle caratteristiche fisico-ambientali si considerano anche quelle di tipo economico e sociale, il rapporto tra spazio urbano e consumo di energia risulta ancor più complesso e multidimensionale, e la definizione di una soluzione unica capace di interpretare il rapporto tra città ed energia appare quanto mai ardua, come, d'altra parte, già nel 2009, avevano affermato Doherty *et al.*

Di conseguenza, la possibilità di individuare dei suggerimenti, universalmente validi, per i decisori politici che vogliano attuare interventi orientati al risparmio energetico in ambito urbano sembra quanto mai problematica; come precedentemente descritto, infatti, è necessaria una approfondita conoscenza delle caratteristiche dello spazio urbano su cui intervenire per poter individuare le complesse relazioni tra tali caratteristiche e i consumi energetici.

La natura complessa e multidimensionale sia della questione energetica che dei sistemi urbani fornisce numerosi ed interessanti spunti per gli sviluppi futuri del lavoro di ricerca.

In primo luogo uno dei possibili temi di approfondimento è ampliare l'applicazione del modello interpretativo ad un'intera area urbana, includendo variabili diverse, come ad esempio quelle che descrivono la specializzazione funzionale, le caratteristiche climatiche e le abitudini di spostamento degli utenti.

Un ulteriore punto di interesse potrebbe essere l'approfondimento del ruolo delle aree verdi sui consumi di energia elettrica e di gas, in quanto i risultati emersi da questo lavoro di ricerca appaiono non sufficientemente chiari.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Capitolo 1

Alberti M. (1999). Urban Patterns & Environmental Performance: What Do We Know? *Journal of Planning Education & Research*, 19(2).

Beaumont J.R., Clarke M. & Wilson A.G. (1981). Changing energy parameters & the evolution of urban spatial structure. *Regional Science & Urban Economics*, 11.

Biocca D. (1987). L'evoluzione dei sistemi urbani e il futuro delle città. *Studi Storici*, 2.

BP (2013). BP ENERGY OUTLOOK 2030.

Bridge G. (2010). Geographies of peak oil: the other carbon problem. *Geoforum*, 41.

Burgess E. W. (1924). The growth of the City: an introduction to a research project. *Publications of the American Sociological Society*, 18.

Burgess R. (2000). The compact city debate: a global perspective. In Jenks M., Burgess R. (Ed.) *Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries*, New York: Spon Press.

Cheng B. S. (1996). An Investigation of Cointegration & Causality Between Energy Consumption & Economic Growth. *Journal of Energy & Development*, 21 (1).

Davis J. C. & Henderson J. V. (2003). Evidence on the political economy of the urbanization process. *J. Urban Econ.*, 53(1).

De Pascali P. (2008). *Città ed energia. La valenza energetica dell'organizzazione insediativa*. Franco Angeli.

Douglas I. (2013). *Cities: An Environmental History*. London: I. B. Tauris & Co. Ltd.

Fan Y., Liu L. C., Wu G. & Wei Y.-M. (2006). Analyzing impact factors of CO₂ emissions using the STIRPAT model. *Environmental Impact Assessment Review*, 26.

- Fistola R. & Mazzeo G. (2009). *Evoluzione e Morfogenesi Urbana*. In Papa R. (Ed.) *Il governo delle trasformazioni urbane e territoriali*, Milano: FrancoAngeli/Urbanistica.
- Forman R. T. (1995). *L& Mosaics - The Ecology of L&scapes & Regions*. Cambridge University Press.
- Fujita M., Krugman P. & Venables A. J. (1999). *The Spatial Economy, Cities, Region & International Trade*. Cambridge MA: MIT Press USA.
- Glaeser E. L. (1998). Are cities dying? *J. Econ. Perspect.*, 12(2).
- Gordon P. & Richardson H. W. (1997). Are Compact Cities a Desirable Planning Goal? *Journal of the American Planning Association*, 63(1).
- Grubler A. & Buettner T. (2013). Urbanization past & future. In Grubler A. e Fisk D. (Ed.) *Energizing Sustainable City – Assessing Urban Energy*, New York: Routledge.
- Halicioglu F. (2007). Residential electricity density dynamics in Turkey. *Energy Economics*, 29.
- Hayashi Y. (1996). Economic development & its influence on the environment: urbanization, infrastructure & land use planning systems. In Hayashi Y. e Roy J. R. (Ed.) *Transport, land use & the environment*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Holtedahl P. & Joutz F. (2004). Residential electricity demand in Taiwan. *Energy Economics*, 26(2).
- Huber J. (1982). *Die verlorene Unschuld der Ökologie. Neue Technologien und superindustriellen Entwicklung*. Frankfurt am Main, Fischer.
- IEA (2010). *World Energy Outlook 2010*, OECD-IEA.
- IEA (2011). *World Energy Outlook 2011*, OECD-IEA.
- IEA (2014). *Medium term oil market report*.
- Imai H. (1997). The effect of urbanization on energy consumption. *Journal of Population Problem*, 53(2).
- Jänicke M. (1985). *Preventive Environmental Policy as Ecological Modernization and Structural Policy*. Berlin: Berlin Science Center.
- Jenks M., Burton E. & Williams K. (1996). *The Compact City: A Sustainable Urban Form?* New York: E & FN Spon.

