

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA
Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura
XXIX Ciclo - Dottorato di ricerca in
"Valutazione e mitigazione dei rischi urbani e territoriali"
Curriculum: Pianificazione e progetto per il territorio e l'ambiente

Tesi di dottorato

**PIANIFICAZIONE URBANISTICA ED EFFICIENZA ENERGETICA:
ANALISI E VALUTAZIONE DELLA PERFORMANCE ENERGETICA URBANA**

Dottoranda:
Valentina Palermo

Coordinatore:

Prof. M. Cuomo

Gruppo di
supervisione:

Prof. P. La Greca

Prof. A. Fichera

Prof. G. Margani

L'autore dichiara che il presente elaborato è frutto del proprio lavoro originale e che, al meglio della propria conoscenza e convinzione, non contiene materiale precedentemente pubblicato o scritto da un'altra persona. Benché l'autore abbia curato con la massima attenzione la preparazione del presente volume, Egli declina ogni responsabilità per possibili errori ed omissioni, nonché per eventuali danni dall'uso delle informazioni ivi contenute.

Alcuni capitoli della presente tesi sono contenuti nella pubblicazione:

Fichera, A., Inturri, G., La Greca, P., Palermo, V. (2016). A model for mapping the energy consumption of buildings, transport and outdoor lighting of neighbourhoods, *Cities*, 55, pp. 49-60.

INDICE DEI CONTENUTI

INDICE DEI CONTENUTI	I
ABSTRACT	III
INTRODUZIONE	VII
1. CAMBIAMENTI CLIMATICI E RISCHI URBANI. POLITICHE E INIZIATIVE.	1
1.1 CAMBIAMENTI CLIMATICI E RISCHI URBANI	1
1.2 INQUADRAMENTO, POLITICHE ED INIZIATIVE	7
1.3 LA DIMENSIONE INTERDISCIPLINARE E INTERSCALARE E L'APPROCCIO <i>GLOCALE</i> DELLE POLITICHE URBANE	19
2. CITTÀ ED ENERGIA	27
2.1 LA DIMENSIONE ENERGETICA DELLA PIANIFICAZIONE URBANA	27
2.2 TEMI PER L'EFFICIENZA ENERGETICA URBANA	35
2.2.1 DENSITÀ, FORMA E ACCESSIBILITÀ	40
2.2.2 EDIFICI	43
2.2.3 TRASPORTI	51
2.2.4 PRODUZIONE E DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA	58
2.3 NUOVI APPROCCI NELLE POLITICHE E NELLE PRATICHE URBANE	65
3. UNO STRUMENTO PER L'ANALISI E LA VALUTAZIONE DELLA PERFORMANCE ENERGETICA URBANA	75
3.1 LE RAGIONI DI UNO STRUMENTO	75
3.2 MODELLI ENERGETICI, MODELLI INTEGRATI E MAPPATURE	81

3.3	COSTRUZIONE DI UNO STRUMENTO PER L'ANALISI E LA VALUTAZIONE DEI CONSUMI URBANI ALLA SCALA DI QUARTIERE	99
3.4	LA COMPONENTE ANALITICA	105
3.4.1	STEP 1 – ANALISI DELLA PERFORMANCE ENERGETICA SPECIFICA DEI TRE SETTORI	109
	I. SETTORE I. EDIFICI – ENERGIA TERMICA ED ENERGIA ELETTRICA	109
	II. SETTORE II. TRASPORTI	131
	III. SETTORE III. ILLUMINAZIONE PUBBLICA	136
3.4.2	STEP 2 – CALCOLO DELLA PERFORMANCE ENERGETICA GLOBALE DI UN QUARTIERE	138
3.4.3	CONSIDERAZIONI	140
3.5	LA COMPONENTE VALUTATIVO-PROGETTUALE	145
3.5.1	STEP 1 – INDIVIDUAZIONE DEI DRIVER DI CAMBIAMENTO	147
3.5.2	STEP 2 – CONDIZIONI E SCENARI	149
3.5.3	CONSIDERAZIONI	164
3.6	ULTERIORI POTENZIALITÀ DELLO STRUMENTO. UN'INTEGRAZIONE CON LE RETI COMPLESSE	167
4.	LA PRESTAZIONE ENERGETICA PER UN AMBITO URBANO DI CATANIA	175
4.1	LA SCELTA DEL QUARTIERE DI NESIMA SUPERIORE A CATANIA	175
4.2	APPLICAZIONE DELLO STRUMENTO PER LA PRESTAZIONE ENERGETICA	191
4.2.1	COMPONENTE ANALITICA – ANALISI DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA SPECIFICA DEI TRE SETTORI E GLOBALE PER IL QUARTIERE	195
4.2.2	COMPONENTE VALUTATIVO PROGETTUALE – CONFIGURAZIONE DEGLI SCENARI	211
4.2.3	CONSIDERAZIONI	230
4.3	INTEGRAZIONE TRA I MODELLI DI PRESTAZIONE ENERGETICA E DI RETE COMPLESSA DEL QUARTIERE	233
5.	APPENDICE	239
	SCHEDE DI APPROFONDIMENTO	239
	POLITICHE LOCALI SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI	241
	FAENZA, IL PIANO REGOLATORE DELL'ENERGIA	246
	INCENTIVI PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA - IL PRG DI TRIESTE	253
	IL CARBON OFFSET FUND	259
	EX DISTILLERIA NERI – CONAD, “LA FILANDA”	267
	BIBLIOGRAFIA	277
	ALLEGATI	295
	TAVOLE	295
	INDICE DELLE FIGURE	305
	INDICE DEI SIMBOLI E DELLE ABBREVIAZIONI	309

ABSTRACT

This research explores the relationship between energy, land use and urban planning in the context of climate change risks. The ambition is to contribute to the definition of new planning procedures and tools addressed to urban sustainability and low-carbon urban systems.

Climate change represents one of the major challenge of the 21st century. To face climate risks, imperative actions must be taken in cities, where extremely high energy consumptions and GHG emissions are produced. Moreover, for their high concentration of people and assets, urbanized areas are also vulnerable to climate change impacts. As a consequence, cities are perceived to show a dual nature in that they are a major cause of climate change and at risks of its impacts.

In this framework, the inclusion of climate change in spatial planning policies has become a priority since its implications have a multidisciplinary characterization and impose new issues on urban areas. In addition, urban planning and energy policies were traditionally separate approaches and energy issues have been almost neglected in both urban planning strategies and building processes in the last decades. Therefore, the need for innovative

urban and energy policies, aimed at reducing energy consumption and GHG emissions in cities and at increasing sustainability, has arisen. In particular, a 'glocal' approach and an integrated attitude in spatial planning are crucial to tackle climate changes issues in cities, providing new urban strategies with multiple time and spatial scales.

In this perspective, the general purpose of the present research is the development of an integrated planning tool to analyze and assess the urban energy performance of neighborhoods. The tool is aimed at supporting policy makers and urban planners in the process of development of suitable and site-specific strategies to gain overall energy efficiency in urban areas. The analytical-evaluating tool developed in this research is organized in two stages. The former provides an integrated analytical energy model for the assessment of urban energy consumption of neighborhoods, including the most energy intensive sectors of urban systems: buildings, transport and public lighting. Appropriate mathematical laws are calculated to correlate the most influencing parameters and to express convenient relations for comparisons and projections of urban energy consumption. The model is organized into three sub models for each of the sectors considered. In particular, for buildings, both thermal and electric energy have been assessed and two indicators have been developed. A single building approach has been applied for thermal energy, by using specific geometric data and thermo-physical properties of the buildings according to building ages and climatic zones. Electric energy consumption has been accounted by processing heterogeneous data about population, energy consumption and built volumes. For the transport sector, a commuting transport energy indicator, based on a simplified trip generation model, a transport mode choice model and an optimal assignment of workers flows to job destinations, has been developed. Finally, the outdoor lighting sector is represented by an indicator assessing electric energy consumption per unit area of public space. Results are represented at urban scale through energy maps, developed in GIS, which allows the integration between energy evaluations and spatial planning.

In the second stage (evaluating and design), the energy model is used for the evaluation of urban strategies, inclusive of energy issues, on the three sectors through the configuration of several scenarios. In particular, the drivers that may steer changes in the urban contexts from an energy perspective have been identified. Within each driver, changes are represented by an alteration of the values of the parameters that describe the urban energy performance of the three sectors and on the whole. The changes represent a range of options whose feasibility and efficiency are assessed through the configuration of planning scenarios.

The combination of urban energy mapping and scenario analysis allows to determine integrated planning – energy strategies and to support sustainable political choices on existent urban areas.

The two stages of the tool are strongly related, since the second is based on the analytical stage, whose results form an innovative and comprehensive information basis. Moreover, the energy model has the potential to be used as a stand-alone analytical tool, through which the knowledge of the territory from an energy perspective may be increased.

The structure of the tool allows to analysis and evaluate urban energy performance either in a disaggregated way or on the whole. Disaggregation is convenient to highlight the contribution of the most influencing factors of carbon emissions and energy demand. Overall outcomes can be used to identify the most consuming areas within a city.

A third stage, that extends the function of the previous ones, may be considered. This stage comprises easy-sharing tools, aimed at integrating, simplifying and sharing the findings from the analytical and evaluating stages. Among these easy sharing tools, correlation laws relating S/V ratio to the energy performance index and explaining web windows have been developed.

The city of Catania, in southern Italy, has been selected as case study. For its characteristics the city may be considered as representative of many others meridional Italian cities. Particularly, the methodology has been applied to “Nesima Superiore” neighborhood, which is located in the north-west of the main city. The neighborhood was mostly built in the fifties in the framework

of INA CASA, a post war reconstruction strategy aiming at providing a healthy house to inhabitants and at generating new employment. Despite the high ambitions of the plan, at present the neighborhood is degraded, it is characterized by the lack of public facilities and low construction features in buildings. Recently a new modern hospital has been built in the neighborhood and a new metro line is going to link Nesima neighborhood to the city centre. Moreover, the succession of city masterplans proposed several solutions to redevelop the area. The selected area is 0,67 square kilometers including buildings which belong to many ages and morphological types. Urban growth preliminary analysis show that 50% of the building stock has been built before 1964 and that it accounts for the highest thermal energy demand of all the buildings in the study area. Results show that building stock is the highest consuming sector, followed by transport and outdoor lighting, whose values are one order of magnitude down. Resulting values have been compared to national average data showing a good convergence. However, some simplifications performed in the sub-models determine a slight underestimation of the actual overall amount of urban energy consumption. Through the comparison of scenarios, it follows that an improvement of the whole urban energy performance is achievable. In particular, results for the case study show that a change in the energy profile of the neighborhood is achievable by implementing several peculiar measures. Since buildings represent the most energy intensive sector, measures aimed at retrofitting the building stock result significantly efficient. Along with buildings, transport sector offers potentials for improving the urban energy performance if transformations in the fields of land use and infrastructures occur.

The case analyzed confirms the potential to improve the energy performance of urban areas towards sustainability, by including innovative tools and methods into spatial planning. This play a coordinating role for the multiple site-specific strategies and tailored measures, enabling the achievement of holistic results that include awareness of the interrelations and potential trade-offs among components and systems at stake in urban areas.

INTRODUZIONE

Il presente percorso di ricerca muove dalla volontà di esplorare la relazione tra energia, territorio e pianificazione urbana nel quadro del cambiamento del clima e dei rischi che ne conseguono. Il fine è quello di contribuire alla definizione di nuove procedure e strumenti, idonei a tracciare un percorso indirizzato alla sostenibilità urbana e a sistemi urbani a basso contenuto di carbonio.

Sistemi naturali e antropici sono messi a rischio dal crescente e imperante cambiamento climatico. L'analisi della relazione tra la variazione del clima e i sistemi urbani trova la sua ragion d'essere nel ruolo, a lungo sottovalutato, che le città hanno assunto nell'ultimo secolo. Da un lato, le città risultano estremamente vulnerabili agli impatti climatici per la configurazione spaziale, per l'alta concentrazione di abitanti (stimata pari al 60% nel 2037), per la varietà di attività e per la forte dipendenza dalle reti infrastrutturali. Dall'altro, per le stesse peculiarità che le caratterizzano, le città determinano ingenti consumi energetici, che generano un'elevata concentrazione di anidride carbonica in atmosfera, riconosciuta come una delle cause principali del riscaldamento globale. Infatti, nonostante occupino una superficie pari al 2% di quella mondiale, le aree urbane sono responsabili a livello globale del

consumo del 75% dell'energia primaria e tra il 50% e 60% delle emissioni di anidride carbonica del mondo. Di conseguenza, le città offrono un'opportunità unica per abbattere la produzione di anidride carbonica e ridurre le relative emissioni in atmosfera. Le aree urbane possono essere considerate come parte del problema e della soluzione, e posseggono, dunque, una esclusiva capacità di rispondere alla questione globale dei cambiamenti climatici, attraverso azioni a livello locale. Tuttavia, le implicazioni derivanti dai cambiamenti climatici hanno una caratterizzazione multidisciplinare e impongono nuove istanze di sollecitazione sulle aree urbane. In particolare, la prospettiva di una società *low carbon*, delineatasi preminentemente nel trentennio che ha seguito la definizione e divulgazione del concetto di sviluppo sostenibile, ha imposto una fase di continua riflessione portando all'ampliamento dei temi tradizionalmente affrontati nella disciplina urbanistica. Questa necessita, pertanto, di un rinnovamento sistemico per adattarsi al nuovo contesto in cui si trova ad operare, includendo le questioni energetiche, quali i consumi urbani, l'efficienza energetica e le emissioni di anidride carbonica a livello urbano.

In tal senso, l'agenda politica europea ha dimostrato un rinnovato interesse per gli aspetti energetici, rivolto prevalentemente alla riduzione delle emissioni in atmosfera, attraverso un incremento nel risparmio e nell'efficienza energetica. Tuttavia, questi temi sono entrati prepotentemente nelle dinamiche quotidiane attraverso disposizioni di tipo specialistico, contestualizzate cronologicamente e spazialmente, che hanno compromesso la formazione di un ordinamento giuridico-normativo sistematizzato. Le questioni energetiche non hanno dimostrato, infatti, di avere (salvo eccezioni occasionali) logiche urbane d'insieme. Piuttosto, le disposizioni sono state indirizzate alla scala dell'edificio e confinate all'interazione energia-edifici, energia-impianti, ignorando quasi completamente il campo dei trasporti, in cui l'interesse è stato concentrato sull'efficienza energetica dei mezzi e sulla produzione di nuove formule di combustibili. Emerge, pertanto, la necessità di ampliare e integrare l'ambito di interesse delle politiche energetiche e quello della pianificazione territoriale. L'integrazione dei temi energetici nei processi

di pianificazione implica, dunque, un riassetto di entrambe le discipline. Se da un lato la pianificazione urbana deve ampliare i propri contenuti e innovare i propri strumenti, dall'altro la pianificazione energetica deve tarare diversamente il proprio campo di azione, focalizzandosi anche sulla dimensione urbana oltre che sulle strategie nazionali e sulle azioni puntuali. L'inclusione della questione energetica nella pianificazione va considerata come una nuova politica urbana, che preveda anche la ridefinizione della pratica urbanistica, dei metodi e delle procedure tradizionali verso lo sviluppo di soluzioni specifiche che incorporino gli obiettivi energetici e consentano di stimare e misurare l'efficienza energetica.

Nel quadro così delineato, la comprensione della performance energetica urbana risulta indispensabile per indirizzare le scelte e le politiche di governo del territorio, in una prospettiva di riduzione dei rischi derivanti dai cambiamenti climatici.

L'obiettivo generale del percorso di ricerca si concretizza, dunque, nella costruzione di uno strumento analitico-valutativo delle prestazioni energetiche complessive alla scala di quartiere, finalizzato alla comprensione della domanda energetica urbana e alla valutazione e configurazione di strategie di pianificazione. Tale strumento, che vuole essere espressione del rinnovato approccio della pratica urbanistica, va integrato al suo strumento tradizionale, il piano. Questo, in linea con le esigenze emerse, deve evolversi in una forma di governo del territorio omnicomprensiva di coordinamento di altri strumenti di diversa funzione e natura.

Lo strumento analitico-valutativo configurato in questo studio si articola in due fasi, di cui la prima prevede la costruzione di un modello energetico analitico integrato che permetta la ricognizione dei consumi energetici complessivi a livello urbano. Questi, rappresentati attraverso mappe energetiche, includono i fabbisogni dei settori degli edifici, della mobilità e dell'illuminazione pubblica, considerati quali gli ambiti energivori dei sistemi urbani. La stima energetica relativa ai tre settori esprime la ragione per la quale il modello sia considerato "integrato"; l'utilizzo di metodi scientifici e analitici e il contributo all'accrescimento della fase di conoscenza del territorio,

ne indicano l'analiticità. Nella seconda fase (valutativo-progettuale), il modello energetico viene approntato per la valutazione di opzioni e azioni urbane, inclusive degli obiettivi energetici, attraverso la configurazione e la lettura di diversi scenari.

Le due componenti dello strumento (analitica e valutativo-progettuale) sono strettamente dipendenti: la seconda fase (valutativo-progettuale) ha, infatti, come presupposto la fase analitica, i cui risultati ne costituiscono la base conoscitiva. Tant'è che la componente analitica mostra la potenzialità di configurarsi, altresì, come strumento autonomo e indipendente, capace di arricchire il bagaglio conoscitivo del territorio.

In particolare gli obiettivi della fase analitica consistono nel:

- Individuare i settori che determinano i consumi energetici urbani, i fattori che incidono nei flussi di energia e la loro relazione,
- Determinare i consumi energetici dei settori maggiormente responsabili dei consumi urbani (edifici, trasporti, illuminazione) e definire leggi matematiche e indicatori che possano descriverli,
- Stimare il consumo energetico complessivo urbano alla scala di quartiere,
- Rappresentare i risultati attraverso mappe energetiche e graficizzazioni che permettano una lettura immediata del territorio in chiave energetica.

Nella fase valutativo-progettuale si intende:

- Identificare i driver che indirizzano i consumi energetici urbani ed i relativi parametri sui quali intervenire per conseguire un miglioramento dell'efficienza energetica urbana,
- Elaborare un ventaglio di opzioni, sulla base dei risultati della fase analitica, e valutarne la fattibilità e la potenzialità in termini urbanistici ed energetici, attraverso il confronto di possibili scenari.

Lo strumento proposto consente una modellazione dei consumi energetici dei tre settori sia in forma disaggregata sia aggregata e lo sviluppo di indicatori per ciascuno di essi. Parte integrante del modello, sono le mappe energetiche di stato di fatto e di progetto. Queste, redatte mediante l'elaborazione di database geografici su sistemi informativi territoriali, conferiscono il carattere

spaziale ai consumi energetici, i quali mostrano una distribuzione differenziata sul territorio. Tale difformità si palesa sia a scala nazionale e regionale, sia a scala urbana, all'interno di una stessa città, determinando l'esigenza di un approfondimento conoscitivo dei consumi ai fini della definizione di politiche e strategie locali per l'uso efficiente dell'energia. Anche per far fronte a tale circostanza, la scala di analisi del modello è quella di quartiere, superando l'approccio settoriale e il dettaglio delle analisi, circoscritto all'edificio, che hanno tradizionalmente caratterizzato l'indagine del tema energetico. Il quartiere viene considerato un livello idoneo a cogliere le relazioni complesse che caratterizzano le dinamiche urbane e all'applicazione di interventi sul territorio, configurati a valle delle analisi.

Alle due componenti individuate che configurano lo strumento può essere annesso un ulteriore elemento costitutivo, che esprime la capacità di tradurre quanto emerge dalle due fasi precedenti, in *tool* di facile comprensione e utilizzo. Questa terza componente, facendo riferimento al campo dell'informatica, potrebbe configurarsi come una sorta di *plug-in*, un modulo aggiuntivo non autonomo, utilizzato per estenderne le funzioni originarie.

Il rigore scientifico ha caratterizzato la fase di costruzione dello strumento. Tuttavia, si è profuso lo sforzo di mantenere semplici la definizione delle procedure e dei calcoli e le operazioni condotte sui sistemi informativi geografici e sui fogli di calcolo al fine di garantire l'agevolezza nell'uso dello strumento stesso e facilitarne la diffusione.

Infine, lo strumento presenta ulteriori potenzialità di utilizzo, sia in relazione all'ambito di indagine, non limitato alle sole aree urbane consolidate, ma esteso anche ai nuovi insediamenti urbani, sia in termini di una possibile integrazione modulare con altre forme di modellazione relative ad approfondire altre prospettive energetiche. In tale direzione, la teoria delle reti complesse si è dimostrata idonea alla comprensione e valutazione di interazioni energetiche a livello urbano. Tale approfondimento, non soltanto è indicativo della flessibilità e sensibilità dello strumento in termini metodologici, ma vuole anche offrire un contributo teorico nella lettura ed interpretazione di nuovi approcci nel paradigma energetico.

La tesi è strutturata in cinque parti, che rappresentano le diverse fasi dell'attività di ricerca. Ogni fase è stata sviluppata con l'obiettivo di completezza ed autonomia e, allo stesso tempo, di integrazione con le altre. Le fasi sono state condotte in parallelo, secondo un processo dinamico di ricerca, nel quale gli studi a carattere teorico, metodologico e i risultati sono stati soggetti a episodi di retroazione indirizzati verso nuovi stati di equilibrio. La Parte I mira a comporre il quadro di riferimento del lavoro di ricerca, illustrando il legame tra i cambiamenti climatici e i rischi, ricostruendo il percorso che ha portato istituzioni, enti e associazioni ad interessarsene.

Basandosi sull'assunto che i modi in cui vengono soddisfatti i bisogni energetici in città, rappresentino uno degli aspetti critici nella risposta ai cambiamenti climatici, la Parte II entra nel merito della relazione tra città ed energia. Vengono in seguito analizzati i diversi approcci nella gestione della questione energetica da parte della disciplina urbanistica e investigati i temi (densità, forma e accessibilità) e i principali ambiti di studio (edifici, trasporti e produzione e distribuzione di energia) che influenzano i consumi e l'efficienza energetica in ambito urbano. Infine, viene approfondita l'interfaccia tra pianificazione del territorio e considerazioni energetiche nel contesto dei cambiamenti climatici. Muovendo dallo studio svolto da Davoudi, che mette in relazione le politiche di risposta ai cambiamenti climatici con le misure di efficienza energetica urbana, ci si riallaccia al sistema italiano di governo del territorio, insistendo sull'esigenza di una nuova forma di politica urbana, dotata di metodi e strumenti propri, al fine di includere la questione energetica nella pianificazione territoriale.