- Jones D. (1989). Urbanization & energy use in economic development. *The Energy Journal*, 10(4).
- Jones D. (1991). How urbanization affects energy use in developing countries. *Energy Policy*, 19.
- Kenworthy JR. & Laube FB. (1996). Automobile dependence in cities: an international comparison of urban transport & land use patterns with implications for sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 16(4–6).
- Keyes D.L. (1983). Reducing travel & fuel use through urban planning. In Burchell R.W. e Listokin D. (Ed.) *Energy & land use*, New Brunswick: Rutgers University Press,.
- Krugman P. (1991). Increasing returns & Economic Geography. *Journal of Political Economy*, 99(3).
- Laconte P., Gibson J. E. & Rapoport A. (1982). *Human & Energy Factors in Urban Planning: A Systems Approach*. New York: Springer,.
- Lampard E. E. (1965). Historical aspects of urbanization. In Hauser P. M. e Schnore L. F. (Ed.) *The study of urbanization*, New York.
- Lariviere I. & Lafrance G. (1999). Modelling the electricity consumption of cities: effect of urban density. *Energy Economic*, 21(1).
- Liddle B. & Lung S. (2013). Might Electricity Consumption Cause Urbanization Instead? Evidence from Heterogeneous Panel Long-Run Causality Tests, Forthcoming *Global Environmental Change*.
- Littler J. & Thomas R. (1985). *Design with Energy*. Cambridge University Press.
- Liu Y. (2009). Exploring the relationship between urbanization & energy consumption in China using ARDL & FDM. *Energy*, 34.
- Living Cities (2010). *Green Cities: How Urban Sustainability Efforts Can & Must Drive America's Climate Change Policies*, Living Cities.
- Lohmann L. (2009). Climate as investment. *Development & Change*, 40 (6).
- Lynch K. (1961). *Good City Form*. Cambridge: The MIT press,.
- Maugeri L. (2006). *L'era del petrolio*. Milano: Feltrinelli.
- McGranahan G., Jacobi P., Songsore J., Surjadi C. & Kjellen M. (2001). *The Citizen at Risk: From Urban Sanitation to Sustainable Cities*. London: Earthscan.

- Mega V. P. (2005). *Sustainable development, energy & the city: a civilization of concepts and actions*. USA: Springer.
- Moccia F. D. & Sgobbo A. (2012). *Edilizia residenziale eco-sociale*. In Colombo L. *Città energia, atti del convegno nazionale*.
- Mol A. P. J. (2005). *La governance dell'informazione e la tutela dell'ambiente*. Sociologia e politiche sociali, Milano: FrancoAngeli,.
- Mol A.P.J. & Spaargaren G. (2000). Ecological modernization theory in debate: a review. *Environmental Politics*, 9(1).
- Montgomery M. R., Stren R., Cohen B., & Reed H. E. (2003). *Cities Transformed, Demographic Change in Its Implications in the Developing World*. Washington, D. C.: National Academies Press.
- Mumford L. (1961). *The City in History: Its Origins, Its Transformations, & Its Prospects*. New York: R&om House.
- Newman PWG & Kenworthy JR. (1989). *Cities & automobile dependence: a sourcebook*. Gower Technical Aldershot, UK.
- Nuvolati G. (2011). *Lezioni di Sociologia urbana*. Bologna: Il Mulino.
- Owens S. (1986). *Energy, planning & urban form*. Londra: Peon.
- Pacione M. (2009). *Urban geography – a global perspective*. New York: Routledge.
- Parikh J. & Shukla V. (1995). Urbanization, energy use & greenhouse effects in economic development. *Global Environmental Change*, 5(2).
- Poumanyong P. & Kaneko S. (2010). Does urbanization lead to less energy use & lower CO₂ emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(210).
- Rifkin J. (2002). *Economia all'idrogeno*. Milano: Mondadori.
- Rudlin D. & Falk N. (1999). *Building the 21st Century Home: The Sustainable Urban Neighborhood*. Oxford: Architectural Press.
- Sassen S. (2006) *Cities in a World Economy*. Sage, Thous& Oaks, Calif.
- Seto K. C., Guneralp B. & Hutyrá L.R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 & direct impacts on biodiversity & carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*.
- Sjoberg G. (1960). *The preindustrial city*. New York.

Stone P.A. (1973). *The structure, size and costs of urban settlements*. UK: Cambridge University Press.

Torres M. (2002). *Luoghi magnetici. Spazi pubblici nella città moderna e contemporanea*. Milano: Franco Angeli.

Turner B. L. (1990). *The Earth as Transformed by Human Action*. New York: University of Cambridge.

UK Energy Research Centre (2009). *The Global Oil Depletion Report*. London.

UN Commission on Population & Development (2008). *World population monitoring, focusing on population distribution, urbanization, internal migration - Report of the Secretary-General & development*. New York, USA.

UN HABITAT (2006). *The state of the world's cities report 2006/2007*. UK: Earthscan.

UN HABITAT (2008). *State of the world's cities 2008/2009 - Harmonious cities*. UK: Earthscan

UN Population Division (2011). *World Population Prospects - The 2010 revision*. New York.

UN Population Fund (2007). *State of the World Population 2007. Unleashing the Potential of Urban Growth*. New York.

USGS (2000). *World Petroleum Assessment*. Washington, DC.

Capitolo 2

Camagni R. (2012). Città, governance urbana e politiche urbane europee. *disP - The Planning Review*, 39(152).

CE (2011). *Integrated Sustainable Urban Development - Cohesion Policy 2014-2020*.

CE (2014). *Sviluppo urbano sostenibile integrato – politica di coesione*.

ENEA (2013). *Rapporto annuale efficienza energetica 2012*.

IPCC (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.

Moccia F. D. (2013). Resources and energy management: the case of the Agropoli urban plan. *TeMA Journal of land-use, mobility and environment*, 6(2).

Ministero Sviluppo Economico (2014). Relazione annuale sull'efficienza energetica, Risultati conseguiti al 2012 e obiettivi al 2020.

Papa R., Gargiulo C. & Zucaro F. (2014). Climate Change and Energy Sustainability. Which Innovations in European Strategies and Plans. *TeMA Journal of land-use, mobility and environment*, special issue, ISSN 1970-9889.

REF-E & WWF (2012). Obiettivo 2050 - Per una roadmap energetica al 2050, rinnovabili, efficienza, decarbonizzazione.

UE (2002). Direttiva n° 91 sul rendimento energetico nell'edilizia.

UE (2010). Direttiva n° 31 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

UE (2011). Città del futuro – sfide, idee, anticipazioni.

Verones S. & Zanon B. (2012). *Energia e pianificazione urbanistica – verso un'integrazione delle politiche urbane*. Milano: FrancoAngeli.

Zanon B. & Verones S. (2013). Climate change, urban energy and planning practices: Italian experiences of innovation in land management tools. *Land use policy*, 32.

Capitolo 3

Altshuler A. (1980). *The Urban Transportation System*. M.I.T. Press

Andrews C. J. (2008). Greenhouse gas emissions along the rural-urban gradient. *Journal of Environmental Planning and Management*, 51(6).

Baker N. & Steemers K. (2000). *Energy and Environment in Architecture: A technical design guide*. London: E & FN Spon.

Breheny M. (1995). The compact city and transport energy consumption. *Transactions of the institute of british geographers*, 20(1).

Burchell R.W., Lowenstein G., Dolphin W.R., Galley C.C., Downs A., Seskin S., Still K.G. & Moore T. (2002). *Costs of Sprawl – 2000 Report 74*. Washington: (TCRP) Transportation Research Board.

CE (2008). Risoluzione n°269 “Carta urbana europea II - Manifesto per una nuova urbanità”.