La Parte III, che costituisce la fase nodale del lavoro di ricerca, dopo una presentazione delle motivazioni alla base dell'esigenza di modellazione dei consumi energetici, sviluppa un'analisi e una classificazione dei modelli esistenti in letteratura, dei relativi metodi di modellazione e delle tipologie di mappatura, applicati anche a casi concreti. Nel capitolo successivo viene presentato lo strumento sviluppato in questo lavoro, descrivendone la struttura e approfondendo l'articolazione nelle diverse componenti: analitica, valutativo-progettuale, divulgativa. In particolare, la fase analitica prevede la costruzione

di tre sub-modelli energetici, uno per ciascun settore individuato (edifici, trasporti e illuminazione pubblica), dotati di peculiari procedure che consentono la formulazione di diversi indicatori. I sub-modelli sono finalizzati alla stima dei consumi energetici di ciascun settore e, attraverso l'aggregazione dei relativi valori specifici, vengono stimati i consumi energetici globali di un quartiere. Nella fase valutativo-progettuale, elaborata presso il Centre for Earth Systems Engineering Research (CESER) della Newcastle University (UK), sono individuati ed esaminati alcuni *driver* di cambiamento, intesi come potenziali fattori esogeni che possono avere un'influenza sul consumo energetico dei tre settori individuati. In particolare, tra gli ambiti di influenza di tali driver, sono state selezionate alcune specifiche *categorie di cambiamento* che possono guidare la configurazione di diversi scenari urbani. Tali scenari, rappresentativi di trasformazioni sul territorio che incidono sulla performance energetica, sono valutati con un approccio di tipo comparativo.

Infine, viene esplorata la versatilità del modello, investigando la potenziale integrazione con altri modelli compatibili nei temi e negli obiettivi. In tale direzione, la metodologia sviluppata, derivante dall'approccio energetico-spaziale, viene associata ad una applicazione modellistica incentrata sulla teoria delle reti complesse finalizzata all'analisi e alla valutazione degli effetti sul territorio che si verificano in seguito all'introduzione dei sistemi di generazione di energia distribuita.

Nella Parte IV viene elaborata un'applicazione dello strumento, descritto nella parte precedente, alla città di Catania e in particolare alla zona Nord-Ovest, a confine con il comune limitrofo di Misterbianco. Tale ambito si distingue per la compresenza di tessuti urbani molto diversi. All'estremità ovest del territorio comunale, parte della zona di Lineri, caratterizzata da fabbricati, anche abusivi, a destinazione residenziale e produttiva. Poco più a est, separato dalle consistenti emergenze rocciose derivanti dalla colata lavica che ha colpito la città nel 1669, il quartiere di Nesima Superiore, rappresentativo di uno dei primi esempi di edilizia popolare della città e compreso nel primo settennio del Piano INA-CASA (1949-1955). Queste caratteristiche insieme alle grandi potenzialità di trasformazione legate all'aggiornamento dei sistemi di

trasporto e alla progettazione di nuove infrastrutture previste per quest'area, hanno determinato la scelta di tale ambito per l'applicazione dello strumento e la verifica del metodo.

Infine, nella (Parte V) – Appendice viene condotta una panoramica dei casi e degli approfondimenti che hanno guidato il percorso di ricerca.

La presente ricerca sostiene la tesi secondo cui la dimensione energetica non debba esclusivamente essere inclusa nelle tematiche affrontate dalla pianificazione urbanistica, quanto piuttosto divenire un elemento chiave nei processi di governo del territorio, capace di indirizzare le trasformazioni urbane. Nel breve intervallo temporale in cui si è consolidata la consapevolezza dell'emergenza climatica, la complessità delle nuove questioni territoriali, tra cui la questione energetica connessa al rischio climatico urbano, ha infatti, obbligato la disciplina urbanistica ad un aggiornamento degli strumenti e delle procedure, oltre che ad un ampliamento delle tematiche trattate. Tale configurazione multidisciplinare, che ancora di più caratterizza la condizione odierna dell'urbanistica, va vista come un'occasione, seppur in parte obbligata, per ampliare la conoscenza, sviluppare un nuovo senso critico e trattare la complessità. L'approfondimento relativo a branche tradizionalmente estranee, induce, infatti, avanzamenti verso un progressivo rinnovamento che permetta la comprensione dei fenomeni territoriali attraverso mutate chiavi di lettura. In questa direzione, l'obiettivo prefissato dalla ricerca di configurazione di uno strumento per l'analisi e la valutazione della performance energetica urbana, va inteso nel ruolo di supporto agli indirizzi di governo del territorio, mediante l'ampliamento del grado e del tipo di conoscenza del territorio e la lettura dei risultati. La scelta di operare a una scala diversa da quella dell'edificio e di estendere la valutazione a più di un settore "energivoro", si inserisce nel quadro della complessità dei sistemi urbani, indicando il proposito di contribuire alla sua comprensione e gestione. A tal fine, lo strumento è stato strutturato, per offrire un elevato grado di versatilità, essendo idoneo a soddisfare esigenze relative ad una stima complessiva, funzionando in maniera aggregata, o relative a indagini specifiche, restituendo informazioni in via

disaggregata, settore per settore. Infine, a risaltarne la flessibilità, lo strumento sviluppato consente una lettura in verticale, evidente nella struttura in componenti analitica e valutativo-progettuale, e in orizzontale, derivante dalla relativa articolazione nei tre settori illustrati. La duplice direzione è indicativa, altresì, di completezza sia in una prospettiva contenutistica (direzione orizzontale) sia metodologica (direzione verticale).

Rispetto a quest'ultima, con il lavoro di ricerca, al di là delle peculiarità che hanno influenzato la configurazione dello strumento, si è voluto offrire in primo luogo un contributo metodologico. In tal senso, la costruzione del set di dati alla base del modello, le condizioni imposte e le categorie di cambiamento, possono essere variate nelle molteplici applicazioni dello strumento, per rispondere ad obiettivi, esigenze e contesti territoriali nuovi e diversi. La disponibilità di database completi, le potenzialità di attuare forme più ardite di politiche infrastrutturali o di regolazione dei diritti edificatori, modificano la costruzione ed il contenuto del dato, ma non hanno alcuna incidenza sulla metodologia. Le misure e le condizioni che determinano la performance energetica dei tre settori, nella componente valutativo-progettuale dello strumento, rappresentano, infatti, l'esito dell'attuazione di politiche differenziate di governo del territorio, di cui si è scelto di descriverne alcune, ma la cui occorrenza non può essere prevista pienamente. Di conseguenza, senza un'alterazione della struttura metodologica, lo strumento può essere ampliato e integrato con nuove categorie, condizioni e parametri, per rispondere a situazioni differenziate, inedite, non sempre prevedibili. Si configura, dunque, lo spazio per ulteriori sviluppi ed approfondimenti per migliorare il grado di sensibilità dello strumento e per sfruttarne le potenzialità in contesti e forme di governo del territorio eterogenei.

Attraverso l'applicazione al caso di Catania, è stata testata la validità scientifica della parte di modellazione ed esplorato l'esito sul territorio dell'attuazione di scelte, di settore ed integrate. La componente analitica, risultante nella stima della performance energetica, e la componente valutativo-progettuale, concretizzata nella configurazione e nel confronto tra gli scenari ottenuti da una selezione di politiche urbane, pongono le basi per un

processo di pianificazione informato e conducono a una maggiore consapevolezza nelle scelte relative allo stato attuale e nelle previsioni future. I risultati hanno messo in luce che sono potenzialmente conseguibili significativi miglioramenti della prestazione energetica globale, anche attraverso interventi leggeri su tutti o esclusivamente su un settore, vista la stretta relazione che vi intercorre.

La descrizione del percorso di ricerca è stata arricchita da considerazioni di varia natura, relative alle potenzialità integrative dello strumento con altre formulazioni, alle possibili barriere riscontrabili nell'attuazione degli interventi di efficientamento energetico a scala urbana, e infine da approfondimenti su alcuni particolari casi che hanno indirizzato il percorso analitico e restituito la ricerca nella configurazione attuale.

Al di là della mera applicazione dello strumento al caso di studio specifico, il futuro orientamento nei processi di governo del territorio dovrebbe essere quello di sviluppare metodi e procedure, che prevedano l'utilizzo di modelli e strumenti riconducibili a quello presentato in questo lavoro, al fine di supportare strategie che vadano oltre la frammentarietà e la lacunosità che le ha caratterizzate sino a questo momento. Sposando piuttosto un approccio sistemico, si configurano potenzialità concrete di raggiungere risultati olistici, che includano la consapevolezza delle interrelazioni tra i diversi ambiti e sistemi in gioco nelle aree urbane.

1. CAMBIAMENTI CLIMATICI E RISCHI URBANI. POLITICHE E INIZIATIVE.

Societies have always depended on the climate but are only now coming to grips with the fact that the climate depends on their actions

World Bank (2010)

1.1 Cambiamenti climatici e Rischi urbani

La lotta ai cambiamenti climatici è un tema attuale, centrale nel dibattito politico dal 1990. Nessun paese ne è escluso, qualunque siano le condizioni economiche e sociali della popolazione che vi risiede. La questione dei cambiamenti climatici può essere considerata la sfida del ventunesimo secolo da affrontare sia alla scala globale sia a quella locale (UNFCCC, <https://unfccc.int/>). La conoscenza del fenomeno e la consapevolezza della relativa correlazione all'attività antropica sono state progressivamente accertate dagli studi intrapresi e portati avanti dall'*International Panel on Climate Change* (IPCC). Tuttavia, la complessità che delinea la variazione del clima, ne ha reso difficile la comprensione, in prima istanza, e la gestione degli impatti e delle conseguenze sui sistemi naturali e antropici, successivamente. Senza le opportune azioni di controllo, gli impatti dei cambiamenti climatici si dimostreranno gravi e irreversibili in tutto il mondo e potrebbero essere tali da compromettere il benessere delle generazioni odierne e di quelle future (IPCC, 2014; World Bank, 2010). Il grado di estensione dei cambiamenti climatici in futuro dipende da un ingente numero di variabili, tra cui l'entità delle

emissioni di anidride carbonica in atmosfera, il grado di deforestazione e la capacità di risposta degli ecosistemi (Carter et al., 2014).

Le conseguenze dell'imperante cambiamento nel clima si registrano sui sistemi naturali e su quelli antropici. La modificazione dei regimi delle precipitazioni, lo scioglimento dei ghiacciai, l'innalzamento del livello medio del mare, l'incremento dell'erosione e della franosità delle aree montane, i cambiamenti nella fenologia e nella composizione, distribuzione e estinzione delle specie, sono alcuni degli impatti dovuti al cambiamento del clima sui sistemi naturali (EEA, 2016; IPCC, 2014). L'attenzione sugli impatti sui sistemi antropici, ed in particolare su quelli urbani, ha assunto rilevanza recentemente, parallelamente all'incremento della frequenza e intensità di eventi meteorologici estremi, verificatisi in tutto il mondo in maniera indifferenziata la cui causa viene fatta risalire al cambiamento del clima. Attraverso tali eventi meteorologici, è ravvisabile la correlazione tra i cambiamenti climatici ed i relativi impatti urbani, le cui conseguenze discendono anche dalla frequenza ed intensità degli eventi stessi, così come dall'esposizione e vulnerabilità della collettività e delle attività presenti nei luoghi in cui tali eventi si verificano (Cramer et al., 2014; Revi et al., 2014). I sistemi urbani, infatti, dipendono, nelle loro economie, in maniera varia e articolata dalle risorse sensibili alle variazioni del clima, e la relazione tra le caratteristiche locali e gli impatti è ravvisabile nella varietà di scala e natura di questi sul territorio. L'importanza di un'analisi della relazione tra la variazione del clima e le aree urbane trova, dunque, una giustificazione nel ruolo che queste hanno assunto nell'ultimo secolo nel mondo. Proprio per l'estrema vulnerabilità legata alla concentrazione di oltre il 50% della popolazione mondiale e della maggior parte delle attività economiche, sono luoghi particolarmente soggetti al rischio connesso alla dimensione climatica. Questo connota indistintamente tutte le città a livello globale seppur con impatti diversificati localmente, in particolare quelle dove, spesso, a livello mondiale, la rapida urbanizzazione ha prodotto insediamenti poco sicuri (Burkett et al., 2014).

I rischi climatici sui sistemi urbani derivano da trasformazioni, spesso sui sistemi naturali, che generano eventi dannosi con conseguenze negative sulla

vita degli abitanti (la salute, le attività economiche) e sugli ecosistemi locali. Gli effetti dei cambiamenti climatici sul territorio sono già ampiamente evidenti (Gossop, 2011). L'aumento della temperatura porta ad un esacerbamento dell'effetto dell'isola di calore, con il conseguente aumento dei consumi energetici per il raffrescamento; la siccità può implicare carenza di acqua, di elettricità se prodotta da impianti idroelettrici e un aumento nei prezzi dei beni alimentari; l'innalzamento del livello del mare può provocare il rischio di inondazioni nelle zone costiere; le forti precipitazioni possono causare allagamenti urbani con conseguenze sulle proprietà, sui beni alimentari e sulle infrastrutture. I numerosi impatti dei cambiamenti climatici, alcuni dei quali precedentemente esposti, coinvolgono molte delle funzioni, infrastrutture, servizi e attività che si svolgono nelle città, e nella loro interazione hanno la potenzialità di esacerbare il rischio urbano. Tali interazioni, e allo stesso modo i singoli impatti, possono avvenire *in situ* o attraverso collegamenti con altre città (Revi et al., 2014). Nel capitolo 8 del WG II del *V assessment on Climate Change* dell'IPCC, vengono descritti alcuni dei possibili *settori* urbani che più facilmente vengono affetti dai rischi climatici e le cui conseguenze sono maggiormente preoccupanti, che coincidono quasi completamente con le infrastrutture, soggette oltre che agli effetti diretti, a quelli indiretti o "a cascata". L'approvvigionamento e la domanda idrica sono considerati soggetti a impatti quali le precipitazioni e il *runoff* in aree urbane, limitazioni nella qualità e disponibilità dell'acqua, alterazione delle relazioni tra i consumatori. L'energia esercita una grande influenza sullo sviluppo economico e sulla qualità della vita. Gli impatti in questo caso vengono associati alla sicurezza dell'approvvigionamento. Una qualsiasi forma di interruzione o inaffidabilità può causare danni significativi alle imprese, alle infrastrutture e ai servizi (inclusi i servizi sanitari e di trasporto). Riguardo ai trasporti e alle infrastrutture di telecomunicazione, gli impatti individuati attengono principalmente alla distruzione fisica e alla conseguente impossibilità di accesso alla rete durante possibili eventi critici (la perdita di comunicazione può ridurre le capacità di soccorso, i danni alle infrastrutture di trasporto possono bloccare l'evacuazione). Infine si fa riferimento alle infrastrutture verdi e a come la

trasformazione del clima sia in grado di alterare le funzioni ecosistemiche attraverso cambiamenti nella temperatura, nel grado di umidità, nei regimi di precipitazione, nella qualità dell'aria... influenzando l'efficacia del funzionamento delle infrastrutture stesse nel preservare la funzionalità degli spazi verdi, nel gestire i sistemi delle acque e nell'introduzione del paesaggio produttivo.

Se i cambiamenti climatici rappresentano un fenomeno globale che interessa trasversalmente numerosi ambiti di intervento e discipline, i rischi urbani che ne derivano sono, al contrario, fortemente contestualizzati con una distribuzione dinamica e impari (Revi et al., 2014; Kumar & Geneletti, 2015) che attiene anche allo status economico e sociale delle popolazioni residenti. Tali rischi sono amplificati per le popolazioni che abitano insediamenti informali, caratterizzati dalla mancanza di infrastrutture e servizi essenziali. La combinazione di uno scarso accesso alle infrastrutture di trasporti, di redditi al di sotto della media e di un numero limitato di attività, le pone ad un elevato rischio da disastri (Moser & Satterthwaite, 2009).

Tuttavia, oltre a mostrare una elevata vulnerabilità, per la configurazione spaziale, per l'alta concentrazione di abitanti, stimata pari al 60% nel 2037, per la varietà di attività e per la forte dipendenza dalle reti infrastrutturali (EEA, 2010, World Bank, 2008; UN DESA Population Division, 2012) le città sono anche responsabili dell'inasprimento del fenomeno climatico. Le attività antropiche che si concentrano nelle aree urbane sono, infatti, una delle principali fonti di emissioni, dirette e indirette, di anidride carbonica in atmosfera (Walsh et al., 2011; Bicknell et al., 2009; IEA, 2008) per soddisfare bisogni sempre maggiori. Nonostante occupino una superficie pari al 2% di quella mondiale (Pacione, 2009; UNHABITAT, 2016), le aree urbane sono responsabili a livello globale del consumo del 75% dell'energia primaria e tra il 50% e 60% delle emissioni di anidride carbonica del mondo, che salgono all'80% se si considerano le emissioni indirette degli abitanti (UNHABITAT, 2016). Per quanto le città non costituiscano l'unica fonte di gas climalteranti in atmosfera, è indubbio che le aree urbanizzate consumino un maggiore quantitativo di energia e dunque producano maggiori emissioni rispetto le aree sottosviluppate (UNHABITAT, 2008).

La riduzione del rischio climatico richiede una trasformazione sociale, economica e politica radicale (Anderson & Bows, 2008; Brown, 2011; Hamilton, 2010), in maniera particolare nelle città (Rosenzweig et al., 2011). Tale mutamento paradigmatico, la cui origine si colloca con “l’inizio dell’era del rischio” (Beck, 1992) che ha comportato e, in un certo senso imposto, nuove prospettive e interessi (Lash & Wynne, 1992) nella gestione dei rischi, è incardinato sui principi di sostenibilità. Il ruolo che i cambiamenti climatici avranno nello sviluppo delle città del futuro è innegabile. Il perseguimento di uno sviluppo sostenibile duraturo delle città e dei territori passa necessariamente attraverso la considerazione degli eventi calamitosi e la consapevolezza della loro criticità. A tal fine l’orientamento è direzionato ad un approccio – sostenibile – da adottare in vari ambiti politici, economici, sociali, tecnico-disciplinari, finalizzato alla prevenzione e mitigazione oltre che alla gestione delle emergenze.

Diventa dunque evidente che gran parte delle azioni necessarie per combattere i cambiamenti climatici debba essere intrapresa al livello della città (Gossop, 2011), rappresentando queste, da un lato, una delle cause principali dei cambiamenti del clima e dall’altro i luoghi maggiormente colpiti dai relativi impatti e dalle politiche di governo del territorio, improntate alla gestione del rischio climatico urbano.

Nell’assumere la veste contestuale di vittima e carnefice, la città è stata definita come il fenomeno ecologico del ventesimo secolo (While & Whitehead, 2013) e come parte del problema e della soluzione (Lindseth, 2004). Oltre a contribuire con i loro consumi e le emissioni di gas serra, le città, sono i luoghi dove nasce e si sviluppa l’innovazione culturale, politica ed economica e rivestono un ruolo fondamentale nella sperimentazione di nuove politiche e strategie sia per la riduzione di emissioni sia per l’incremento della capacità di resistere agli impatti (mitigazione e adattamento). In tal senso la pianificazione territoriale viene investita di nuove responsabilità legate alla gestione del rischio climatico urbano, provvedendo all’elaborazione di strategie per una città *carbon free* e resiliente e, dunque, rispondente agli specifici contesti territoriali. Le città posseggono, dunque, una esclusiva potenzialità nel

rispondere alla questione globale dei Cambiamenti Climatici, attraverso azioni a livello locale (World Bank, 2010) a dimostrazione di quanto fenomeni urbani e climatici siano interrelati e quanto l'influenza dell'uno sull'altro possa determinare effetti che trascendono la scala di appartenenza spaziando da una scala locale ad una globale e viceversa.

1.2 Inquadramento, politiche ed iniziative

L' *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) venne istituito nel 1988 dalla *World Meteorological Organization* (WMO) e dallo *United Nations Environment Programme* (UNEP) con lo scopo di valutare e ampliare la conoscenza dei cambiamenti climatici e dei relativi impatti ambientali e socioeconomici. I cinque rapporti pubblicati tra il 1990 e il 2014 dall'IPCC hanno gradualmente confermato l'esistenza dei cambiamenti climatici e i relativi impatti e ne hanno correlato la causa all'attività antropica. In particolare hanno messo in evidenza la stretta relazione che intercorre tra il riscaldamento globale e le emissioni di gas climalteranti: l'aumento di temperatura verificatosi a partire dalla metà del XX secolo è stato provocato dall'aumento delle concentrazioni di gas a effetto serra dovuto alle emissioni prodotte dalle attività umane, che hanno avuto *un'impennata evolutiva* a partire dalla Rivoluzione Industriale. Uno dei più diffusi e rilevanti tra tali gas, è l'anidride carbonica la cui concentrazione in atmosfera è aumentata e continua ad aumentare sensibilmente proprio dal 1750 ad oggi, superando nel 1950 il livello massimo registrato da 650.000 anni (VijayaVenkataRaman et al., 2012). I livelli di concentrazione di anidride carbonica in atmosfera hanno superato a maggio 2013 la soglia delle 400 parti per milione per la prima volta da diverse centinaia di millenni (ENEA, 2013).

Con la crisi energetica degli anni '70 del novecento, la consapevolezza della limitatezza delle risorse aveva segnato una prospettiva nuova nella concezione di sviluppo e di tutela, ma è con il I rapporto dell'IPCC che si avvia un percorso obbligato per far fronte alle conseguenze dei Cambiamenti Climatici. Il First Assessment Report-FAR (IPCC, 1990), fornendo la prova scientifica dell'esistenza dei cambiamenti climatici, attribuendone la causa alle emissioni in atmosfera e sottolineando la necessità di una cooperazione internazionale, ha posto i presupposti per la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) del 1992. Tale trattato internazionale, non vincolante, ha il fine di "prevenire interferenze antropogeniche pericolose con il sistema climatico terrestre". Le 195 nazioni

firmatarie hanno assunto l'impegno di cooperare nel fronteggiare i cambiamenti climatici riducendo la concentrazione di gas serra in atmosfera, la cui soglia di riduzione è stata determinata in occasione delle successive "Conferenze delle Parti" (COP). La cooperazione per il raggiungimento dell'obiettivo comune, prevede forme di "responsabilità comuni ma differenziate", assegnando responsabilità più rilevanti ai Paesi maggiormente sviluppati, elencati nell'Allegato I della convenzione (principio di equità). Oltre al principio di equità, la convenzione afferma il principio di precauzione secondo il quale l'incertezza delle conoscenze scientifiche non possa costituire una scusante per posticipare gli interventi necessari ad evitare la possibilità di danni seri ed irreversibili. Il "Summit della Terra" tenutosi a Rio de Janeiro nel 1992 ha rappresentato una svolta decisiva nel diritto ambientale internazionale. Seppur a livello embrionale, ha contribuito ad assottigliare il dualismo tra lo sviluppo economico e l'ambiente; ha introdotto una forma di cooperazione a livello internazionale per affrontare un fenomeno globale, calibrandone gli oneri sull'effettiva responsabilità e potenzialità dei Paesi firmatari, ha definitivamente inquadrato la politica ambientale nella sua configurazione ancora odierna, portando sul tavolo dei decisori politici di più alto livello, il tema della tutela ambientale e dei cambiamenti climatici e la relativa consapevolezza della necessità di prevenzione e di azione per fronteggiarli.