Chen H., Jia B. & Lau S. (2008). Sustainable urban form for Chinese compact cities: Challenges of a rapid urbanized economy. *Habitat International*, 32(1).

De Pascali P. (2008). *Città ed energia. La valenza energetica dell'organizzazione insediativa*. Franco Angeli.

- Echenique M.H., Hargreaves A.J., Mithcell G. & Namdeo A. (2014). Growing Cities Sustainably. *Journal of the American Planning Association*.
- Ewing R. & Rong F. (2008). The impact of urban form on US residential energy use. *Housing Policy Debate*, 19(1).
- Frey H. (1999). *Designing the city: Towards a more sustainable urban form*. Londra: E & FN Spon.
- Givoni B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John wiley and sons.
- Holden E. & Norland I. T. (2005). Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater Oslo region. *Urban Studies*, 42 (12).
- Jabareen Y. (2006). Sustainable urban forms: Their typologies, models, and concepts. *Journal of Planning Education and Research*, 26(1).
- Jenks M., Burton E. & Williams K. (eds) (2000). *Compact cities: The compact city a sustainable urban form?* Londra: E & FN Spon.
- Jenks M. & Burgess R. (2000) *Compact cities: Sustainable urban forms for developing countries*. Londra: E & FN Spon
- Kolokotroni M. & Giridharan R. (2008). Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. *Solar Energy*, 82(11).
- Li X., & Yeh A. G. O. (2004). Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. *Landscape Urban Planning*, 69(4).
- Martin L. & March L. (eds) (1972). *Urban space and structures*. Cambridge: University Press.
- McLoughlin J. B. (1973). *La pianificazione urbana e regionale*. Padova: Marsilio.
- Newman P. & Kenworthy J. R. (1989). *Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook*. Aldershot: Gower Publishing Company.
- Neuman M. (2005). The compact city fallacy. *Journal of Planning Education and Research*, 25.
- Oke T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8).

- Oke T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108.
- Oke T.R. (1981). Canyon geometry and nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of climatology*, 1.
- Owens S. E. (1986). *Energy, planning and urban form*. Londra: Pion Limited.
- Owens S. E. (1992). Land-use planning for energy efficiency. *Applied Energy*, 43(1-3).
- Pitt D. (2012). Assessing energy use and greenhouse gas emission savings from compact housing: a small-town case study. *Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability*.
- Ratti C., Baker N. & Steemers K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings*, 37(7).
- Real estate research corporation (1974). *The costs of sprawl: environmental and economic costs of alternative residential development patterns at the urban fringe*. Washington: US government printing office.
- Rizwan A. M., Dennis Leung Y. C. & Liu C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1).
- Salat S. & Nowacki C. (2010). De l'importance de la morphologie dans l'efficacité énergétique des villes. *Liaison Energie Francophonie*, 86.
- Steemers K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and buildings*, 35(1).
- Stone B. J. & Rodgers M. O. (2001). Urban Form and Thermal Efficiency: How the Design of Cities Influences the Urban Heat Island Effects. *Journal of the American Planning Association*, 67(2).
- Strømmand Andersen J. & Sattrup P.A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43(8).
- Thomas, L. & Cousins, W. (1996). The compact city: A successful, desirable and achievable urban form. In Jenks M., Burton E., & Williams K. (Eds.), *The compact city: A sustainable urban form*, Londra: E & FN Spon,.
- Transportation Research Board (2009). *Driving and the Built Environment - The Effects of Compact Development on Motorized Travel, Energy Use, and CO2 Emissions*. Washington, D.C..

Ward D., Murray A. & Phinn S. (2003). Integrating spatial optimization and cellular automata for evaluating urban change. *Annals of Regional Science*, 37(1).

Williams K., Burton E., & Jenks M. (2000). *Achieving sustainable urban form*. Londra: E & FN Spon.

Capitolo 4

Anderson B., Chapman P., Cutland N., Dickson C., Doran S., Henderson G., Henderson, J., Iles P., Kosmina L. & Shorrocks L. (2002). *BREDEM-8: model description 2001 update*. UK: Building Research Establishment.

Balaras C., Gaglia A., Georgopoulou E., Mirasgedis S., Sarafidis Y. e Lalas D. (2007), European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings, *Building and Environment*, vol 42(3).

Bentzen J. e Engsted T. (2001), A revival of the autoregressive distributed lag model in estimating energy demand relationships, *Energy*, vol 26(1).

Bohringer C. e Rutherford T.F. (2009), Integrated assessment of energy policies: decomposing top-down and bottom-up, *Journal of Economic Dynamic and Control* 33.

Cormio C., Dicorato M., Minoia A. e Trovato M. (2003), A regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7.

Feng Y.Y. e Zhang L.X. (2012), Scenario analysis of urban energy saving and carbon emission reduction policies: a case study of Beijing, *Resources Science* 34.

Gielen D. e Chen C.H. (2001), The CO₂ emission reduction benefits of Chinese energy policies and environmental policies: a case study for Shanghai, period 1995–2020, *Ecological Economics*, 39.

Hadley S.W. e Short W. (2001), Electricity sector analysis in the clean energy futures study, *Energy Policy*, 29.

Howard B., Parshall L., Thompson J., Hammer S, Dickinson J. e Modi V. (2012), USA Spatial distribution of urban building energy consumption by end use” *Energy and Buildings*, n°45.

Jones P. J., Lannon S. e Williams J. (2001), Modelling building energy use at urban scale Welsh School of Architecture Cardiff University, Seventh International IBPSA Conference.

Kanudia A. e Loulou R. (1998), Robust responses to climate change via stochastic MARKAL: the case of Québec, *European Journal of Operational Research* 106.

Kavgic M., Mavrogianni A., Mumovic D., Summerfield A., Stevanovic Z. e Djurovic-Petrovic M. (2010), A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector, *Building and Environment*, 45(7).

Kavousian A., Rajagopal R. e Fischer M. (2012), A Method to Analyze Large Data Sets of Residential Electricity Consumption to Inform Data-Driven Energy Efficiency, CIFE Working Paper 130, Stanford University.

Lin J.Y., Cao, B., Cui S.H., Wang W. e Bai, X.M. (2010), Evaluating the effectiveness of urban energy conservation and GHG mitigation measures: the case of Xiamen city, China, *Energy Policy*, 38.

Liu G.Y., Yang Z.F., Chen B. e Zhang L.X. (2011), Energy-based multiple spatial scale analysis framework combining resources and emissions impact for urban ecological economic evaluation, *Entropy* 13.

Lu C.Y., Zhang X.L. & He J.K. (2010). A CGE analysis to study the impacts of energy investment on economic growth and carbon dioxide emission: a case of Shaanxi Province in western China. *Energy*, 35.

Mirasgedis S., Sarafidis Y., Georgopoulou E., Kotroni V., Lagouvardos K., & Lalas, D.P. (2007). Modeling framework for estimating impacts of climate change on electricity demand at regional level: case of Greece. *Energy Conversion & Management*, 48(15).

Moccia F. D. (2013). *Abitare il cambiamento*. Napoli: CLEAN.

Mitchell G. (2005). *Urban development, form and energy use in buildings: a review for the solutions project*, EPSRC SUE SOLUTIONS consortium.

Phdungsilp A. (2010). Integrated energy and carbon modeling with a decision support system: policy scenarios for low-carbon city development in Bangkok. *Energy Policy*. 38.

Ratti C., Baker N. & Steemers K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings*, 37.

- Soltani A., Mehraein M. & Sharifi E. (2012). Urban Features And Energy Consumption At Local Level. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 6 (2).
- Stemmers K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and buildings*, 35 (1).
- Subhes C. Bhattacharyya & Govinda R. Timilsina (2010). A Review of Energy System Models. *International Journal of Energy Sector Management*, 4(4).
- Swan, L.G., Ugursal, V.I. (2009). Modelling of end-use energy consumption in the residential sector: a review of modelling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8)
- Turton H. (2008), ECLIPSE: an integrated energy-economy model for climate policy and scenario analysis, *Energy* 33.
- Xu Y. & Masui T. (2009). Local air pollutant emission reduction and ancillary carbon benefits of SO₂ control policies: application of AIM/CGE model to China. *European Journal of Operational Research*, 198.
- Zhang L.X., Yang Z.F., Lian, J. & Cai Y.P. (2011). Spatial variation and distribution of urban energy consumptions from cities in China. *Energies*, 4.
- Zhao F. (2012). Agent-based modeling of commercial building stocks for energy policy and demand response analysis.