L'accordo determinante, successivo alla convenzione del 1992, è avvenuto a Kyoto nel 1997 durante la COP-3, in cui sono stati quantificati gli obiettivi vincolanti di riduzione delle emissioni di gas serra per ciascun paese. In particolare l'accordo, entrato in vigore nel 2005, prevede che i 15 stati membri dell'Unione Europea (al 2004) debbano ridurre il grado di emissioni dell'8% rispetto al 1990 nel periodo che va dal 2008 al 2012. Il secondo periodo di impegno è stato definito durante la COP 18, tenutasi a Doha nel 2012, in cui è stato rinnovato il Protocollo di Kyoto sino al 2020 (per altri 8 anni). Nella stessa occasione è stato concordato il percorso per un nuovo accordo globale relativo ai cambiamenti climatici da definire e sottoscrivere entro il 2015 e che entrerà in vigore a partire dal 2020.

L'intenzione di stipulare un accordo successivo a quello del 1997 era stata manifestata durante la COP 15 tenutasi a Copenhagen nel 2009. Il vertice ha disatteso le aspettative, concludendosi con un accordo non vincolante in cui gli Stati si impegnassero a contenere l'incremento della temperatura globale al di sotto dei 2°C, in linea con quanto definito dal *Fourth Assessment Report* dell'IPCC. Il documento firmato a Copenhagen riconosce il ruolo dell'adattamento ai cambiamenti climatici, e sottolinea la necessità di cooperazione internazionale e, come già avvenuto in precedenza ed in linea col principio della responsabilità comune ma differenziata, assegna un maggiore sforzo ai Paesi industrializzati per assicurare adeguate risorse finanziarie ai Paesi in via di sviluppo. Infine il vertice segna il coinvolgimento degli Stati Uniti nel percorso di lotta ai cambiamenti climatici.

Tuttavia dalla prima Conferenza delle Parti del 1995, la concentrazione di gas serra presente in atmosfera (GHG) è cresciuta con costanza raggiungendo il valore di 435 parti per milione di anidride carbonica equivalente (ppm CO₂-eq) nel 2012 (EEA, 2015). L'*International Panel on Climate Change* ha concluso che, in assenza di un impegno complessivo ed urgente, i cambiamenti climatici avranno impatti gravi e irreversibili in tutto il mondo.

Già nelle prime occasioni di negoziazione, l'Unione Europea ha dimostrato il ruolo di *leader* internazionale nella lotta ai cambiamenti climatici. Le politiche europee degli ultimi anni hanno rivelato, infatti, un crescente interesse in materia di energia, di ambiente e cambiamenti climatici.

Il biennio 2007 - 2008 segna un deciso cambiamento nelle politiche europee, le quali non soltanto includono, ma si configurano attorno alle problematiche del clima, del riscaldamento globale e dei consumi energetici. Tali questioni diventano una priorità per l'Unione Europea, come dimostrato dalle nei programmi di azione e nelle strategie. La strategia 2020, la *Roadmap* al 2050 e le direttive 2009/28/CE e 2010/31/UE hanno avuto una rapida attuazione e hanno portato grandi innovazioni anche a livello nazionale. L'obiettivo comune è quello di un abbattimento delle emissioni di anidride carbonica, proponendo un nuovo modello energetico attraverso strategie e azioni direzionate principalmente al settore energetico, quali l'incremento

dell'efficienza energetica e l'uso di energie rinnovabili. Nel 2010, secondo i dati disponibili, le previsioni lasciavano presagire la capacità da parte dei 15 stati europei di raggiungere l'obiettivo di riduzione delle emissioni dell'8% rispetto ai livelli del 1990 soddisfacendo le prescrizioni del Protocollo di Kyoto.

Nel 2007 l'Unione Europea, per mantenere l'impegno nella lotta ai cambiamenti climatici nel periodo successivo a quello previsto dal protocollo di Kyoto, ha approvato la strategia comune europea su rinnovabili, efficienza energetica ed emissioni di gas serra, integrando le politiche per la lotta ai cambiamenti climatici e le politiche energetiche. Valido in una finestra temporale di 12 anni (2020), il "Pacchetto clima-energia" prevede un impegno unilaterale per una riduzione del 20% delle emissioni di gas a effetto serra, una riduzione del 20% dei consumi attraverso misure di efficienza energetica e la soddisfazione del 20% della domanda energetica con energia proveniente da fonti rinnovabili (<http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020>). Il pacchetto di misure (O.J. L 140, 5.6.2009) su clima ed energia è stato adottato il 23 gennaio 2008 dalla Commissione Europea, approvato nel dicembre 2008 dal Parlamento europeo e dal Consiglio, e successivamente adottato da Consiglio il 6 aprile 2009 con le relative modifiche¹ (Morgera et al., 2011). L'obiettivo primario del Pacchetto è quello di fare dell'economia europea un modello per lo sviluppo sostenibile nel 21° secolo e trasformare l'Europa in un'economia a basso contenuto di carbonio e ad alta efficienza energetica. Tale misura dimostra anche come il cambiamento del clima sia divenuto una priorità nelle politiche europee nazionali e internazionali. Il pacchetto può anche essere considerato come un tentativo da parte dell'Unione Europea di esemplarità in una fase in cui erano ancora incerti i dettagli sulle forme di cooperazione future nel quadro della convenzione e delle conferenze delle parti (Morgera et al., 2011).

Tale ruolo di leader, assunto dall'Unione Europea, nell'orientare le politiche climatiche internazionali, è rafforzato dall'individuazione nella strategia di tre priorità di reciproco potenziamento: la crescita intelligente, inclusiva e

¹ Consiglio dell'Unione Europea, 6 Aprile 2009, Presse 77, 8434/09

sostenibile, intendendo con quest'ultima uno sviluppo orientato alla promozione di un uso delle risorse più efficiente e un'economia più competitiva ed ecologica (EC, 2010).

Nella figura seguente, tratta da Velardi M. (2011) in riferimento all'*Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2008* è illustrato l'andamento delle emissioni di gas serra dell'aggregato UE-15 dal 1990 al 2008, comparato con l'obiettivo di riduzione previsto dal Protocollo di Kyoto. L'Unione Europea è in grado di raggiungere l'obiettivo di riduzione dei gas climalteranti del 20% al 2020, ricorrendo a misure nazionali, a patto che gli Stati membri applichino totalmente il pacchetto di misure su clima ed energia adottato dalla UE nel 2009.

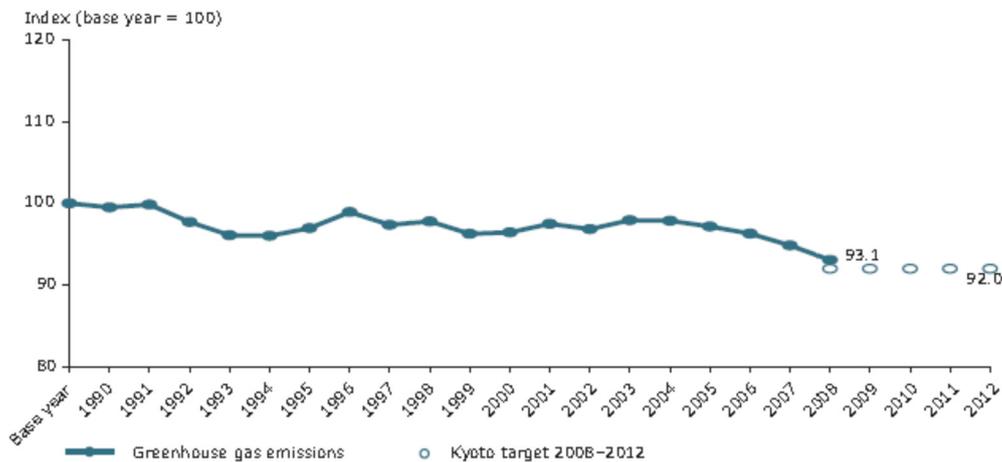


Figura 1: Andamento delle emissioni dei gas serra tra il 1990 e il 2008

Fonte: *Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2008 and inventory report 2010* (submission to the UNFCCC Secretariat: 27 may 2010), EEA

Il “Pacchetto Clima-Energia” fornisce, inoltre, una risposta a una serie di questioni: dalla sicurezza energetica all'economia a lungo termine e mette in luce la grande complessità dei Cambiamenti climatici in una prospettiva ambientale economica sociale e di sicurezza. Dei tre pilastri che costituiscono il pacchetto, l'efficienza energetica e la produzione di energia da fonti rinnovabili possono assicurare una significativa riduzione delle emissioni al 2020. L'efficienza energetica è da considerarsi, infatti, uno strumento imprescindibile per la riduzione dei consumi nei paesi membri dell'Unione.

Tuttavia, la componente locale e l'attenzione alla dimensione urbana nelle strategie e politiche comunitarie sono state abitualmente trascurate o lievemente accennate a favore di approcci più settoriali o di scala nazionale negli obiettivi delle politiche descritte. Le direttive 2009/28/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE specificatamente indirizzate al settore delle rinnovabili (la prima) e dell'efficienza energetica (le successive), ne sono una dimostrazione. Nella direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, viene dichiarata la crucialità del controllo dei consumi energetici e dell'impiego delle fonti energetiche non fossili per affrontare i cambiamenti climatici e viene stabilito un quadro comune ai paesi dell'Unione per la produzione di energia da fonti rinnovabili e la promozione del suo impiego. Secondo tale direttiva ogni stato deve contribuire alla produzione di energia da fonti rinnovabili, in particolare la quota attribuita per l'Italia è pari al 17% sul consumo finale di energia. I settori interessati dalla direttiva sono i trasporti, il riscaldamento e la produzione di energia elettrica. Nel caso dei trasporti, l'attenzione è focalizzata sulle infrastrutture per l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili nei trasporti e sui biocarburanti e i bioliquidi. La Direttiva sulla *Prestazione energetica nell'edilizia* del 2010 (2010/31/EU) si applica al settore edilizio, che rappresentando il 40% dei consumi energetici totali dell'Unione europea, costituisce un campo in cui risulta conveniente intervenire per raggiungere gli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica al 2020. La direttiva prevede che tutti i nuovi edifici siano *Nearly Zero Energy Buildings* entro il 2020 (2018 per gli edifici pubblici). Per gli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti, viene reso obbligatorio il miglioramento delle prestazioni energetiche soddisfacendo i requisiti imposti dall'Unione Europea. In questo contesto, il ruolo delle autorità nazionali si concretizza nella determinazione dei requisiti minimi di prestazione energetica efficaci in termini di costi, da riesaminare almeno ogni cinque anni, relativamente a impianti di riscaldamento, di produzione di acqua calda, di condizionamento dell'aria e di ventilazione. Sempre di competenza delle autorità nazionali, l'adozione di un sistema di certificazione energetica, che permetta di garantire un adeguato livello informativo ai potenziali acquirenti o affittuari di un immobile in merito

alle caratteristiche energetiche e alla classe energetica di un edificio. Tali informazioni relative alla performance energetica degli edifici vanno incluse negli atti di vendita o locazione.

La *Direttiva sull'efficienza energetica* (2012/27/EU) del 2012 promuove l'efficienza energetica in tutti i paesi dell'Unione attraverso un quadro comune di misure che riguardano ogni fase della catena dell'energia, dalle operazioni di trasformazione e distribuzione fino al consumo finale. Prevede inoltre la redazione dei Piani nazionali per l'efficienza energetica (PAEE) ogni tre anni contenenti le misure nazionali dell'efficienza energetica e i progressi annuali verso gli obiettivi di efficienza energetica preposti. Il Piano italiano risale al 2014 e offre una chiara prova di quali siano le priorità nazionali per il raggiungimento dei target. Le misure descritte nel piano, infatti, sono suddivise per settore, nel caso degli edifici si sottolinea l'importanza degli standard energetici delle costruzioni e degli incentivi e la necessità di accelerare e semplificare i processi per la disciplina dell'attività edilizia. Nel caso dei trasporti l'analisi è principalmente relativa alla scala del veicolo pur con un riferimento generico alla mobilità sostenibile ma senza l'individuazione di specifiche azioni per la messa in pratica. In nessuno dei casi riportati, sono presenti misure relative alla struttura urbana nel complesso e non si evince la possibilità di integrazione tra le pratiche di pianificazione urbanistica e l'efficienza energetica (La Greca & Martinico, 2015).

Un primo approccio di più ampio orizzonte e trasversalità può essere ravvisato nel documento strategico *Roadmap per il 2050* che, nel quadro strategico definito, analizza forme di integrazione tra i settori. Approntata dall'Unione Europea nel Febbraio 2011, la *Roadmap per il 2050* costituisce una strategia di medio periodo che prevede una progressiva decarbonizzazione dell'economia con un impegno di riduzione di gas serra dell'80% al 2050 rispetto i picchi del 2005 e un'intensificazione dello sforzo al 2020 (ENEA, 2011). La *Roadmap* individua obiettivi ambiziosi che richiedono sforzi e cambiamenti che coinvolgeranno l'intero assetto socio-economico degli stati membri per affrontare le questioni della sostenibilità e dei cambiamenti climatici. Per quanto strumento meramente programmatico, la *Roadmap* è

considerata parte integrante della politica climatica dell'Unione, infatti la Commissione continua, dopo quattro anni dalla sua pubblicazione, ad utilizzarla come parametro di riferimento. Attraverso un'analisi di scenario, viene illustrata la configurazione di un sistema energetico *zerocarbon* e le strategie necessarie al suo raggiungimento. In tal senso il documento può essere considerato come una guida per i paesi membri nel compiere scelte energetiche appropriate con una maggiore consapevolezza delle relative conseguenze. Nel 2014 sono stati inoltre individuati obiettivi intermedi per il 2030.

La crescente cognizione del ruolo che la dimensione locale riveste nella gestione dei rischi climatici urbani può essere rintracciata nelle iniziative che si stanno diffondendo a livello internazionale. Si tratta principalmente di programmi su base volontaria di confronto, analisi e cooperazione. Nel panorama europeo, l'iniziativa che può essere ritenuta emblematica nella risposta all'esigenza di affrontare la questione dei cambiamenti climatici e della sostenibilità in ambito urbano, è rappresentata dal "Patto dei sindaci" (*Covenant of Mayors*). Adottato nel 2008, il "Patto dei Sindaci" è, infatti, considerato come la prima iniziativa della Commissione europea rivolta direttamente agli enti locali, affinché questi diano un contributo rilevante nella lotta contro il riscaldamento globale, sostenendo il pacchetto Clima-Energia (http://www.pattodeisindaci.eu/support/faq_it.html?id_faq=2). L'approccio di questa proposta così come il suo scopo primario, tuttavia, sono orientati prevalentemente alla diffusione del tema energetico urbano nella comunità e al diretto coinvolgimento di quest'ultima. Il patto, infatti, è non vincolante e consiste in un accordo formale volontario tra governi locali per raggiungere gli obiettivi energetici europei, il quale dà vita ad un modello di *governance* su più livelli: dalla scala globale dei Cambiamenti Climatici all'applicazione di strategie e azioni alla scala locale (*Covenant of Mayors, 2016*), rappresentando di fatto un'occasione per rafforzare la rete tra le città e accrescere le relative iniziative con il coinvolgimento dei cittadini. La caratteristica di divulgazione delle strategie configurate e dei risultati ottenuti dai singoli firmatari, ha consentito di attivare un processo virtuoso di scambio e di confronto che ha,

in una prima fase, obbligato gli enti coinvolti a riconoscere ed affrontare la questione energetica urbana e, in una seconda fase, li ha stimolati nella configurazione di strategie e nell'adozione di nuovi strumenti per raggiungere gli obiettivi preposti. Lo strumento operativo del Patto dei Sindaci è il "Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile" (PAES), redatto secondo una metodologia messa a punto dal Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea (Bertoldi et al., 2010; Guerrieri et al., 2014). Un documento programmatico, non vincolante, in cui sono individuate le azioni che ciascuna città si impegna ad applicare entro il 2020 per ridurre le emissioni di gas climalteranti. Gli obiettivi principali di riduzione riguardano gli edifici, le attrezzature, gli impianti e il trasporto pubblico e solo alcuni di questi contenuti sono strettamente oggetto di una pianificazione urbana. Al di là degli esiti tangibili, i cui dati sono attualmente parziali, e delle reali ragioni che hanno spinto gli enti locali a partecipare all'iniziativa, il processo può essere considerato meritevole di aver riattivato realtà locali da tempo intorpidite e di essere stato un'occasione di riflessione su temi urbani in maniera "pubblica", collettiva e trasversale (De loris, 2012). D'altro canto è vero che questi aspetti non sono necessariamente un indicatore di un approccio di pianificazione strategica. Ne sono prova i contenuti dei PAES, spesso declinati in azioni slegate e lontane da un orientamento di tipo urbano. Allo scopo di incoraggiare le amministrazioni locali a dotarsi di Piani che siano concreti strumenti di lavoro qualificati, è stato promosso il premio A+COM, che seleziona i migliori quattro PAES elaborati nell'anno precedente, secondo criteri di coinvolgimento degli *stakeholders*, pionierismo degli interventi, strategia nelle visioni e organizzazione metodologica. La grande adesione registrata negli otto anni di operatività del "Patto dei Sindaci" (6084 firmatari, di cui 465 nel 2015), ha spinto a considerare una nuova iniziativa presentata nell'ottobre 2015. Il nuovo "Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia" ha adottato gli obiettivi EU 2030 e un approccio integrato alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici e opera attraverso lo strumento del "Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima" (PAESC), i cui contenuti delineano le azioni che le autorità

locali intendono intraprendere (Covenant of Mayors, 2016) con un orizzonte temporale al 2050.

L'esigenza di interscalarità e trasversalità nei contenuti e nelle modalità (negli ambiti e nelle strategie), il cui campo di azione sia la città, è dimostrata da un ulteriore percorso intrapreso dall'Unione Europea: l'"agenda Urbana per l'EU". Il tentativo di costruire un'agenda urbana mira a rafforzare la dimensione urbana delle politiche dell'Unione Europea attraverso un maggiore coinvolgimento delle città nei processi decisionali, nella concezione e attuazione delle politiche (EC, 2014). Tuttavia, seppur la problematica urbana si trova da quasi 20 anni sul tavolo decisionale, si assiste solo ad un lento e lieve grado di avanzamento. L'Agenda Urbana è dunque l'esito di un percorso intrapreso dalla Commissione Europea per la valutazione del ruolo delle città nelle politiche europee. La nuova Agenda Urbana per l'EU, la cui prima fase di implementazione vede la luce con il Patto di Amsterdam (siglato nel 2016), (Pact of Amsterdam, 2016) rappresenta un accordo tra le istituzioni, gli Stati e le città affinché sia possibile garantire una crescita sostenibile e socialmente inclusiva delle città europee. Mediante un coordinamento più efficace tra le diverse politiche sulle aree urbane, si mira ad ottenere una applicazione sistemica e armonica degli interventi in ambito urbano, che in molti casi sono stati il risultato sconnesso di strategie non sincronizzate alle diverse scale. Le tematiche affrontate nella nuova agenda urbana europea derivano da una fase consultiva e sono state discusse e definite nel 2015 durante una riunione in Lussemburgo del *Urban Development Group*

(<http://urbanagendaforthe.eu/pactofamsterdam/twelve-themes>).

Tra i 12 temi proposti, risultano rilevanti nel contesto illustrato i seguenti: *Sustainable use of land and Nature-Based solutions; Climate adaptation and Energy Transition*². In particolare, il focus della transizione energetica si

² Le 12 sfide individuate nell'Agenda Urbana dell'UE sono: 1) Inclusione dei migranti e dei rifugiati, 2) qualità dell'aria, 3) povertà urbana, 4) alloggi, 5) economia circolare, 6) posti di lavoro e competenze professionali nell'economia locale, 7) adattamento ai cambiamenti climatici, 8) transizione energetica, 9) uso sostenibile del territorio e soluzioni fondate sulla natura, 10) mobilità urbana, 11) transizione digitale, 12) appalti pubblici innovativi e responsabili. Per ognuno dei temi verranno costituite delle partnership, che relativamente ai primi 4 temi sono già attive. EU Commission: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-1924_it.htm

sostanza nel miglioramento dell'efficienza energetica, nella promozione di approcci innovativi nell'approvvigionamento energetico e nell'incremento della produzione energetica da fonti rinnovabili (<http://urbanagendaforthe.eu>), a testimonianza di come il tema energetico nelle politiche europee si stia avvicinando ad una dimensione integrata e di scala locale.

Esistono molti altri programmi di rilievo internazionale che mostrano un approccio locale per il supporto alla sostenibilità, organizzati in maniera volontaristica e di stampo associativo. Tra questi l'associazione europea delle amministrazioni locali finalizzata alla semplificazione ed accelerazione della transizione energetica delle città, *Energy Cities*. L'associazione è stata creata nel 1990 e conta oggi più di un migliaio di soci/amministrazioni locali. La transizione energetica viene guidata attraverso approcci e pratiche innovativi e attraverso collaborazioni con programmi e iniziative europee (<http://www.energy-cities.eu/>). ICLEI (International Council for Local Environmental Initiatives) – *Local Government for sustainability* è una associazione mondiale di città e governi locali impegnati nella costruzione di un futuro sostenibile. ICLEI costituisce una rete per lo scambio di buone pratiche, il confronto tra le amministrazioni e fornisce consulenze per il sostegno dei governi locali al fine di integrare la sostenibilità a livello locale (<http://www.iclei.org/>)

Per concludere la rassegna, tutt'altro che esaustiva, di iniziative e di esiti di quella che può essere considerata una nuova fase delle politiche internazionali, la 21 ° Conferenza delle Parti riunitasi a Parigi nel dicembre 2015 integra le istanze del riscaldamento globale, dei consumi energetici alle risposte che possono giungere dagli interventi e dal coinvolgimento degli attori alla scala locale, grazie anche a una maggiore consapevolezza delle specificità del territorio. Il vertice ha rappresentato un risultato significativo nel quadro degli impegni internazionali finalizzati a fronteggiare i cambiamenti climatici, dopo un lungo periodo di stagnazione. Il nuovo accordo globale vincolante sul clima, l'Accordo di Parigi, conferma il limite di aumento della temperatura entro i 2°C ma pone l'obiettivo di scendere al di sotto di tale valore per raggiungere quello del 1.5°C rispetto ai livelli pre-industriali

(http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it).