Capitolo 5

- Alberti M. (1999). Urban patterns and environmental performance: what do we know? *Journal of planning education and research*, 19(2)
- Brundl W., Mayer H. & Baumgartner A. (1986). The influence of vegetation and buildings on the climate and air quality in Bavarian cities. Chair of Bioclimatology and applied meteorology of the university of Munich, Germany.
- Doherty M., Nakanishi H., Bai X. & Meyers J. (2009). Relationships between form, morphology, density and energy in urban environments. *GEA Background Paper*.
- Givoni B. (1998). Impact of green areas on site and urban climates. In B. Givoni (Ed.) *Climate considerations in building and urban design*, New York: J. Wiley & Sons.

Honjo T. & Takakura T. (1990–91) Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. *Energy and Buildings*, 15.

Roset, J. & Vidmar, J. (2013). Evaluation of simulation tools for assessment of urban form based on physical performance, *Environmental Physics For Architects*.

Saito I. (1990-1991), Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area, *Energy and Buildings*, 15.

Spronken-Smith R. A. (1994). Energetics and cooling in urban parks, Thesis. Vancouver: The University of British Columbia.

Xiuzhi Chen , Yongxian Su , Dan Li , Guangqing Huang , Weiqi Chen & Shuisen Chen (2012). Study on the cooling effects of urban parks on surrounding environments using Landsat TM data: a case study in Guangzhou, southern China. *International Journal of Remote Sensing*, 33(18).

Capitolo 6

Akbari H., Pomerantz M., & Haider T. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70 (3).

Andrews C. J. (2008). Greenhouse gas emissions along the rural-urban gradient. *Journal of Environmental Planning and Management*, 51(6).

Burchell R.W. & Listokin D. (1982). *Energy and land use*. New Jersey, USA: Center for Urban Policy Research, State University of New Jersey.

Comune di Napoli (2004). Piano Regolatore Generale della città di Napoli.

Doherty M., Nakanishi H., Bai X. & Meyers J. (2009) Relationships between form, morphology, density and energy in urban environments. GEA Background Paper.

Elkin T., McLaren D., & Hillman M. (1991). *Reviving the city: Towards sustainable urban development*. London: Friends of the Earth.

Ewing R. & Rong F. (2008). The impact of urban form on US residential energy use. *Housing Policy Debate*, 19(1).

Givoni B. (1992). Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. *Energy and Building*, 18 (1).

Hong Ye, Quanyi Qiu, Guoqing Zhang, Tao Lin, Xihu Li (2013). Effects of natural environment on urban household energy usage carbon emissions. *Energy and Buildings*, 65.

- Howard B., Parshall L., Thompson J., Hammer S., Dickinson J. & Modi V. (2012). USA Spatial distribution of urban building energy consumption by end use. *Energy and Buildings*, 45.
- Ko Y. & Radke J. (2013). The effect of urban form and residential cooling energy use in Sacramento, California. *Environment and planning*, 40.
- Owens S. (1992). Energy, environmental sustainability and land use planning. In M. Breheny (Ed.) *Sustainable development and urban form*. Londra: Pion Limited.
- Pitt D. (2012). Assessing energy use and greenhouse gas emission savings from compact housing: a small-town case study. *Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability*.
- Salat S. & Guesne C. (2008). *Energy and carbon efficiency of urban morphologies. The case of Paris*. Urban Morphologies Laboratory, CSTB and ENSMP.
- Shashua-Bar L. & Hoffman M.E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy Build*, 31.
- Soltani A., Mehraein M. & Sharifi E. (2012). Urban Features and Energy Consumption At Local Level. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 6(2).
- Stemmers K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and buildings*, 35(1).
- Stenhouse D. (1992). Energy conservation benefits of high density mixed-use land development. In *Sustainable cities: Concepts and strategies for eco-city development*. See Walter et al.
- Yamamoto T., DehghaniSanij H. & Rasiah V. (2004), Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. *Agricultural Water Management*, 64.
- Zhang L., Yang Z., Liang J. & Cai Y. (2011) Spatial Variation and Distribution of Urban Energy Consumptions from Cities in China. *Energies*, 4(1).

SITOGRAFIA

Capitolo 1

Treccani:http://www.treccani.it/export/sites/default/scuola/lezioni/storia/citta_xix_secolo_LIM.pdf

Yergin D. (2009), Its Still the One: <http://foreignpolicy.com/2009/08/22/its-still-the-one/>

Capitolo 2

Comitato delle regioni (2014) <http://cor.europa.eu/it/news/Pages/paquet-energie-climat-2030.aspx>

FONTE IMMAGINI

Capitolo 1

Figure 1a e 1b: UN HABITAT (2008) State of the world's cities 2008/2009 - Harmonious cities, Earthscan, UK.

Figura 2: The Long-Term Tie Between Energy Supply, Population, and the Economy <http://ourfiniteworld.com/2012/08/29/the-long-term-tie-between-energy-supply-population-and-the-economy/>

Figura 3: The Long-Term Tie Between Energy Supply, Population, and the Economy <http://ourfiniteworld.com/2012/08/29/the-long-term-tie-between-energy-supply-population-and-the-economy/>

Figure 4a e 4b: BP (2013), BP ENERGY OUTLOOK 2030.

Figura 5: IEA (2011), World Energy Outlook 2010, OECD-IEA.

Figura 6: IEA (2010), World Energy Outlook 2010, OECD-IEA.

Figura 7: IEA (2008), World Energy Outlook 2008, OECD-IEA.

Figura 8: IEA (2008), World Energy Outlook 2008, OECD-IEA.

Capitolo 2

Figure 9: Italia Lavoro (2013) Le politiche energetiche.

Figura 10: IPSOA (2012) Manuale Ambientne 2012.

Figura 11: COM(2014)490 La dimensione urbana delle politiche dell'ue – elementi fondanti di una agenda urbana UE

Figure 12: COM(2011)112 Una tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050

Figura 13: <http://www.imaginelowenergycities.eu/>

Figura 14: UE EnSure transnational project - Development of a joint transnational energy concept on district level

Figura 15: <http://www.energycity2013.eu>

Figura 16: ENEA (2013) Rapporto annuale efficienza energetica 2012.

Figura 17: ENEA (2013) Rapporto annuale efficienza energetica 2012.

Figura 18: ENEA (2013) Rapporto annuale efficienza energetica 2012.

Figura 19: ENEA (2013) Rapporto annuale efficienza energetica 2012.

Capitolo 3

Figura 20: rielaborazione dell'autore sulla base di Owens S. E. (1986), Energy, planning and urban form, Pion Limited, Londra.

Figura 21: Owens S. E. (1986), Energy, planning and urban form, Pion Limited, Londra.

Figura 22: Newman P. e Kenworthy J. R. (1989), Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook. Aldershot, UK, Gower Publishing Company.

Figura 23: <http://www.meteoweb.eu/wp-content/uploads/2013/01/isola-di-calore.jpg>

Figure 24a e 24b: Real estate research corporation (1974), The costs of sprawl: environmental and economic costs of alternative residential development patterns at the urban fringe, US government printing office, Washington.

Figura 25: <http://sagacitymovie.org/2011/02/density/>

Capitolo 4

Figura 26: Kavgić M., Mavrogianni A., Mumovic D., Summerfield A., Stevanovic Z. & Djurovic-Petrovic M. (2010). A review of bottom-up building stock models

for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, 45(7).

Figura 27: Wei Y., Baizhan L., Yarong L. & Meng L. (2011). Analysis of a Residential Building Energy Consumption Demand Model. *Energies*, 4.

Figura 28: Kavousian A., Rajagopal R. & Fischer M. (2012). A Method to Analyze Large Data Sets of Residential Electricity Consumption to Inform Data-Driven Energy Efficiency. Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University.

Figura 29: S.K. Firth & K. J. Lomas (2009). Investigating CO₂ emission reductions in existing urban housing using a community domestic energy model. *Eleventh International IBPSA Conference*. Glasgow, Scotland.

Figura 30: <http://areeweb.polito.it/ricerca/episcopo/tabula/>

Figura 31: Ratti C., Baker N. & Steemers K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings*, 37(7).

Capitolo 5

Figura 40: Qiu Guo-Yu, Li Hong-Yong, Zhang Qing-Tao, Chen Wan, Liang Xiao-Jian & Li Xiang-Ze (2013). Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(8).

Figura 43: Xiuzhi Chen , Yongxian Su , Dan Li , Guangqing Huang , Weiqi Chen & Shuisen Chen (2012). Study on the cooling effects of urban parks on surrounding environments using Landsat TM data: a case study in Guangzhou, southern China. *International Journal of Remote Sensing*, 33(18).