Sarà possibile ottenere tale risultato solo attraverso la capacità di ridurre a zero le emissioni antropiche di gas serra durante la seconda metà del XXI secolo. La rilevanza di tale incontro risiede inoltre, nella adesione all'accordo da parte della Cina, dell'India e degli Stati Uniti d'America. Il testo considera un processo di revisione degli obiettivi che dovrà svolgersi ogni cinque anni. Infine l'accordo prevede l'obbligo per i paesi industrializzati di erogare finanziamenti per il clima per i paesi poveri, mentre i paesi in via di sviluppo sono invitati a contribuire su base volontaria.

Il progresso della COP 21 rispetto ai precedenti vertici, risiede anche nel parallelo svolgimento del *Climate Summit for Local Leaders* (<http://climatesummitlocalleaders.paris>). Tale incontro costituisce una ulteriore testimonianza della presa di coscienza del ruolo della scala locale nella lotta ai cambiamenti climatici. Oltre mille rappresentanti locali si sono riuniti per discutere e impegnarsi allo scopo di tracciare un percorso condiviso verso un futuro *low carbon*. A valle del Summit è stata stilata la *Paris City Hall Declaration*, la dichiarazione attraverso cui i leader locali hanno voluto ribadire il loro impegno ad affrontare i cambiamenti climatici per proteggere l'ambiente e assicurare un futuro sostenibile anche attraverso strategie di resilienza e piani di adattamento entro il 2020 (<http://www.afriquelocale.org/en>). La strutturazione di un incontro appositamente indirizzato ai rappresentanti delle realtà locali è indicativo di una crescente sensibilizzazione e di un decentramento del focus di interesse verso la scala urbana. In questa cornice, ancora, in via di delineazione, gli obiettivi condivisi e ambiziosi, a breve e lungo termine, individuati nella dichiarazione esprimono efficacemente la necessità di una maggiore autorità a tutti i livelli di governo. Una coordinazione tra diverse scale di intervento e tra figure professionali operanti nei diversi settori (Ranhagen & Lundstöm, 2016), infatti, può essere ritenuta decisiva nell'affrontare una questione globale declinandola attraverso strategie locali e strumenti specifici e contestualizzati.

1.3 La dimensione interdisciplinare e interscalare e l'approccio *Glocale* delle politiche urbane

Affrontare le implicazioni derivanti dai Cambiamenti climatici richiede un approccio interdisciplinare che abbracci trasversalmente temi e discipline, dalla dimensione politica a quella economica, dalla tecnica alla progettazione (Bulkeley et al., 2010; Jasonoff, 2010). Possibili soluzioni possono provenire da diverse discipline e campi di ricerca a diverse scale di azione.

L'integrazione tra vari settori tradizionalmente analizzati in maniera indipendente diviene una questione chiave per gestire il cambiamento del clima nelle aree urbane in quanto ne permette una comprensione a tutto tondo, mettendo in relazione anche le diverse scale di intervento (globale, regionale e locale) ed evidenziandone le interazioni di tipo urbano. La dimensione interdisciplinare e interscalare consente di riconoscere la potenzialità degli effetti combinati delle misure intraprese che invece, verrebbe tralasciata adottando un approccio disciplinare specifico e univoco. Azioni applicate in rispondenza a politiche specifiche di settore a livello locale possono essere idonee a rispondere a più ampie questioni strategiche e gestionali a scala regionale e nazionale, contribuendo fortemente al raggiungimento degli obiettivi. La rilevanza del livello locale nelle politiche urbane è il risultato del duplice ruolo giocato dalle aree urbane. Una significativa porzione di emissioni è infatti prodotta a livello locale, proprio dalle funzioni svolte nelle città, che le mettono, con un grado di consapevolezza crescente negli ultimi anni, in pericolo, subendo gli impatti e gli effetti dei cambiamenti climatici (Gupta et al., 2007). La diluizione temporale del rischio a cui la città è esposta, infatti, rende meno avvertibile la pericolosità delle attività e dei comportamenti che prendono forma nelle configurazioni urbane e la relativa distribuzione e intensità (Fistola, 2009). La consapevolezza della relazione tra gli impatti locali degli eventi esterni subiti, le attività svolte e le configurazioni spaziali ha iniziato a permeare la disciplina urbanistica nel suo complesso, conferendole un'accezione nuova, espressa e sintetizzata nelle numerose definizioni diffuse recentemente quasi a sottolineare in maniera incisiva i nuovi campi

di azione e le opportunità offerte dalla pianificazione urbana nella gestione del rischio climatico urbano: *Pianificazione Climate Proof* (Musco et al., 2014); *City climate action planning* (Boswell et al., 2012; UNHABITAT, 2015); *Urban resilience planning* (ICLEI in www.iclei.org, WRI in www.wrirosscities.org). Queste rappresentano indistintamente la transizione in corso dall'urbanistica convenzionale e tradizionale verso un approccio nuovo informato e orientato a rispondere alla domanda sociale di sicurezza, la quale richiede, altresì, un aggiornamento delle politiche, delle pratiche e degli strumenti impiegati. Le istanze cui le città contemporanee sono sottoposte, a differenza dal passato, hanno una caratterizzazione multidisciplinare, sconfinano da un singolo livello di scala e coinvolgono una moltitudine di soggetti (Pasimeni et al., 2014). La 'protezione del clima e dal clima' che caratterizza il sistema di gestione del territorio, dunque, determina un complesso di politiche definite a tutte le scale, che prevedano l'applicazione congiunta di interventi per la mitigazione e l'adattamento (Musco et al., 2014). Individuate come le due fondamentali risposte ai cambiamenti climatici, mitigazione e adattamento, data la loro impostazione antitetica, sono stati tradizionalmente trattati come programmi separati. Tuttavia l'orientamento disciplinare attuale è stato ribaltato, puntando sull'integrazione dei due approcci. Pertanto, la sinergia tra mitigazione e adattamento, nel governo del territorio, si dota di una valenza strategica che si manifesta nella gestione simultanea delle diverse scale di azione (approccio interscalare), dei molteplici settori di intervento (approccio interdisciplinare) e della conseguente pluralità di attori coinvolti. Su questi fattori (scala di azione e attori coinvolti) e sulla dimensione temporale si imperniano le maggiori differenze tra la mitigazione e l'adattamento. Il concetto di *Glocale* (Gupta, 2007) racchiude l'approccio interscalare derivante dalla sinergia tra la mitigazione, che ha esiti a livello globale ovunque sia applicata, e l'adattamento, il cui campo di intervento è piuttosto quello locale, legato al luogo ove si verificano gli impatti (Biesbroek et al., 2009; Klein et al., 2005). Lo sforzo per una sinergia genera una complessità di relazioni, prima ignorata. La coordinazione di misure mitigative e adattive con altre discipline dà origine a una relazione di tipo orizzontale; nel caso in cui si coinvolgano più

scale di intervento, la relazione è di tipo verticale; infine, si determina una relazione di tipo diagonale se vengono interrelati più settori a diverse scale (Biesbroek et al., 2009).

Contestualmente, poiché i cambiamenti climatici non possono essere arrestati completamente (Stern, 2007) a causa dei tempi di risposta molto lunghi del sistema climatico terrestre, la sinergia tra mitigazione e adattamento fornisce un valido contributo nel colmare il gap temporale ottenuto adottando solo uno dei due approcci. Oltre alla scala spaziale, Klein (Klein et al., 2005) ha, infatti, individuato nella scala temporale una delle principali differenze tra i due approcci. Dal punto di vista temporale, i benefici di una mitigazione messa in atto in un dato momento saranno visibili nei decenni successivi, in quanto i gas climalteranti hanno una lunga permanenza in atmosfera. A contrario, le misure di adattamento possono essere considerate come una risposta immediata ai cambiamenti climatici che permetteranno di gestirne gli impatti futuri. La *Stern Review* (Stern, 2007) considera l'adattamento come l'unica formula per contrastare gli impatti dei cambiamenti climatici che si verificheranno nei prossimi decenni prima che le misure di mitigazione possano avere effetto. Parallelamente, la mitigazione può essere intesa come la principale forma di adattamento (Howard, 2009), la cui relazione permetta di evitare di intraprendere azioni che rendano più complesso affrontare il cambiamento del clima nel futuro. Di conseguenza, ai fini di un'integrazione costruttiva, che porti ad un definitivo affrancamento dal continuo stato di emergenza dovuto alle catastrofi climatiche (remote, recenti e potenziali) imperanti, "l'interfaccia" tra mitigazione ed adattamento deve essere compresa e analizzata mediante la valutazione delle relazioni di causa ed effetto dell'una sull'altra. Tale analisi, sviluppata da Howard (2009), viene condotta in termini di vantaggio, neutralità ed ostacolo. La relativa concettualizzazione è rappresentata nel diagramma seguente, a supporto della necessità di una analisi approfondita della relazione tra la mitigazione e l'adattamento nella selezione di pratiche di pianificazione.

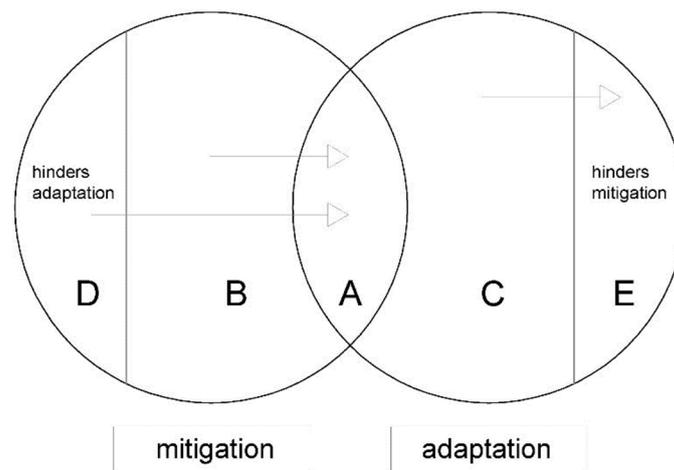


Figura 2: Relazione tra mitigazione e adattamento
Fonte: Howard (2009)

Considerando due insiemi contenenti esclusivamente misure di mitigazione e di adattamento, l'intersezione degli insiemi (A) rappresenta il complesso delle misure che afferiscono contemporaneamente alla mitigazione e all'adattamento (ad esempio la piantumazione degli alberi). I sottoinsiemi indicati con (B) e (C) contengono le azioni di mitigazione e adattamento che non generano alcun effetto vicendevole, e che, dunque, possono essere ritenute neutrali (alcuni esempi sono: l'uso di energie da fonti rinnovabili e la raccolta delle acque piovane). Le porzioni di insieme identificate dalle lettere (D) ed (E), a contrario, includono rispettivamente misure di mitigazione che potrebbero ostacolare l'adattamento e viceversa, misure di adattamento che potrebbero intralciare la mitigazione (ne sono un esempio: rispettivamente la produzione di biodiesel o il condizionamento dell'aria). Tuttavia, possono verificarsi delle relazioni che si instaurano nel tempo e che superano la staticità dello stato descritto, rappresentate, nel diagramma, dalle frecce. Queste descrivono le implicazioni temporali e spaziali che esistono nella relazione tra la mitigazione e l'adattamento. Se si accettasse la condizione per cui le azioni di mitigazione che non contrastano le azioni di adattamento nell'immediato (B), e le azioni di mitigazione che pur nel breve termine ostacolano l'adattamento (D), possano avere un effetto di riduzione della necessità di adattamento al lungo termine, le azioni contenute in (B) e in (D) traslerebbero in (A). Le azioni di adattamento che, nel breve termine, non

forniscono alcun contributo alla mitigazione (C), non vengono considerate azioni di adattamento efficienti nel lungo termine, venendo traslate in (E). In tal modo, una istantanea del diagramma a insiemi in un orizzonte temporale lontano vedrebbe una estensione del sottoinsieme (A) che verrebbe a contenere un maggiore numero di misure che hanno effetti sia di mitigazione sia di adattamento.

Su questi assunti, Howard struttura l'interfaccia tra mitigazione e adattamento includendo considerazioni sulla scala (locale/globale) e sull'orizzonte temporale (breve/lungo termine).

Dal confronto delle tesi di Stern e Howard risulta evidente lo stretto legame e la complementarità intercorrente tra i due approcci di risposta ai cambiamenti del clima.

Tale relazione può essere riassunta nello schema seguente che mette in evidenza la relazione tra mitigazione e adattamento e il rapporto tra le relative misure ed i potenziali risultati nel breve e lungo termine.

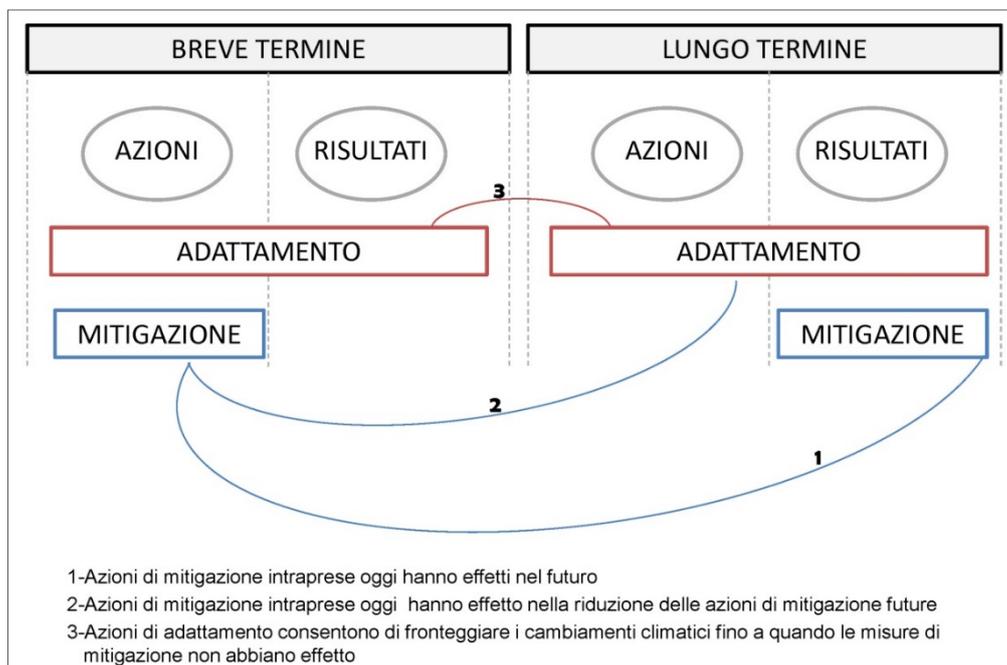


Figura 3: Schema di interazione tra le misure di mitigazione e adattamento. In blu le relazioni dirette che hanno luogo da misure di mitigazione. In rosso le relazioni che derivano da azioni di adattamento.

A qualunque categoria (Adattamento o mitigazione) appartengano, le misure sono per loro natura caratterizzate dal binomio *urgenza e cambiamento*. Ciò deriva, in primo luogo, dalla condizione di irreversibilità dei processi legati ai cambiamenti climatici, e per tale ragione, risulta necessaria un'azione immediata per contrastarne gli impatti futuri e rendere più semplice ed efficace l'adattamento (UNEP, 2010). In secondo luogo, poiché gli effetti obbediscono al principio di accumulazione, più lungo è il tempo necessario per abbattere le emissioni, più difficile sarà intervenire e ottenere l'inversione del trend (World Bank, 2010).

I principi di integrazione tra mitigazione e adattamento sono sostenuti anche nel quinto rapporto (AR5) redatto dall'IPCC (IPCC, 2014), il quale, riallacciandosi alla visione di Howard, sottolinea il potenziale della mitigazione per ridurre le azioni di adattamento. Tale integrazione viene vista come l'anello di congiunzione tra il fenomeno dei cambiamenti climatici e le politiche di sviluppo sostenibile. Nel rispondere alla sfida dei cambiamenti climatici, si coinvolgono, infatti, processi di valutazione e gestione del rischio che prendono in considerazione adattamento, mitigazione, equità e sostenibilità. In questa relazione, la pianificazione urbana e territoriale assume un ruolo commutativo tra i cambiamenti climatici e le azioni di mitigazione e adattamento, mostrando un efficace potenziale nel gestirne le complessità e le incertezze (Biesbroek et al., 2009) e nel rispondere agli obiettivi comuni di mitigazione e adattamento, mediante strumenti differenziati e complementari (Davoudi et al., 2009). Tuttavia, pur riconoscendo e legittimando tale assunto, restano in campo perplessità che riguardano la concretezza e il pragmatismo dei risultati effettivi ottenuti dall'applicazione delle pratiche della disciplina urbanistica (Bulkeley, 2009). Tali incertezze possono essere giustificate da forme di maladattamento (Swart et al., 2014) che derivano da una parziale o totale assenza di un approccio di tipo *site-specific* (Musco et al., 2014) a livello strategico sia in termini di analisi, sia di progetto. Le peculiarità di ogni territorio sono l'esito di una combinazione di processi socio-economici e bio-fisici e fanno sì che non esista una formula univoca né nelle strategie né negli strumenti di cui dispone la disciplina urbanistica per rispondere ai cambiamenti climatici

(Biesbroek et al., 2009). La potenzialità di compatibilità e di sinergia delle azioni sono oggetto di analisi all'interno del contesto in cui esse stesse si originano e si applicano. Le specificità contestuali diventano, dunque, l'occasione per la costruzione di strumenti tecnici *site-specific* a supporto di scelte strategiche e politiche urbane orientate a obiettivi generali di sostenibilità, che indirizzino la transizione verso configurazioni *low-carbon*. Risulta calzante, in questo contesto, l'interpretazione di pianificazione spaziale, così definita da Simin Davoudi (2009) quale la "soluzione legata alla specificità locale orientata allo sviluppo sostenibile, che coinvolge i processi attraverso i quali sono progettate, valutate negoziate e concordate le opzioni per lo sviluppo e la trasformazione dei luoghi in termini politici, regolatori e di investimento³". La pianificazione spaziale, dunque, costituisce in questa chiave di lettura, una componente di *governance* essenziale per rispondere efficacemente ai cambiamenti climatici e alle sfide dello sviluppo sostenibile urbano. Poiché, infatti, le politiche climatiche si doterebbero di una maggiore efficacia se inquadrare in strategie di maggiore respiro e finalizzate alla sostenibilità, il ruolo della pianificazione urbana e dei relativi strumenti diviene particolarmente significativo, nella sua capacità di integrare, coordinare politiche, investimenti e regolazioni (Davoudi, 2009).

³ Place-based problem-solving aimed at sustainable development. It involves the process through which the options for the development of places are envisioned, assessed, negotiated, agreed and expressed in policy, regulatory and investment terms.

2. CITTÀ ED ENERGIA

The proportion of global energy consumed in cities is greater than the proportion of the world's population living in cities.

International Energy Agency (2008)

2.1 La dimensione energetica della pianificazione urbana

La relazione tra gli usi energetici, il clima, il territorio e lo sviluppo sostenibile è stata rimarcata da una sempre maggiore consapevolezza delle cause e degli effetti dei cambiamenti climatici sulle aree urbane (Pasimeni et al., 2014).

È noto che la produzione ed il consumo di energia direttamente ed indirettamente influenzano il processo di cambiamento del clima in atto, contribuendo a modificare la concentrazione di anidride carbonica e degli altri gas climalteranti in atmosfera (Alcamo et al., 2005). L'effetto serra che ne deriva aggiunto a quello naturale, genera il riscaldamento globale che, non soltanto condiziona il clima, ma ha effetti anche sulla qualità della vita (Caldeira et al., 2003). I cambiamenti climatici sono fortemente influenzati dal settore energetico, il quale a sua volta è soggetto ai relativi impatti ed effetti avversi (Wilbanks et al., 2007). Nello specifico la produzione ed il consumo di energia incidono per i due terzi delle emissioni mondiali di gas climalteranti (IEA, 2015), e non va sottovalutato il parallelismo tra la crescita dei livelli di urbanizzazione mondiale e l'emergere della questione dei cambiamenti climatici a livello internazionale (UNHABITAT, 2008). I considerevoli consumi energetici che si

registrano nelle aree urbane sono dovuti al gran numero di attività che vi vengono svolte e che rendono le città responsabili della frazione maggiore di prodotto interno lordo delle nazioni. Nelle aree urbane si rende evidente, infatti, la relazione tra l'assetto del territorio, le destinazioni d'uso e l'energia. L'influenza di quest'ultima sul territorio è ravvisabile in maniera diretta, ad esempio, nella localizzazione e gestione degli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili e nella scelta di colture finalizzate alla produzione di biocarburanti, che sono in grado di generare cambiamenti sostanziali nell'uso del suolo (Dale et al., 2011a; Dale et al., 2011b). La relazione tra i due fattori è bidirezionale, in quanto anche le scelte sul territorio (*sprawl*, destinazioni d'uso) hanno degli impatti sui consumi e sulla produzione energetica e, dunque, indirettamente sui cambiamenti climatici. Territorio, energia e cambiamenti climatici vengono così a costituire i nodi di una triplice connessione che deve conformare ed informare le scelte su ciascuno dei tre elementi, affinché la complessità insita nei sistemi urbani e il rischio posto su di essi possano essere gestiti.

Tuttavia, in questo contesto, il dibattito scientifico in corso si è focalizzato sulle strategie per mitigare le emissioni di gas serra e, in particolare, sul miglioramento dell'efficienza energetica, sull'introduzione di tecnologie avanzate e sullo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili. La sfida è stata accolta da diverse discipline, che hanno adoperato un approccio specialistico, concentrando analisi, modellazioni e innovazioni su specifici settori. Se da un lato, tale sistema ha permesso di raggiungere risultati significativi, in particolar modo in campo tecnologico e politico, favorendo il percorso di transizione verso la decarbonizzazione attraverso il miglioramento dell'efficienza energetica e la riduzione dei consumi, dall'altro ha trascurato i rapporti intercorrenti tra i settori stessi. A questo si aggiunge una consueta indifferenza ai temi energetici da parte della disciplina urbanistica, dovuta verosimilmente alla mancata comprensione della complessa relazione tra gli usi energetici e il territorio. Pertanto, è stato colto con immenso ritardo il ruolo giocato dalla pianificazione territoriale nel generare ambienti urbani che possano supportare stili di vita e comunità meno energivori anche in una

prospettiva di raggiungimento degli obiettivi energetici comunitari. Le questioni energetiche in ambito urbano sono, state infatti, per lungo tempo confinate all'interazione energia-edifici, principalmente residenziali, energia-impianti, ignorando quasi completamente il campo dei trasporti, in cui l'interesse è stato concentrato sull'efficienza energetica dei mezzi e sulla produzione di nuove formule di combustibili.

Questa tendenza ha permeato, pur con fasi di interesse altalenanti, una continua condizione di assenza programmatica e strategica nelle decisioni urbanistiche, che hanno sofferto di una mancata integrazione a considerazioni di tipo energetico. Tale integrazione nei temi e nei processi di pianificazione urbanistica è indispensabile affinché la dimensione urbana goda di un approccio più sostenibile alla produzione e all'uso di energia (ALTERENERGY, 2015). Senza l'intervento della pianificazione è improbabile che le strutture urbane evolvano verso configurazioni meno energivore (Owens, 1986).

Un primo interesse nella relazione tra urbanistica ed energia compare alla fine degli anni '70 in occasione del congresso *dell'International Society of City and Regional Planners* (ISOCARP) tenutosi a Strasburgo nel 1979 dal titolo "Planning and energy". Tuttavia, pur segnando un momento di svolta nella tradizione disciplinare, il legame tra pianificazione territoriale ed energia è affrontato con una chiave di lettura ben lontana dagli orientamenti contemporanei.

In quello scenario, la lettura contestuale della tematica energetica si basa sulle problematiche della produzione e distribuzione di energia, sulla infrastrutturazione del territorio, sulle fonti energetiche e su proiezioni future sui consumi, analizzando le relative ricadute sul territorio e sull'uso del suolo. La prospettiva con cui tali questioni sono argomentate è futura, il riferimento alla condizione sincrona è pressoché inesistente, indicativo di una mancata percezione del tema energetico come problematico o emergenziale, quanto piuttosto positivista. Ciononostante, alcuni orientamenti, che si rafforzeranno successivamente, sono già delineati in questo momento storico che segue la crisi energetica degli anni '70 ma precede di quasi 10 anni la definizione di sviluppo sostenibile.

In prima istanza, viene esaminato il ruolo degli urbanisti. Emerge in maniera chiara che i pianificatori non debbano necessariamente essere degli esperti in materia energetica, piuttosto la loro professionalità deve essere dimostrata nella capacità di confrontarsi con gli aspetti di interfaccia tra pianificazione ed energia. Le implicazioni interdisciplinari e interscalari del tema energetico permettono di sviscerarlo, rivelando un ventaglio di possibili approfondimenti che giustificano la tendenza alla cautela nelle scelte.

Con il presupposto che ogni intervento sulle infrastrutture abbia una natura di lungo termine, viene evidenziato come i processi di pianificazione urbana che riguardano le infrastrutture (anche energetiche) abbiano un orizzonte temporale lungo (uno o più decenni). Le analisi portate avanti mirano, dunque, ad esaminare e comprendere il significato dettato da cambiamenti strutturali nel lungo termine e le difficoltà riscontrabili in una programmazione a breve termine (Hafele, 1980). Gli studi di quegli anni prevedevano che al 2000 la situazione energetica generale fosse gestibile, nel senso che sarebbe stato possibile coprire la domanda energetica all'inizio del nuovo millennio senza troppe difficoltà. Dunque, l'immagine che emerge dal congresso è quella di una situazione energetica determinata da risorse limitate per un mondo percepito, invece, come infinito. Il sistema energetico del futuro (al 2030) era invece avvertito come in grado di fornire energia praticamente infinita ma per un mondo finito. La transizione tra i due sistemi, costituiva l'oggetto di studio della pianificazione territoriale. Uno dei fattori selezionato come determinante nelle scelte pianificatorie per lo sviluppo mondiale era l'incremento della popolazione, stimata, durante il congresso, di almeno 8 miliardi di abitanti per il 2030, mostrando delle ottime capacità previsionali dal confronto con i dati odierni: la popolazione mondiale al 2015 è infatti di 7,4 miliardi di abitanti. Le previsioni riguardavano anche la capacità dei paesi in via di sviluppo di mettersi al passo, prevedendo per essi un secolo di disallineamento rispetto alle nazioni sviluppate. La necessità di fornire energia per queste quantità implicava lo studio dei tipi di infrastrutture da sviluppare per l'orizzonte temporale selezionato. Viste le potenziali richieste di energia che si sarebbero sviluppate in linea con l'incremento della popolazione e le differenze di intensità tra i paesi

e tra diverse zone all'interno dei confini nazionali, si dava forma al dibattito sui tipi di fornitura energetica considerati più idonei (centralizzato o distribuito), sulle fonti su cui basare i futuri investimenti per poter assicurare energia per 8 miliardi di persone. L'energia era considerata come un indicatore dello sviluppo e del benessere economico di un paese. In tal senso, i miglioramenti economici nei paesi in via di sviluppo venivano a determinare domande energetiche nuove e le possibilità economiche conformavano la disponibilità energetica. Tuttavia, lo sviluppo economico dei paesi in crescita mostrava una stretta relazione funzionale con le economie dei paesi sviluppati.

Venivano riportate, inoltre, alcune stime tecniche (potenzialità e limiti tecnologici) delle diverse fonti energetiche, dando una prima dimostrazione della consapevolezza del contributo che le fonti rinnovabili avrebbero avuto nella futura fornitura energetica mondiale. In questo contesto, venivano messe le basi delle future scelte politiche che hanno indirizzato l'economia e il settore tecnologico industriale degli ultimi decenni. Infine un altro importante quesito emerso durante il confronto ha riguardato la modalità di studio della compatibilità territoriale tra le nuove risorse utilizzate e le potenzialità del territorio nel futuro, chiedendosi se gli usi energetici futuri sarebbero stati congruenti rispetto a quelli percepiti negli anni settanta e dunque le modalità di programmazione di una città che possa soddisfare pienamente i bisogni correnti e quelli futuri.

È, dunque, evidente che la questione energetica, seppur con fasi di maggiore intensità, ha costituito un filone di ricerca mantenutosi nel tempo, che si è, nondimeno, dovuto adattare e plasmare a nuovi approcci. La relazione tra energia, limitatezza delle risorse ed inquinamento, inizialmente esclusiva, si è arricchita di contenuti attraverso stretti legami, come ampiamente delineato, con lo sviluppo sostenibile, il rischio e i cambiamenti climatici.

Nonostante un interesse marginale altalenante, la questione energetica ha da sempre influenzato le dinamiche del territorio. La relazione tra energia e territorio ha, infatti, le sue radici nel passato (Owens, 1992) condizionando le scelte localizzative e le trasformazioni urbane. Il contributo di S. Owens nel

quadro disciplinare è fondamentale nell'aver messo in luce il binomio pianificazione ed energia, mostrando la relazione tra i consumi energetici e l'organizzazione spaziale del territorio. Il progressivo avanzamento tecnologico, la configurazione delle reti infrastrutturali, la diffusione dell'auto come bene di consumo associati a una contrazione dei costi dell'energia sono stati fattori determinanti per il definitivo svincolamento spaziale tra l'ambiente costruito e la produzione e distribuzione dell'energia (Owens, 1992). La relazione tra il sistema energetico e la struttura territoriale della società è complessa e dinamica. Le funzioni urbane, la loro configurazione spaziale e le dinamiche socio-economiche sono strettamente interrelate alla natura, disponibilità e costo delle fonti energetiche. L'interazione avviene sia dal punto di vista della domanda energetica sia della possibilità di apportare modifiche al sistema di offerta. La tesi sostenuta da Owens prevede che l'inclusione nella disciplina urbanistica, dell'efficienza energetica e delle implicazioni energetiche più in generale, permetta non soltanto di colmare il divario tra la pianificazione energetica, mirata principalmente alla sicurezza energetica e alla riduzione dei consumi, e la pianificazione del territorio; ma anche di occuparsi delle relazioni che vengono tralasciate dalle iniziative che rispondono a un approccio settoriale.

S. Owens, aveva individuato già nel 1992 due principi, che risultano ancora attuali, per perseguire l'efficienza energetica nelle aree urbane. Il primo principio prevede che nelle aree consolidate si possa raggiungere un alto livello di efficienza energetica attraverso una pianificazione spaziale che, coinvolgendo una pluralità di scale e ambiti, permetta di ridurre la necessità di consumare e di conseguenza si ottenga una riduzione del fabbisogno energetico. Il secondo principio prevede un uso energetico efficiente per rispondere ai bisogni energetici inevitabili, che non sono stati ridotti o annullati mediante il primo principio (Owens, 1992). La riduzione dei consumi e la promozione dell'efficienza energetica non vanno intesi esclusivamente come un fine cui la pianificazione debba tendere, piuttosto, come un elemento pervasivo della disciplina, mezzo per raggiungere una prosperità e sostenibilità delle aree urbane e della società in generale.

Infine la Owens mette in luce la necessità di riconoscere le priorità. Per quanto l'inclusione dei temi energetici nella pianificazione territoriale sia necessaria per raggiungere i fini generali descritti e garantire, dunque, strutture urbane a basso consumo energetico e sostenibili, tale integrazione non deve scavalcare altri obiettivi (Owens, 1992). Una preminenza rispetto ad altri temi ed istanze contemporanee implicherebbe, infatti, una ricaduta nella monodisciplinarietà tipica della pianificazione di settore. Tuttavia, proprio la stretta compatibilità con altri temi (sociali ed ambientali), la pervasività e la correlazione con la condizione di emergenza (cambiamenti climatici) che impregna il dibattito disciplinare contemporaneo, fanno sì che la tematica energetica possa arricchire la pianificazione territoriale, la quale diviene idonea a svolgere un ruolo di colante tra la varietà di discipline interessate, grazie anche alla propria versatilità e potenzialità di rispondere ad una pluralità di obiettivi.

2.2 Temi per l'efficienza energetica urbana

Il modo in cui la città soddisfa i propri bisogni energetici è uno degli aspetti critici nella risposta ai cambiamenti climatici (World Bank, 2010). L'efficienza energetica attraversa trasversalmente la disciplina urbanistica nei temi, negli obiettivi, nelle pratiche e negli strumenti. Gli ambiti in cui l'efficienza energetica può essere perseguita sono quelli che, in ambito urbano, sono i principali responsabili di emissioni di anidride carbonica in atmosfera e dove si registrano i maggiori consumi energetici, che ad oggi sono quasi esclusivamente basati sulle fonti fossili.

Le città, infatti, coprono approssimativamente il 72% del fabbisogno energetico totale mediante fonti fossili: carbone, petrolio e gas (UNHABITAT, 2008). I dati statistici al 2010 dell'International Energy Agency (IEA), indicano che le fonti rinnovabili coprono circa il 13% della produzione energetica globale (IEA, 2012). Dal Bilancio Energetico Nazionale (BEN) risulta che in Italia le fonti di energia rinnovabile contribuiscano per il 18% alla copertura dei consumi energetici primari (MSE, 2013). La figura 4 mostra la percentuale mondiale dei consumi soddisfatti dalle diverse fonti energetiche, scindendo l'apporto proveniente dalle aree non urbanizzate da quello dovuto alle aree urbane. Per quest'ultime sono riportate anche le emissioni di anidride carbonica associate ai consumi. È palese la preminenza del contributo delle aree urbanizzate nei consumi energetici, il cui incremento è legato alla trasformazione della città in seguito allo sviluppo economico, a sua volta alimentato dalla crescita dei consumi stessi (De Pascali, 2013).

Le città contemporanee, infatti, costituiscono luoghi dove viene svolta una moltitudine di attività eterogenee ed energivore che richiedono una pluralità di servizi energetici (Rutter & Keirstead, 2012). Per tale configurazione energetica, le città divengono parte integrante del sistema energetico moderno, inteso come il processo combinato della produzione, fornitura e consumo di energia per rispondere ai bisogni della popolazione. Poiché le interazioni e le relazioni nella città avvengono tra i diversi usi del suolo tra loro e con le infrastrutture e l'ambiente costruito a scale diverse che variano dal

singolo edificio alla città intera (Walsh et al., 2011), la comprensione dei settori che consumano più energia, dei processi di trasformazione che coinvolgono le dinamiche urbane, sociali ed economiche e delle relazioni che intercorrono tra esse è molto importante per intraprendere azioni specifiche e oculate che possano contrastare i cambiamenti climatici.

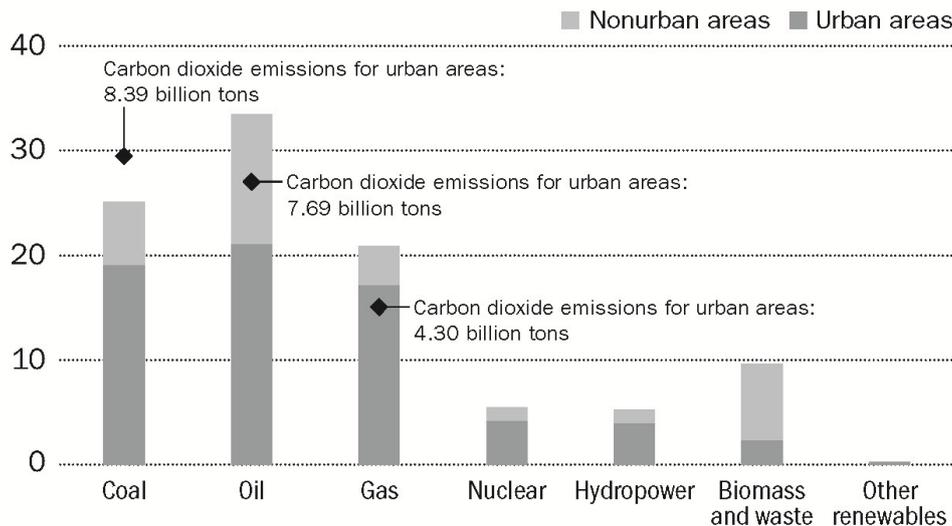
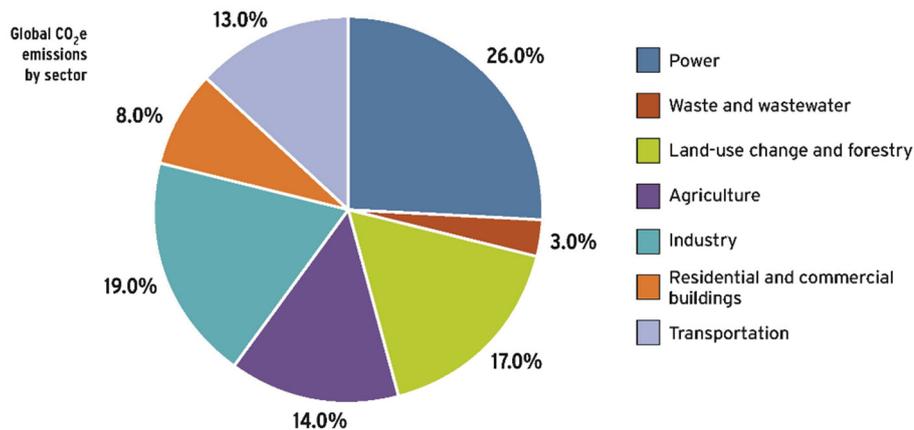


Figura 4: Fabbisogno energetico in percentuale sul totale per fonte e relative emissioni (2005)
Fonte: World Bank (2009a). *The Little Green Data Book 09*. Washington, DC

Dalla figura 5, che racchiude in un grafico la distribuzione settoriale delle emissioni di anidride carbonica (CO₂e) a livello globale, risulta evidente come i settori che possono essere definiti energetici (UNHABITAT, 2008), e cioè quelli dell'industria, degli edifici, dei trasporti e della produzione di energia, rappresentano oltre il 60% delle emissioni globali (UNHABITAT, 2008).

La figura 6 mostra i consumi energetici per settore a livello globale e in Europa. Nella finestra temporale di dieci anni che intercorre tra il 1991 e il 2001 si è registrato un incremento dei consumi a livello mondiale, 36%, che può essere analizzato nello specifico delle diverse aree del mondo.

In Europa l'incremento ha superato il 50%, nel Nord America questo è stato più lieve (18%), in entrambi i casi la distribuzione percentuale dei settori è stata approssimativamente mantenuta.



Source: World Bank 2009b.

Figura 5: Emissioni globali di Anidride carbonica per settore
Fonte: World Bank (2009b). World Development Report 2010

È pur vero che la distribuzione territoriale dei consumi energetici varia notevolmente nelle regioni del mondo, in cui gli ordinamenti giuridico-sociali e gli assetti economici sono molto differenti, e dunque le esigenze della popolazione determinano livelli diversi di consumi per ogni settore. Pur differendo nei valori percentuali, a livello nazionale i settori responsabili di oltre il 60% dei consumi energetici restano immutati: industria, trasporti ed edifici, specialmente nelle città in cui il livello di sviluppo economico è medio-alto (figura 7).

Il settore edile contribuisce per oltre la metà dei consumi in molte città, seguito da quello dei trasporti. Contrariamente, a livello industriale si assiste a una fase di calo progressivo, in particolare nelle città caratterizzate da condizioni economiche e sociali d'avanguardia, in cui il settore secondario è stato in parte sostituito dal terziario, in una prima fase, e oggi soprattutto dal quaternario.

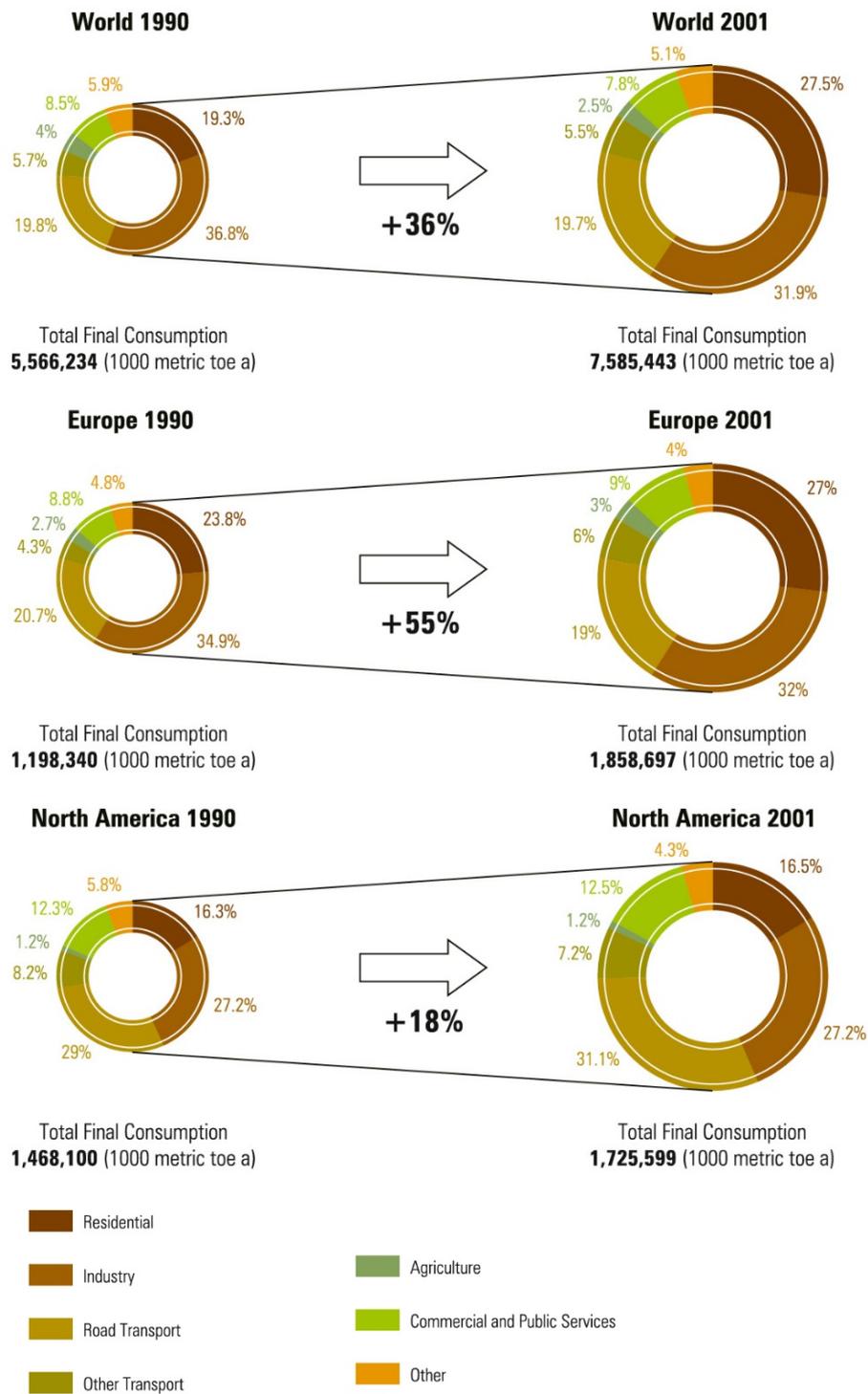
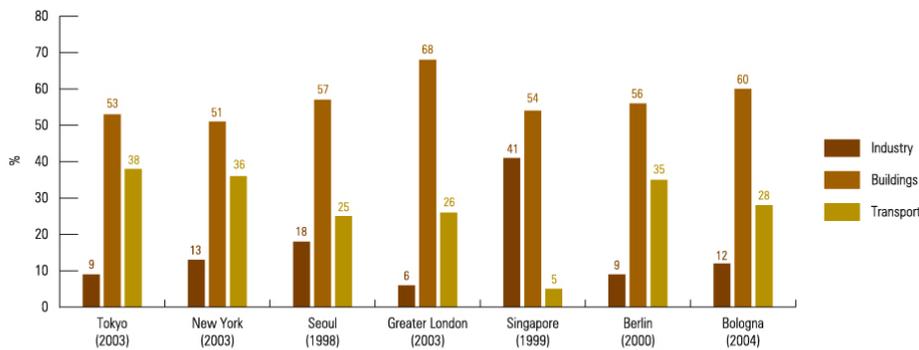


Figura 6: Consumi energetici nelle regioni del mondo tra il 1991-2001
Fonte: UNHABITAT (2008)

Un quadro più rappresentativo può essere ottenuto se, oltre alle differenze che coesistono a livello orizzontale tra le diverse nazioni, che mostrano profili energetici molto differenziati, vengono prese in considerazione gli scostamenti di tipo verticale, all'interno, cioè, del paese stesso.



Source: UN-HABITAT Global Urban Observatory 2008
Note: Data from various sources, 1999-2004

Figura 7: Consumi energetici in alcune città in Paesi dalle economie avanzate
Fonte: UNHABITAT (2008)

Le città, infatti, manifestano delle peculiarità che implicano prestazioni energetiche non rappresentative di quelle della nazione cui esse appartengono (K. Friedman & Cooke, 2011). In tal senso Friedman & Cooke (2011) hanno studiato il caso della città di New York, le cui emissioni pro capite sono inferiori di oltre il 50% rispetto alla media nazionale. A questo si aggiunge anche una diversa distribuzione nelle emissioni associate ai fattori che ne sono causa. In particolare viene messo in evidenza come, nella città di New York, siano gli edifici i maggiori responsabili delle emissioni (79%) a differenza del resto del paese in cui il mezzo di trasporto privato risulta essere la principale fonte di emissioni in atmosfera. Indubbiamente il caso di New York è da ritenersi emblematico, viste le peculiarità della città (per citarne alcune: la conformazione e la morfologia urbana, l'elevato numero di usi non residenziali e il relativo livello di specializzazione, associati ad una rete di trasporto pubblico efficiente e ad un basso tasso di proprietà delle auto). Oltre alla scala geografica, si registrano profonde differenze nella natura dei consumi anche a livello urbano (De Pascali, 2013b), tra i diversi quartieri della città. Riprendendo, l'esempio di New York e la sua peculiarità rispetto le altre città

statunitensi, si ha un'ulteriore conferma di quanto sia importante avere una conoscenza approfondita e dettagliata della distribuzione spaziale dei consumi. Le grandi differenze che si registrano negli usi e consumi energetici all'interno dei confini nazionali richiedono approcci locali differenziati nei modi e nei contenuti (De Pascali, 2013), sottolineando, ancora una volta l'importanza di sviluppare analisi e configurare politiche di tipo energetico e urbano alla scala locale, che tengano in conto i caratteri urbani che influenzano gli usi energetici insieme alle altre caratteristiche peculiari del territorio e le specificità del sito.

2.2.1 Densità, forma e accessibilità

Se le differenze di tipo orizzontale dipendono strettamente dai fattori esogeni che caratterizzano complessivamente la nazione (economie, ordinamenti giuridici, politica); a livello verticale, come già delineato per il caso di New York, i fattori coinvolti sono strettamente legati alle condizioni fisiche e funzionali locali del territorio. Forma e organizzazione urbana (modello urbano) influenzano i consumi (modello energetico) reciprocamente, costituendo relazioni complesse (De Pascali, 2013a). Tra i fattori cui si associa un maggiore contributo, riprendendo l'ampia letteratura su questo aspetto (Banister, Watson, & Wood, 1997; N. Friedman, 2006; Madlener & Sunak, 2011; Steemers, 2003; World Bank, 2010; UNHABITAT, 2008; Wilkinson, Smith, Beevers, Tonne, & Oreszczyn, 2007; Zanon & Veronesi, 2013; Di Pasqua, 2013a,b; Owens, 1986, Owens, 1992; Cervero, 2012; IPCC, 2014) si annoverano: la configurazione urbana degli insediamenti, densità e compattezza, e l'accessibilità, i quali sono tutti in qualche modo espressione del concetto di forma urbana (IPCC, 2014). Tali fattori, strettamente dipendenti l'uno dall'altro, nella loro integrazione, piuttosto che singolarmente, manifestano un ruolo significativo nell'influenzare i consumi energetici (Rickwood et al., 2008) e caratterizzano e sono espressione della relazione tra il territorio (uso del suolo) e i trasporti. Poiché questi rappresentano i settori che mostrano maggiore incidenza emissiva in ambito urbano, la profonda relazione che vi intercorre gioca un ruolo chiave nel determinare

localmente l'entità e il tipo di consumo energetico e, conseguentemente, nell'indirizzare potenziali azioni di efficienza energetica alla scala edilizia e urbana.

La densità, sia che il concetto venga declinato in termini di popolazione (ab/ha) sia in termini di spazio edificato (lff), può essere intesa come una misura del carico insediativo del territorio (Gabellini, 2001), che ne dà anche una caratterizzazione storica e dei processi socio-culturali che l'hanno interessato.

Una densità elevata è considerata indicativa di un orientamento alla sostenibilità. La dispersione insediativa e la separazione funzionale, infatti, caratterizzata da bassa densità, generano alti consumi di risorse ambientali e di energia e contribuiscono all'aumento del livello di emissioni in atmosfera, incrementando gli spostamenti e le relative distanze percorse in auto. Allo stesso tempo, la progettazione di reti di trasporto pubblico incontra le criticità di una domanda esigua e dispersa, tipica delle basse densità. Il risultato è una crescita del traffico veicolare privato che implica considerazioni relative all'energia e all'inquinamento, in quanto un'auto nella media consuma un quantitativo di energia per km e per passeggero pari al doppio di quella di un treno e a quattro volte quella di un autobus.

Alla densità va correlato il parametro della compattezza. Pari livelli di densità possono infatti essere ottenuti con diverse conformazioni urbane. La compattezza urbana può essere considerata come una forma urbana contenuta, distribuita equamente con la presenza di centralità (Owens & Hope, 1989). Seppur, densità e compattezza non costituiscano le uniche variabili in gioco nell'identificare e orientare i consumi energetici urbani, la loro integrazione è imprescindibile nel supportare reti di trasporto pubblico efficienti e la predisposizione di forme di produzione energetica alternativa. La potenzialità di produzione energetica di un luogo, in particolare, è fortemente influenzata dalla configurazione urbana, che incide anche sull'accesso alle tecnologie di distribuzione, oltre che sul fabbisogno energetico degli edifici e dei trasporti. L'appropriata progettazione degli spazi urbani comprende l'eterogeneità delle funzioni e degli usi del suolo ai fini di un equilibrio energetico.

La previsione del mix funzionale comporta una riduzione dell'uso del mezzo privato (Cervero, 2012; Owens 1992), soprattutto nelle brevi distanze, in quanto la prossimità tra diverse funzioni consente spostamenti pedonali. Nel quadro di una progettazione urbana in chiave energetica, la configurazione di aree verdi, oltre a rispondere a fini ricreativi e qualitativi dell'ambiente urbano, contribuisca alla riduzione degli effetti dell'isola di calore urbana; e, infine, è sensibile a un migliore orientamento degli edifici. Quest'ultimo ha una significativa influenza sull'accesso alla luce solare, che diviene un parametro determinante, non soltanto nella predisposizione di impianti fotovoltaici o solari termici, ma anche relativamente ai guadagni solari passivi degli edifici e ai conseguenti consumi legati all'illuminazione e ventilazione artificiale (Ratti et al., 2005). Intesa dal punto di vista strettamente morfologico, la forma urbana è, infatti, considerata uno degli elementi principali nel determinare le prestazioni energetiche degli edifici, proprio in relazione all'accesso alla luce solare (Ratti et al., 2005).

Per gli edifici, dunque, i fattori descritti interagiscono alla ricerca di un equilibrio nelle implicazioni energetiche. Attraverso la compattezza e l'alta densità, ad esempio, gli edifici beneficiano della riduzione nelle perdite di calore, ma vengono privati dell'accessibilità alla luce solare.

Il compromesso, evidenziato nel caso specifico di un singolo edificio, può essere esteso con una validità anche in termini urbani. La configurazione di insediamenti urbani ad alta densità può comportare, infatti, anche svantaggi energetici, evidenti nella necessità di incrementare la distanza tra gli edifici, caratterizzati da un cospicuo numero di piani, per consentire la penetrazione della luce e negli ingenti costi energetici per la gestione degli edifici stessi. Dunque a una riduzione della domanda energetica dovuta ai trasporti, la densità, se non accompagnata dalla multifunzionalità e dalla compattezza, non garantisce la riduzione dei consumi energetici urbani. In tal senso, aree urbane ad alta densità, con edifici di media altezza permettono di contenere i livelli energetici, assicurando l'accesso solare e la possibilità di introdurre forme di produzione energetica, ma con emissioni in atmosfera nettamente inferiori a quelle che avrebbero insediamenti a basse densità (tipologia a villa o a schiera).

È evidente che nessuno dei fattori individuati è bastevole in termini assoluti. Risulta, piuttosto, proficua per la potenzialità di insediamenti *low-carbon*, la combinazione tra densità, compattezza, mix funzionale, corredata dall'accessibilità.

Quest'ultima, infine, strettamente legata ai fattori analizzati può essere letta in una chiave socio-economica integrata a quella territoriale. Può essere definita come la potenzialità offerta da un contesto urbano ai cittadini di svolgere le attività proprie delle aree urbane e, dunque, ad accedere a servizi, a opportunità lavorative, di svago e di residenza e in generale ai luoghi nelle città (IPCC, 2014, in riferimento a Hansen, 1959; Ingram, 1971; Wachs & Kumagai, 1973). L'accessibilità fornisce un contributo ai fini energetici, riducendo la necessità di uso del mezzo privato, procurando ambienti di qualità e di sicurezza. Le comunità dotate di alta accessibilità sono infatti tipicamente caratterizzate da basse distanze e tempi di percorrenza negli spostamenti casa-lavoro, da una pluralità di scelte modali, da mix funzionale.

Vengono approfonditi di seguito alcuni settori significativi sia per la definizione dei consumi in ambito urbano, sia per la potenzialità di riduzione e di efficienza energetica, in cui i fattori descritti di densità, mix funzionale e accessibilità entrano in gioco con diverse modalità.

2.2.2 Edifici

In ambito urbano gran parte dei consumi energetici è da attribuire agli edifici (BPIE, 2011; World Bank, 2010; UNHABITAT, 2008 e 2012), in particolare a quelli residenziali. Questi sono responsabili di più del 60% (68% in Europa nel 2009) dei consumi energetici per usi finali nel settore edilizio (BPIE, 2011).

La figura 8 mostra l'evoluzione dei consumi energetici negli edifici suddivisi per fonte, dal 1990 al 2009 nei paesi dell'Europa, compresi la Svizzera e la Norvegia. Sono evidenti due trend principali: l'incremento sostanziale dell'uso di gas e di energia elettrica e il decremento del petrolio e dei combustibili solidi.

L'utilizzo di gas naturale e di energia elettrica, per l'Italia, è aumentato considerevolmente tra il 1990 e il 2010 passando dal 62% al 76% dei consumi energetici complessivi.

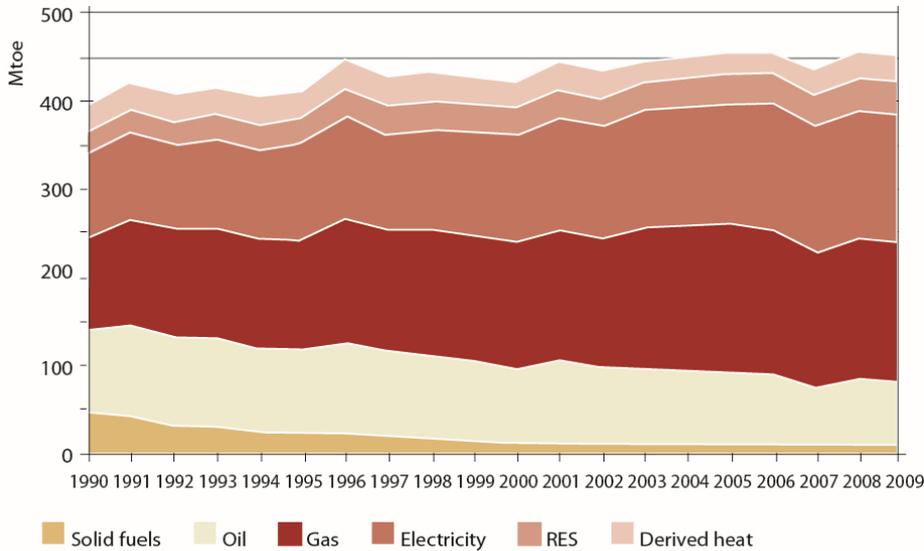


Figura 8: Consumi energetici per il settore edilizio dal 1990 al 2009 in Europa
Fonte: BPIE (2011)

I trend evidenziati vanno correlati ai principali usi energetici negli edifici residenziali dove i consumi sono prevalentemente dovuti al riscaldamento degli ambienti, seguito dall'illuminazione, dal condizionamento e dall'utilizzo degli elettrodomestici.

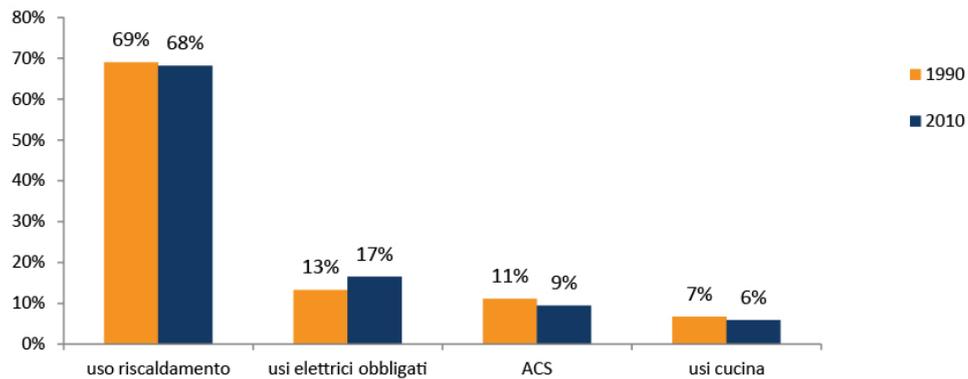


Figura 9: Confronto dei consumi per uso nel settore residenziale 1990-2010
Fonte: ENEA – RAEE 2011 (2012)

Il riscaldamento in particolare copre oltre due terzi dei consumi complessivi, risultando nel 2010 pari al 68% del totale, e tale utilizzo appare stabile nel tempo (69% nel 1990), figura 9 (ENEA, 2012).

In Italia, il consumo totale di energia per abitazione ha registrato una riduzione dell'8,3% nel 2010 rispetto al 2000, inferiore al corrispondente valore della media UE-27 pari invece a -15,5%. In particolare, i consumi elettrici per abitazione, nel periodo considerato, hanno avuto una riduzione di poco superiore al 4%, che è stata collegata alla maggiore efficienza energetica degli apparecchi sul mercato. I consumi termici per abitazione hanno subito una riduzione, ma inferiore rispetto quella raggiunta negli altri paesi europei (ENEA, 2012). Tuttavia, nonostante sia stato rilevato nell'efficienza energetica degli edifici residenziali in Europa un incremento dell'1,8% annuo nella finestra temporale che va dal 2000 al 2012, imputabile principalmente a interventi specificatamente indirizzati al riscaldamento e all'uso di energia elettrica, i risultati non sono ancora soddisfacenti e i consumi di energia negli edifici si mantengono per lo più costanti e tali da controbilanciare i miglioramenti raggiunti con le azioni di efficienza energetica. Tale fenomeno è dovuto a stili di vita e di lavoro più intensi, alla dipendenza continua della rete, alla composizione delle famiglie che, formate da soggetti sempre più anziani, richiedono all'impianto di riscaldamento temperature di esercizio maggiori rispetto agli standard previsti dal quadro normativo, al comportamento degli utenti e al relativo *effetto rebound* (ENEA, 2012; ODYSSEE-MURE, 2015; ALTERENERGY, 2015). Si intuisce che le prestazioni degli edifici dipendono da numerosi fattori tra cui l'involucro edilizio, le caratteristiche degli impianti, le condizioni climatiche e alcune condizioni sociali. In tal senso, nel settore residenziale, l'epoca di costruzione di un edificio è un parametro che fornisce indicazioni significative sulle prestazioni energetiche degli edifici stessi, in particolar modo per quelli che non hanno subito alcuna forma di ristrutturazione o *retrofitting* energetico. Infatti, i diversi miglioramenti tecnologici e gli standard imposti sono stati facilmente integrati ed attuati nel caso di edifici di nuova costruzione, che rappresentano una minima fetta rispetto al patrimonio edilizio esistente (figura 10).

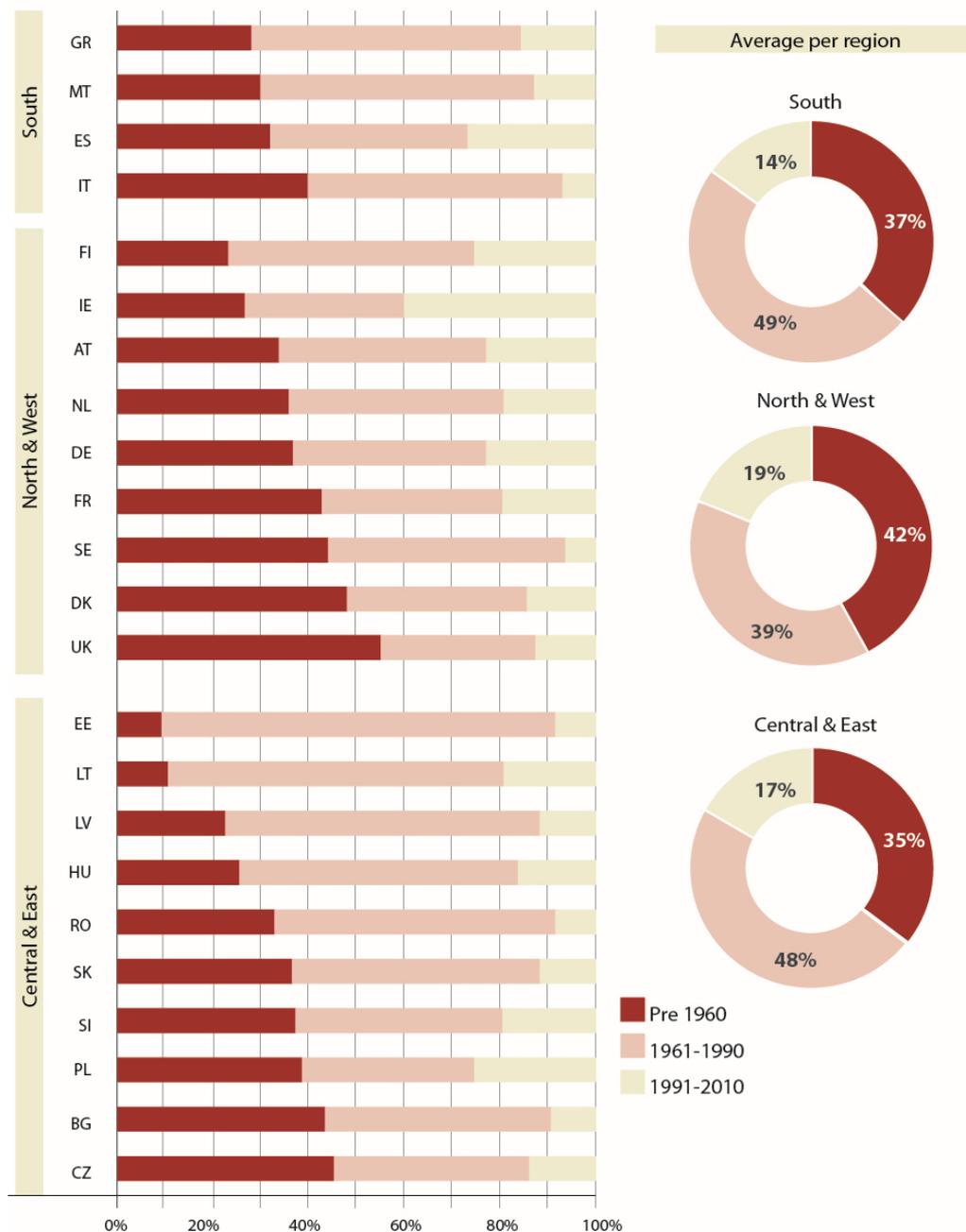


Figura 10: Profili dell'epoca di costruzione degli edifici
Fonte: (BPIE, 2011)

Il tessuto urbano presenta, infatti, una diffusa edilizia vetusta, in cattivo stato manutentivo, e solo in alcuni episodi sono riscontrati requisiti storico-architettonici tali da poter includere tali edifici nel patrimonio storico/architettonico di pregio da sottoporre a tutela. Questo fenomeno è in parte dovuto alla limitata propensione al cambiamento e alla flessibilità

mostrata dalla struttura fisica delle città nei paesi sviluppati, che coincidono nella maggior parte dei casi con quelli di più antica costituzione. Il patrimonio edilizio esistente a livello europeo è costituito da una percentuale di oltre il 40% risalente a prima del 1960, epoca in cui i requisiti energetici erano inesistenti e dunque con basse prestazioni, di cui solo una infinitesima porzione è stata sottoposta a ristrutturazione. Gli edifici più vecchi, dunque, consumano di più ed è per tale ragione che vi viene associato un grande potenziale di risparmio energetico (BPIE, 2011).

A questo si aggiunge che, come messo in evidenza da diversi studi, una percentuale compresa tra il 60% e l'80% degli edifici che saranno potenzialmente occupati entro il 2050, è già stata costruita (Friedman & Cooke, 2011) determinando un patrimonio edilizio sottoutilizzato che, nell'attesa di essere fruito, comincia a degradarsi.

Particolareggiando la condizione descritta alle circostanze nazionali, il patrimonio esistente italiano è tipico di un'espansione urbana avvenuta in una fase compresa tra il dopoguerra (in particolare negli anni del boom economico) e la fine degli anni '80. Sul territorio nazionale sono stati individuati circa 13,6 milioni di fabbricati di cui più dell'87% con destinazione d'uso residenziale. Circa 13 milioni di abitazioni si concentrano in sole cinque regioni: Sicilia, Lombardia, Veneto, Puglia e Piemonte. La Sicilia e la Lombardia, da sole, raggiungono il 24,52% del totale delle abitazioni. Sul territorio circa 700.000 edifici risultano non utilizzati, per recupero edilizio o perché in condizioni precarie di sicurezza. Infine oltre il 60% del parco edilizio residenziale (circa 11,7 milioni di edifici) ha più di 45 anni precedendo la legge 376 del 1976 (la prima legge sul risparmio energetico). Di questi edifici, oltre il 25% mostra dati sui consumi che variano da un minimo di 160 kWh/(m²anno) ad oltre 220 kWh/(m²anno) (ENEA, 2014a). I consumi del settore non residenziale, in cui sono compresi gli edifici adibiti ai servizi, al commercio e alla Pubblica Amministrazione, risultano in continua e forte crescita: circa 9,5 MTEP nel 1995 a oltre 20 MTEP nel 2010, con un incremento medio annuo pari al 3,4% (ENEA, 2012).

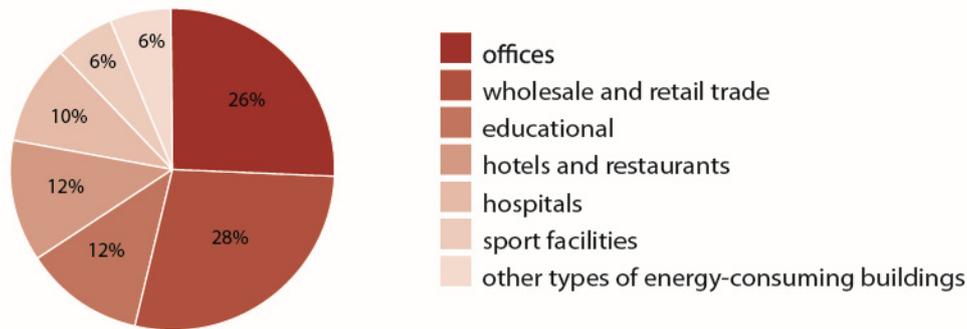


Figura 11: Distribuzione degli usi energetici per categoria di edificio

Fonte: BPIE (2011)

Nel settore terziario si evidenzia l'utilizzo quasi esclusivo del gas (50,4%) e dell'energia elettrica (45,4%). I consumi specifici medi sono nettamente superiori (circa il 40%) al settore residenziale. All'interno del settore non residenziale, le variazioni che si registrano nei consumi sono molto vaste sia tra le diverse categorie di uso sia all'interno della stessa categoria, tra diversi tipi di edifici. Si ha un'ampia varietà in termini di tipologia legata all'eterogeneità degli usi: dagli hotel alle scuole, dai negozi agli ospedali, dai ristoranti ai supermercati. In genere gli ospedali costituiscono la categoria con i livelli di intensità energetica più alti, i consumi energetici rispetto alle altre categorie non sono molto elevati. A contrario, gli uffici e gli edifici commerciali rappresentano oltre il 50% del totale dei consumi energetici, gli edifici per pubblica istruzione e quelli sportivi raggiungono il 18% circa (figura 11) (BPIE, 2011). Entrambe le categorie, residenziale e non residenziale, mostrano tecniche costruttive simili, con livelli di prestazione paragonabili.

La domanda energetica dell'intero patrimonio edilizio è destinata a crescere se l'incremento di energia utilizzata non viene compensato da un tasso di rinnovamento edilizio (Boardman et al. 2005) attuato attraverso interventi che possano generare parallelamente la messa a valore del patrimonio stesso anche dal punto di vista economico.

Al fine di ottenere significative riduzioni dei consumi, si configurano due possibili alternative per intervenire sul patrimonio edilizio esistente, il quale diventa il campo di azione preferenziale. La prima coincide con gli interventi di demolizione e successiva ricostruzione di edifici che rispondano ad elevati requisiti ecologici ed energetici. Tuttavia, in maniera piuttosto omogenea nelle

diverse realtà internazionali, il tasso di demolizione registrato è molto basso. Gli interventi di demolizione e ricostruzione mostrano, infatti, criticità legate all'inevitabile attributo di *forte autoritarità* dell'intervento stesso, alle complesse conseguenze sociali, alle lunghe tempistiche, che comporterebbero il rischio di avere oggetti edilizi nuovi ma potenzialmente obsoleti dal punto di vista tecnologico, e alla problematicità di attuazione.

Le criticità individuate, insieme all'esigenza di ottenere risultati concreti in tempi brevi e ad una forte tradizione urbanistica, hanno così reso faticoso intervenire sul disegno urbano, ad eccezione di casi di rigenerazione di aree dismesse, facendo propendere le politiche urbane nella direzione del *retrofitting*, che costituisce la seconda opzione. Vengono previsti, in tal senso, interventi sui singoli edifici che mirano a ottenere la massima riduzione dei consumi energetici e l'utilizzo di fonti rinnovabili per soddisfare la domanda energetica. Anche tale alternativa manifesta delle criticità ravvisabili principalmente nei vincoli che la configurazione degli stessi edifici può imporre sull'effettiva possibilità di effettuare interventi efficaci in grado di ridurre sensibilmente i consumi, nell'utilizzo di metodi e tecnologie obsolete e nella gestione dei costi. Nonostante tali criticità, le azioni di *retrofitting* degli edifici sono ritenute avere il più ampio potenziale di riduzione delle emissioni in atmosfera nel settore edilizio (UNEP, 2008). Isolamento termico, sostituzione degli infissi, miglioramento degli impianti sono i tipici interventi di efficientamento energetico sugli edifici esistenti. A questi si vanno aggiungendo i sistemi di produzione energetica, elettrodomestici più performanti, utilizzo di lampade più efficienti e la ventilazione naturale. In Italia, in particolare, il riconoscimento delle detrazioni fiscali per la riqualificazione energetica ha giocato un ruolo fondamentale nello sviluppo dell'efficienza energetica nel settore residenziale. In otto anni (2007-2014) sono state trasmesse più di due milioni di richieste di detrazione all'ENEA, ente responsabile della gestione del meccanismo, con picchi nel 2013, dovuti all'incremento dal 50% al 65% previsto dalla L.90/2013 (ENEA, 2014b). A tali meccanismi, va riconosciuto anche il merito di aver contribuito a contenere la crisi del mercato dell'edilizia, indirizzando gli interventi nel campo

edilizio verso il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio esistente (ENEA, 2014b).

La figura 12 esprime l'efficacia degli interventi sugli edifici in termini di riduzione dei consumi energetici. La progettazione sostenibile, che tenga in considerazione le caratteristiche della forma e dell'orientamento degli edifici, che sia consapevole delle opzioni tecnologiche, è il criterio primario che permette di ottenere alti risparmi energetici a costi limitati. Il livello successivo riguarda la riduzione dei consumi energetici mediante l'utilizzo di strumenti ed elettrodomestici di ultima generazione, ad alta efficienza energetica. L'adozione delle misure comprese nei primi due livelli permetterebbero di apportare un risparmio energetico di tre quarti sul totale per abitazione (UNHABITAT, 2012).

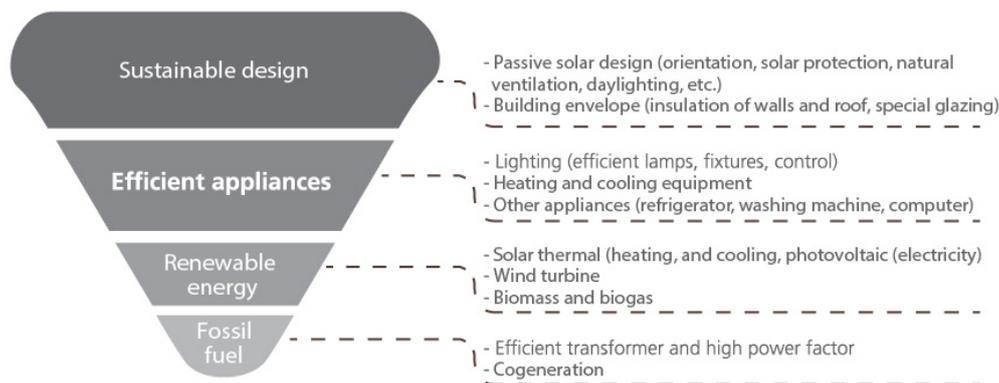


Figura 12: Piramide Energetica per gli edifici
Fonte: UNHABITAT (2012)

Tuttavia, questo grande potenziale, nonostante la relativa semplicità di realizzazione degli specifici interventi puntuali, è stato contrastato da una pluralità di problematiche di attuazione combinate, che possono essere classificate (secondo la categorizzazione del BPIE, 2011) in barriere di tipo finanziario, istituzionale ed amministrativo, informativo e formativo e, infine, dovute alla separazione tra costi e benefici. Le barriere di tipo finanziario sono diffuse in tutta Europa e sono considerate tra quelle che hanno maggiori risvolti concreti, necessitando, dunque, di priorità nello studio di formule che consentano il superamento di tali difficoltà economiche. Queste ultime sono legate all'impossibilità di disporre delle risorse economiche per affrontare le

spese necessarie, alla difficoltà di accedere agli incentivi spesso messi a disposizione, ai lunghi tempi di ritorno degli investimenti. Dal punto di vista istituzionale e amministrativo, le barriere si concretizzano principalmente nell'ampio apparato burocratico e regolativo e nella lentezza di recepimento nazionale delle direttive europee. Nel caso italiano, la condizione frammentaria della disciplina urbanistica non ha permesso all'ente pubblico di assumere il ruolo trainante per il conseguimento dell'efficienza energetica negli edifici. Nella stessa categoria, si include la difficoltà strutturale, ampiamente descritta, di operare con edifici vecchi e quella legata alla pluralità di soggetti coinvolti, soprattutto nei casi di multiproprietà in cui può risultare eccessivamente complesso trovare un accordo economico e un consenso relativo alla scelta degli interventi. La terza classe, infatti, comprende principalmente la mancata informazione e condivisione della problematica energetica tra i diversi soggetti, che comporta un ritardo di azione, rimandata solo al momento in cui diviene strettamente necessario. In altri casi, seppur si abbia una conoscenza generale, questa si dimostra superficiale, mancando del tutto l'informazione della relazione tra i risultati conseguibili e le misure implementabili. Spesso, mancano, inoltre, figure esperte in grado di colmare tali *gap* di conoscenza. Infine, la quarta categoria si riferisce al disaccoppiamento tra il proprietario dell'immobile e l'utente, situazione comune nelle regioni in cui l'affitto è più diffuso della proprietà. La divergenza di interessi tra locatario e locatore non può essere affrontata esclusivamente con meccanismi regolatori o strumenti informativi, sono necessari piuttosto pacchetti di misure appositamente orientate, affinché possa confrontarsi con un grado di complessità molto superiore rispetto agli altri casi.

2.2.3 Trasporti

Il consumo finale di energia del settore dei trasporti nei Paesi dell'Unione Europea è stato nel 2006 pari a 370,4 milioni di TEP. I consumi energetici del settore hanno registrato una crescita a un tasso medio annuo di 1,8% dal 1990 al 2006 (IEA, 2009). I tassi di emissione di gas serra dal 1990 a oggi

(figura 13) sono decrescenti per tutti i settori, ad eccezione del settore dei trasporti, che mostra un trend crescente negli ultimi anni, con la sola singolarità del periodo post crisi economica del 2008 (Inturri & Ignaccolo, 2016).

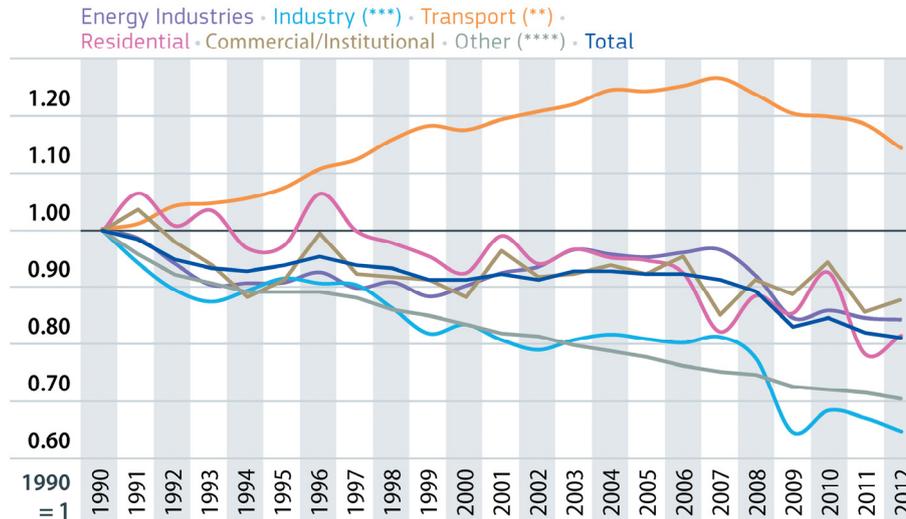


Figura 13: Tendenze delle emissioni in atmosfera per settore dal 1990 al 2012

Fonte: EC (2015)

Il trasporto su strada contribuisce per circa il 70% del totale di emissioni prodotte dall'intero settore e consuma approssimativamente il 70% dell'energia totale dei sistemi di trasporto. Di questa percentuale, il trasporto persone è responsabile di oltre il 50% dei consumi (figura 14 e 15). L'incidenza del trasporto su strada nei consumi energetici del settore dei trasporti è principalmente legato all'elevato utilizzo dei veicoli gommati, sia per il trasporto individuale sia per quello delle merci e all'intrinseca inefficienza energetica dei veicoli. I carburanti prodotti dal petrolio costituiscono la quota maggiore della produzione di energia finale, solo una piccola parte dei consumi energetici è rappresentata da altri carburanti, quali elettricità o biomassa. Tale condizione è destinata a perdurare nel tempo, nonostante la tendenza per i carburanti prodotti da fonti rinnovabili sia in crescita (Dalkmann & Brannigan, 2007).

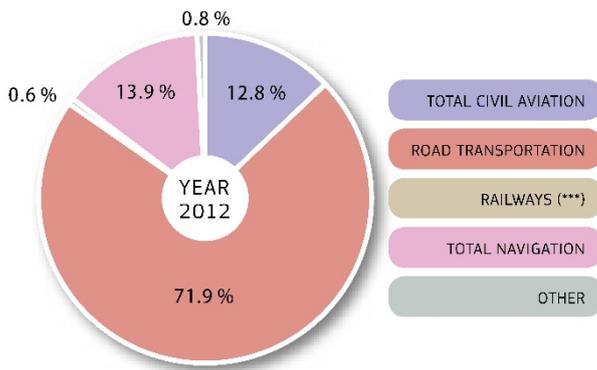


Figura 14: Ripartizione delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera per modo di trasporto
Fonte: EC (2015)

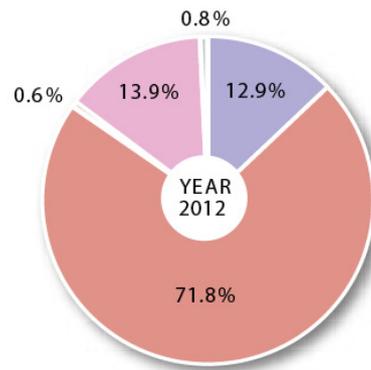


Figura 15: Ripartizione dei consumi in atmosfera per modo di trasporto
Fonte: EC (2015)

Il perseguimento dell'efficienza energetica nei trasporti offre grandi potenzialità per la riduzione della dipendenza dal petrolio e dei consumi energetici, per il raggiungimento degli obiettivi posti dalla strategia europea 20-20-20 e per il rafforzamento della coesione sociale ed economica. Inoltre fornisce un contributo essenziale nella lotta ai cambiamenti climatici attraverso la transizione verso la mobilità sostenibile. Un efficiente e funzionale mobilità urbana è il presupposto essenziale per intraprendere politiche di sviluppo sostenibile. La dimensione urbana della mobilità è stata messa in rilievo dal Libro Verde del 2007 "Verso una nuova cultura della mobilità urbana" (EC, 2007), che ha avviato un dibattito sulle problematiche legate alla mobilità urbana tipiche delle diverse città europee, puntando sull'importanza di intraprendere politiche dei trasporti a livello urbano. Al Libro Verde, infatti, ha fatto seguito nel 2009 il Piano di Azione sulla Mobilità Urbana che prevede una serie di azioni, basate sui temi emersi dalla consultazione prevista dal Libro verde (CCE, 2009). L'esigenza di dotarsi di un Piano di azione urbana da parte della Comunità Europea deriva dalla consapevolezza che territorio urbanizzato e trasporti, nella loro stretta interazione, costituiscono un campo dove poter affrontare la sfida della mobilità urbana, da attuarsi, secondo quanto previsto dal piano stesso, mediante un'azione efficace e coordinata. La mobilità sostenibile determina, infatti, un paradigma alternativo attraverso il quale è possibile leggere la complessità della città e la relazione tra i trasporti e il territorio (Banister, 2008).

Il traffico nelle aree urbane può essere definito come il risultato dell'interazione tra domanda e offerta di trasporto. La prima, la cui entità deriva dalle condizioni socio-economiche dell'area su cui si genera la domanda stessa, è determinata dalla distribuzione spaziale delle attività residenziali ed economiche sul territorio. L'offerta di trasporto è data dal sistema dei trasporti, costituito dalle infrastrutture, dai veicoli e dai servizi (Inturri & Ignaccolo, 2016). Le preferenze degli utenti determinano la relativa distribuzione sui modi di trasporto e, dunque, il traffico totale. Poiché la ripartizione del traffico sulle diverse modalità di trasporto genera impatti diversi e di diversa intensità, risulta, in tal senso, di primaria importanza nel raggiungere gli obiettivi di mitigazione, la capacità di trasformare il comportamento degli utenti. Ciò può avvenire soltanto attraverso la piena comprensione ed accettazione delle questioni legate alla mobilità sostenibile (Banister, 2008). Per perseguire finalità di riduzione emissioni, devono essere intraprese strategie a breve e a lungo termine (Sims et al., 2014), che vanno inquadrare all'interno di uno schema interpretativo dell'efficienza energetica dei trasporti. L'efficienza energetica dei sistemi di trasporto urbano è considerata la risultante dell'interazione di tre specifici livelli di efficienza energetica: l'efficienza dei veicoli, l'efficienza degli spostamenti e l'efficienza del sistema.

$$\text{Eff}_{\text{trasportiurbani}} = \text{Eff.sistema} \times \text{Eff.trasport} \times \text{Eff.veicoli}$$

*Eq. 1: Efficienza del sistema di trasporto urbano
Fonte: Dalkmann & Brannigan (2007)*

L'efficienza globale dei trasporti urbani si ottiene agendo sulla riduzione di ciascuno di questi tre fattori e viene misurata mediante specifici indicatori, utili a monitorare l'impatto effettivo di politiche e azioni intraprese. Su questi tre livelli si strutturano tre classi di strategie per la riduzione dei consumi energetici nei trasporti, consolidate nelle politiche per la mobilità sostenibile, identificate con l'acronimo ASI: *Avoid, Shift, Improve*. La prima (*AVOID*) è associata all'efficienza del sistema, orientata a limitare o evitare la domanda di spostamento.

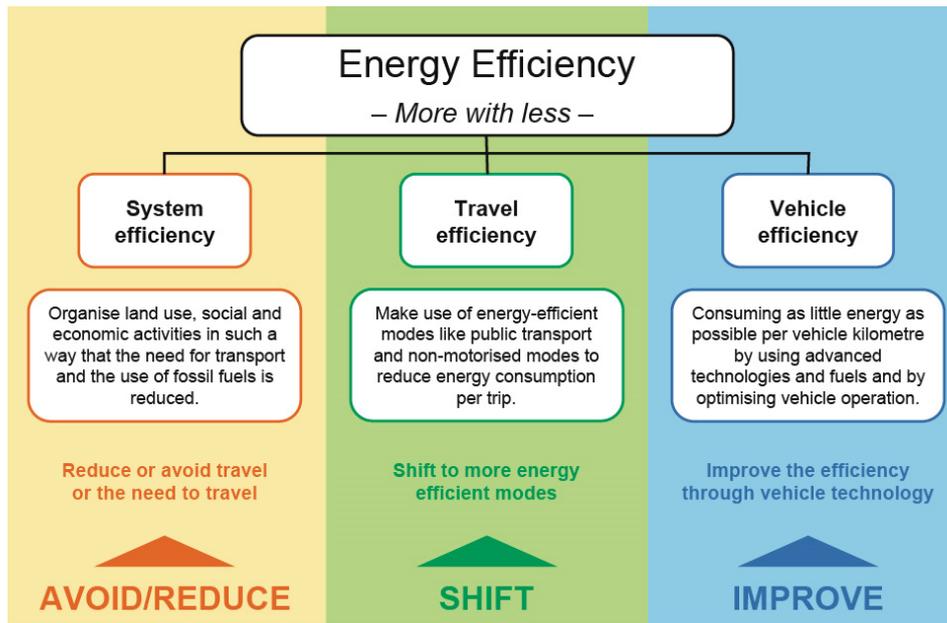


Figura 16: L'efficienza energetica nei trasporti urbani
Fonte: Dalkmann & Brannigan (2007)

All'efficienza degli spostamenti è fatta corrispondere la trasformazione (SHIFT) verso modelli di trasporto a basso impatto e, infine, il miglioramento delle caratteristiche tecniche e tecnologiche dei veicoli (IMPROVE) corrisponde al terzo livello, relativo ai veicoli (fig. 16) (Dalkmann & Brannigan, 2007; Dalkmann & Brannigan, 2012; Inturri & Ignaccolo, 2016). La riduzione della domanda di trasporto necessita di studi di tipo urbano che permettano la configurazione di strutture urbane che possano evitare il traffico e ridurre la domanda stessa. Entrano in gioco i fattori evidenziati nel paragrafo precedente di densità e di varietà negli usi del suolo, che possano indirizzare verso forme di trasporto meno energivore, quali i trasporti pubblici e la mobilità lenta. La trasformazione dei modi di trasporto verso forme più efficienti implica la riduzione dei consumi energetici per passeggero per kilometro e quindi incide sul tasso di occupazione del veicolo. Anche in questo caso si mira a incoraggiare l'uso dei mezzi pubblici o delle forme di trasporto a consumo zero (mobilità lenta), in particolare per gli spostamenti di brevi distanze (sotto i cinque km). Infine il miglioramento dell'efficienza energetica nei veicoli implica una riduzione dei consumi di carburante per kilometro, raggiungibili mediante cambiamenti tecnologici e accorgimenti progettuali.

Le strategie individuate vanno lette con un approccio olistico che ne preveda l'integrazione, beneficiando dell'applicazione delle conoscenze e delle tecniche della pianificazione territoriale, dei trasporti ed energetica (Inturri & Ignaccolo, 2016). L'applicazione di strategie afferenti alle tre classi individuate, nel conseguire un miglioramento dell'efficienza energetica dei sistemi di trasporto urbani, determinano molteplici benefici collaterali relativi principalmente ad aspetti economici - i cui vantaggi sono evidenti nella capacità delle città con bassi livelli di congestione del traffico di attirare maggiori investimenti - ad un maggior livello di sicurezza, ad un incremento della qualità della vita - riscontrabile nel risparmio di tempo trascorso in auto e nella riduzione di inquinamento acustico e ambientale - e alla riduzione delle esternalità negative. L'attuazione delle strategie analizzate avviene con un set di azioni di cui viene riportata una classificazione sviluppata da Dalkmann & Brannigan (2007b), basata sulle caratteristiche e gli ambiti di afferenza delle azioni stesse.

La prima classe è costituita dagli "Strumenti di Pianificazione" che, utilizzando prevalentemente le tecniche di pianificazione delle infrastrutture di trasporto, mirano a trasformare le opzioni e la qualità dei modi di trasporto. La seconda classe comprende gli "Strumenti di Regolamentazione" che tendono a regolare le modalità d'uso dei mezzi (principalmente privati). Gli "Strumenti Economici" rappresentano la terza classe di strumenti, con l'obiettivo di spostare il carico economico dei veicoli stradali dal costo fisso, legato alla proprietà, a quello variabile legato all'uso effettivo. Alla quarta classe appartengono gli "Strumenti dell'Informazione" che fanno riferimento alla comunicazione e sensibilizzazione degli utenti per cambiare il proprio comportamento di mobilità. Infine la quinta classe contiene gli Strumenti Tecnologici orientati principalmente al miglioramento tecnologico dei veicoli e alla produzione di carburanti da fonti rinnovabili (Inturri & Ignaccolo, 2016).

È negli strumenti di pianificazione che si legge chiaramente la stretta relazione tra trasporti e territorio e tra le pianificazioni urbanistica e dei trasporti. Gli interventi nel campo della pianificazione tendono a rispondere principalmente alla strategia *AVOID*, andando a modificare la domanda di trasporto mediante trasformazioni dell'organizzazione della configurazione urbana, degli usi del

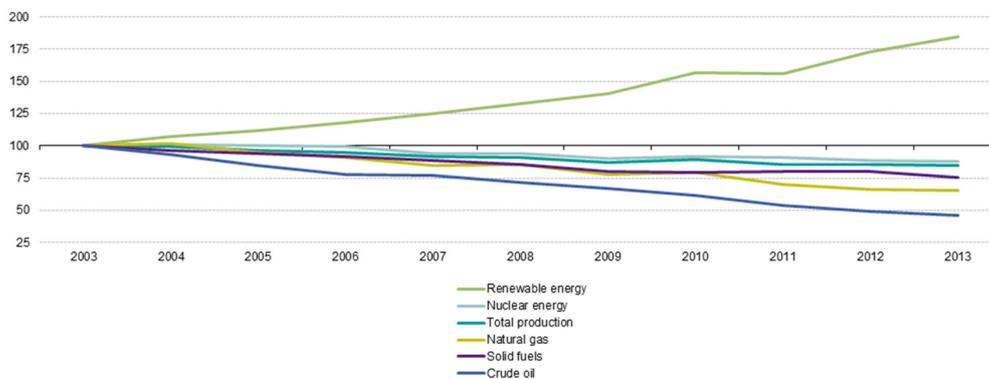
suolo, delle opzioni di trasporto a disposizione degli utenti. Studi del *Victoria Transport Policy Institute* (Litman, 2014) hanno evidenziato l'intensità e le modalità in cui le scelte di uso del suolo e di configurazione urbana possano influenzare il comportamento degli utenti nella riduzione della domanda di trasporto e nella scelta del modo di trasporto verso approcci più sostenibili e meno intensivi dal punto di vista energetico. Vengono richiamati i principali fattori di uso del suolo che giocano un ruolo determinante nell'incrementare l'efficienza energetica, sottolineandone la caratteristica di sinergia e cumulabilità per il raggiungimento di risultati più significativi. Ne è un esempio il concetto di *Transit Oriented Development* (TOD), in cui si leggono i principi declinanti la forma urbana, analizzati nel precedente paragrafo. La stretta relazione tra trasporti e territorio nel quadro della sostenibilità, è alla base della teoria del *New Urbanism* (Haas, 2012), sviluppata tra gli anni '80 e gli anni '90, che mira ad ottenere insediamenti urbani che siano meno dipendenti dal trasporto privato, incentrando la progettazione sull'accessibilità, sul mix funzionale, sulla densità e sul trasporto pubblico. Gli insediamenti TOD, che ne costituiscono un'applicazione, sono caratterizzati da un alto grado di mix funzionale, da elevate densità in prossimità del nodo di trasporto, che vanno diradandosi progressivamente con la distanza, da un significativo livello di accessibilità al sistema di trasporto all'interno di un'area che si sviluppa con un raggio medio di circa 600 m, considerata una distanza facilmente percorribile a piedi (Calthorpe, 1993). Il disegno urbano nella logica TOD tutela la mobilità dolce, pedonale e ciclabile, favorendo l'intermodalità. Il TOD è considerato uno strumento promettente per arginare lo *sprawl* e la dipendenza dal mezzo privato.

Anche nel settore dei trasporti sono rintracciabili barriere nell'implementazione e diffusione delle misure per il miglioramento dell'efficienza energetica. Dal punto di vista economico e finanziario i costi di investimento necessari per costruire le infrastrutture di trasporto *low-carbon* sono molto elevati; dal punto di vista tecnologico, si ha una forte lentezza nel *turnover* delle infrastrutture preesistenti, a livello politico queste riguardano la percepita opposizione pubblica all'aumento dei costi delle tariffazioni e la

manca di una capacità amministrativa per l'integrazione tra trasporto e territorio (IPCC, 2014). Significative opportunità di superamento di tali barriere possono essere offerte dalle strategie descritte, la cui adozione all'interno delle politiche urbane può essere stimolata dalla consapevolezza dei co-benefici che si ottengono da un miglioramento dell'efficienza energetica nei sistemi di trasporto in generale.

2.2.4 Produzione e distribuzione dell'energia

La produzione di energia primaria nell'Unione Europea (UE-28) ammontava, nel 2013, a 790 milioni di TEP, confermando la tendenza di diminuzione generale, osservata a partire dal 2009, in coincidenza con la crisi economica e finanziaria, che si concretizza con una riduzione pari al 15,4% rispetto al 2003. Nel complesso della produzione energetica europea, il 24,3% è rappresentato dalle fonti di energia rinnovabili al 2013, seguite da combustibili solidi (19,7%) e gas naturale (16,7%), lasciando il primato all'energia nucleare (figure 17 e 18) (EUROSTAT, 2015).



Source: Eurostat (online data code: nrg_100a)

Figura 17: Andamento della produzione di energia primaria (per tipo di combustibile) UE-28, 2003-2013
Fonte EUROSTAT (2015)

La crescita della produzione di energia primaria da fonti rinnovabili è stata superiore a quella delle altre forme di energia, registrando un aumento relativamente costante nel periodo intercorrente tra il 2003 e il 2013, pari a circa l'88,4% (EUROSTAT, 2015), che può essere fatto risalire anche a costi

competitivi e miglioramenti tecnologici, che ne hanno consentito una più rapida diffusione.

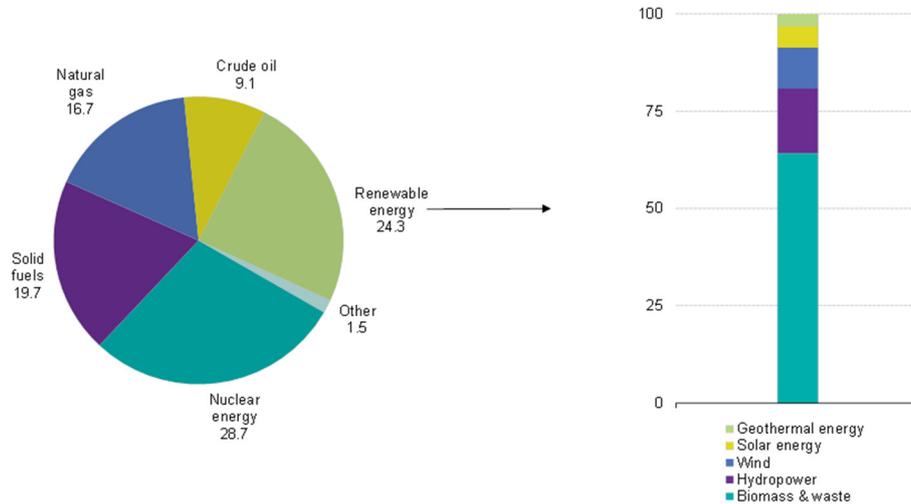


Figura 18: Produzione di energia primaria, UE-28, 2013 (% del totale, dati riferiti a TEP)
Fonte: EUROSTAT (2015)

Il contesto nazionale conferma tali tendenze: le rinnovabili sono state l'unica fonte energetica primaria che ha registrato un incremento (+27,2%) nel periodo compreso tra il 1997 ed il 2013, registrato anche nei consumi (ENEA, 2014b). La necessità di una generazione combinata di energia, che risponda a una domanda energetica in continua evoluzione, e del raggiungimento dei rigorosi obiettivi di sostenibilità (EU 20-20-20) stanno ampliando il campo di integrazione delle fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica e termica.

Il teleriscaldamento costituisce la rete termica a livello urbano. Esso consiste nella distribuzione, attraverso una rete di tubazioni, di un fluido termovettore proveniente da una centrale di produzione a delle utenze e successivo ritorno alla centrale stessa. Il principio alla base è la separazione tra la produzione ed il consumo di calore, come avviene per la rete di energia elettrica o l'acquedotto. La produzione può essere realizzata con le migliori tecnologie ed il massimo rendimento. In questo quadro si assiste a una progressiva integrazione delle rinnovabili nelle reti di teleriscaldamento, in particolare del solare termico (*Solar District Heating*). L'alternativa alla cogenerazione, su cui

si basa la maggior parte delle reti di teleriscaldamento italiane, è motivata non soltanto da un cambiamento del contesto di funzionamento dei sistemi cogenerativi, dovuto alla riduzione dei consumi elettrici, alle misure di efficientamento e alla crescita della quota dei sistemi di produzione di energia elettrica rinnovabile, ma anche quale strumento per migliorare la sostenibilità finanziaria e ambientale della fornitura di energia su scala urbana, per la quale il solare termico risulta inoltre compatibile. Un'importante opportunità di sviluppo del teleriscaldamento anche su scala territoriale è rappresentata dal raffrescamento estivo, che consentirebbe di utilizzare le reti di distribuzione in maniera più uniforme nel corso dell'anno e aumentare i vantaggi economici connessi all'investimento (ENEA, 2011).

La generazione d'energia elettrica, in Italia e nel resto d'Europa, è stata tradizionalmente affidata ad un sistema di produzione centralizzato, afferente ad una rete di trasporto e distribuzione di tipo "passivo" ovvero concepita per alimentare gli utenti finali con flussi energetici unidirezionale dalla alta tensione verso la media e la bassa tensione (ENEA, 2011). Tuttavia, l'incremento della produzione da fonti rinnovabili ha ampliato la diffusione di impianti piccoli e medi, trasformando la relazione tra l'offerta, la domanda energetica ed il territorio. Grazie anche ad una sempre maggiore attuazione dei processi di liberalizzazione e decentramento nel rapporto energia-territorio (De Pascali, 2014, Alberti, 2014), si assiste, infatti, a un radicale cambiamento nell'approccio ai sistemi energetici verso lo sviluppo di modelli di tipo localistico. La rilevanza dell'uso delle risorse rinnovabili nelle aree urbane è riscontrabile anche nella progettazione e adozione di soluzioni alla scala locale che contemplino sistemi energetici parzialmente indipendenti dalla rete principale, detti sistemi energetici distribuiti (DES). La distribuzione di tali sistemi energetici si riferisce alla modalità con cui le singole unità sono integrate all'intero sistema. In particolare la generazione distribuita può essere definita come un sistema di energia (elettrica) connesso con le reti di distribuzione e con i consumatori finali (Ackermann et al., 2001). I sistemi di generazione distribuita facilitano l'integrazione delle fonti rinnovabili nella produzione energetica, attraverso l'uso di unità di autoproduzione di piccole-medie

dimensioni allacciate agli estremi alle singole utenze e alla rete di distribuzione centrale. I DES ribaltano i concetti dei sistemi centralizzati e della pianificazione energetica tradizionale, rendendo le aree urbane i luoghi non soltanto del consumo energetico (Adil & Ko, 2016), così come è avvenuto sino agli esordi del XXI secolo, ma anche della produzione e della distribuzione.

La transizione ai sistemi distribuiti richiede un'approfondita analisi dei consumi e un'attenta valutazione della fattibilità di attuazione e degli scambi energetici che si configurano tra i soggetti coinvolti (produttori e consumatori). Infatti, la produzione distribuita può dare origine a sistemi efficienti di utenza (SEU) in cui "uno o più impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili, gestiti dal medesimo produttore, siano direttamente connessi con un collegamento privato senza obbligo di connessione di terzi, all'unità di consumo di un solo cliente finale e siano realizzati all'interno di un'area, senza soluzione di continuità, di proprietà o nella piena disponibilità del medesimo cliente e da questi, in parte, messa a disposizione del produttore o dei proprietari dei relativi impianti di produzione"⁴. Si può, dunque, prefigurare una formula paragonabile ad una "compravendita" dell'energia prodotta e non consumata tra i soggetti produttori che hanno installato i DES e gli utenti limitrofi.

I DES contribuiscono nel percorso verso la sostenibilità offrendo numerosi vantaggi a margine, oltre quelli legati all'integrazione con le risorse rinnovabili (riduzione delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera) e al consumo di energia nel luogo stesso della produzione (netta diminuzione delle dispersioni in confronto alle grandi distanze che a contrario caratterizzano le reti di distribuzione della produzione centralizzata). I DES, infatti, oltre a mostrare le caratteristiche dei sistemi energetici sostenibili, che dalla definizione di Alanne & Saari (2006), sono caratterizzati da affidabilità ed efficienza, dal rispetto per l'ambiente, da un'apertura nei confronti di nuove soluzioni e innovazioni, offrono i benefici legati alla flessibilità, all'indipendenza e alla scala di azione (locale) avendo ricadute positive in ambito economico, sociale e politico,

⁴ Autorità per l'energia elettrica e il gas (2016). Allegato A Deliberazione 578/2013/R/eel – Versione integrata e modificata dalle deliberazioni 426/2014/R/eel, 612/2014/R/eel, 242/2015/R/eel e 72/2016/R/eel

esulando dalla specifica tecnologia energetica. La distribuzione implica infatti, una forma di democratizzazione e assunzione di responsabilità in termini politico-sociali. La ricaduta in termini sociali si concretizza nella necessità di avere operatori di settore specialistici con conoscenze specifiche e, dunque, nella necessità di un maggiore livello di istruzione associata a un incremento dell'occupazione in questo settore. Questi aspetti comportano un atteggiamento positivo nei confronti di tali sistemi energetici, requisito molto importante per la piena diffusione e accettazione di cambiamenti e innovazioni da parte della società e delle comunità (Alanne & Saari, 2006). Infine, in termini tecnologici, gli aspetti innovativi sono legati alla conversione, generazione e distribuzione energetica alla scala locale, riducendo la vulnerabilità e rendendo il sistema e l'approvvigionamento più affidabili (ad esempio un minore impatto sulla comunità nel caso di interruzione della corrente elettrica dovuta a guasti o manutenzione). Ai vantaggi illustrati si contrappongono barriere di attuazione di tipo economico e istituzionale. Il mercato offre una pluralità di opzioni tecnologiche adottabili con costi di investimento variabili. La gestione della proprietà delle infrastrutture e la concorrenza sono aspetti che non trovano ancora una forma definitiva nell'ordinamento regolativo.

Infine la tendenza a livello internazionale è quella di sviluppare forme di controllo e gestione caratterizzate da un capillare sistema di comunicazione e controllo che permettano di aumentare l'efficienza, la flessibilità, la sicurezza e l'affidabilità delle reti energetiche. Lo sviluppo di reti energetiche intelligenti (*Smart Grid*) assistono nel raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica costituendo infrastrutture interattive e dinamiche in grado di scambiare informazioni in tempo reale ed elaborare una politica di controllo ed automazione del sistema complessivo (ENEA, 2011).

Dal quadro descritto, emergono due elementi chiave che impongono una riflessione su competenze e strumenti di pianificazione in chiave energetica. Da un lato il ruolo rinnovato di edifici e quartieri, che tradizionalmente si comportavano esclusivamente da consumatori mentre oggi, grazie ai sistemi decentralizzati, risultano anche produttori e distributori di energia. Dall'altro la distribuzione non uniforme dei consumi energetici sul territorio a causa di

molteplici fattori che ne influenzano la natura: le tecnologie prevalenti, a livello tecnico; a livello sociale il reddito e modelli comportamentali e culturali, a livello geografico: il clima e le caratteristiche fisiche del territorio (De Pascali, 2014). Approfondimenti necessari riguardano, dunque, le interazioni e gli scambi di flussi energetici all'interno del sistema, mediante mappature specifiche dei consumi, delle generazioni e degli scambi alla scala urbana, e gli strumenti di governo del territorio idonei a gestire tale scambio.

2.3 Nuovi approcci nelle politiche e nelle pratiche urbane

La pianificazione urbana tradizionale è stata basata sul presupposto, esplicito o implicito, che le condizioni ambientali e territoriali fossero caratterizzate da una costanza ed immutabilità temporale. Le istanze contemporanee trasformando e provocando impatti di varia natura sul territorio, sollecitano la disciplina urbanistica. Con l'inclusione dei temi nuovi, delineatisi dall'emergere di tali istanze, all'interno dell'apparato teorico disciplinare della pianificazione urbanistica, si è assistito ad una profonda trasformazione non soltanto nel ruolo che questa ha assunto e nella fiducia che vi è riposta, ma anche nei risultati a cui tende. Si è passati da una mera promozione del clima ad il proposito di soddisfare gli obiettivi comunitari, configurandosi come uno strumento tecnico e politico allo stesso tempo.

Nonostante la questione energetica e l'esigenza di una sua integrazione nel governo del territorio sia stata resa evidente negli ultimi trent'anni e vi sia stata dedicata una crescente attenzione, le scelte in merito alla pianificazione della città hanno finora trascurato e lasciato in mano a singole azioni volontarie, il rapporto tra clima, energia e territorio e pianificazione territoriale. Non si è ancora assistito alla predisposizione di risposte politiche adeguate, piuttosto sono state attuate disposizioni di tipo specialistico, contestualizzate cronologicamente e spazialmente, bypassando la potenziale costruzione di un ordinamento giuridico-normativo sistematizzato. Tale meccanismo ha generato situazioni disomogenee non soltanto in un contesto internazionale, in cui tali disomogeneità sono legittimate dai diversi ordinamenti politici ed istituzionali e dalle condizioni economiche e sociali, ma anche all'interno della realtà nazionale è evidente una pluralità di approcci, metodi e iniziative, e, in alcuni casi, si ha a che fare ancora con una sottostima dei rischi e degli impatti malgrado la rilevanza dei fenomeni in corso (Musco, 2014).

Gli strumenti ordinari e volontari e le politiche locali del governo del territorio, formulate senza un quadro integrato di pianificazione urbana, sono state spesso orientate verso una fattibilità di breve termine per ottenere risultati, per quanto parziali e temporanei, con minimi sforzi. Come conseguenza di tale

approccio di natura palliativo, viene a mancare una chiave programmatica a lungo termine, che non può essere inserita ed integrata all'interno degli strumenti di pianificazione ordinaria, anche a causa della sua impostazione innovativa attorno alle istanze contemporanee cui la disciplina stessa è soggetta. In tale contesto, diviene, dunque, un elemento prioritario configurare la capacità di *governance* con una temporalità che esuli dai termini spaziali e soprattutto temporali del mandato politico. Inoltre, poiché la disponibilità energetica varia con un ritmo molto diverso da quello sostenuto dalla struttura spaziale, risulta indispensabile conformare la relativa relazione energia-territorio declinandola in forme e strumenti rinnovati che incorporino la componente locale e siano capaci di guidare il processo di pianificazione stesso verso l'efficienza energetica urbana.

L'integrazione dei temi energetici nei processi di pianificazione implica, dunque, un riassetto di entrambe le discipline. Se da un lato la pianificazione urbana deve ampliare i propri contenuti su tutti i livelli: dall'interdisciplinarietà, alla necessità di nuove opportunità, nuove logiche e nuovi strumenti (Davoudi et al., 2009; Zanon & Veronesi, 2013), la pianificazione energetica deve tarare diversamente il proprio campo di azione, focalizzandosi anche sulla dimensione urbana oltre che sulle strategie nazionali e sulle azioni puntuali.

S. Davoudi (Davoudi, 2009b) fornisce un quadro per esaminare l'interfaccia tra la pianificazione del territorio e le considerazioni energetiche nel contesto dei cambiamenti climatici. In tale studio viene proposta una classificazione del ventaglio di misure, di cui la pianificazione urbana dispone, che abbiano una prospettiva energetica e che nello specifico siano definite dal contesto politico-territoriale. La classificazione è ben rappresentativa del ruolo della pianificazione urbanistica, intesa come disciplina che possa integrare politiche di governo del territorio con altre forme che esulano dalla componente spaziale e, in tal modo, offrire un approccio olistico e strategico allo sviluppo del territorio.

Vengono individuate tre classi di strumenti, spesso tra loro collegati, mediante cui la pianificazione può esercitare la propria funzione. La prima classe comprende interventi definiti come "proattivi" che riguardano la selezione delle

direttrici di sviluppo dei luoghi. La seconda classe abbraccia interventi di tipo “regolamentatore” che riguardano il modo in cui sono disciplinate le attività. La terza classe comprende interventi di “coordinamento strategico” affinché l’integrazione tra i diversi attori generi azioni condivise e compatibili. Le tre classi di pratiche descritte vengono relazionate a tre indirizzi di politiche climatiche, in cui la pianificazione territoriale possa contribuire nel percorso verso la sostenibilità, e cioè la mitigazione, declinata nella componente di fornitura e domanda energetica, e l’adattamento.

Gli interventi di tipo proattivo (Pro-Active) riguardano lo sviluppo dei luoghi e comprendono meccanismi di identificazione dei vincoli e delle opportunità territoriali. Gli interventi di regolamentazione sono generalmente visti in una prospettiva negativa di limite all’esercizio di un diritto. Viene invece sostenuta la tesi che, questi, possano avere una duplice valenza di protezione e di sviluppo. Nel primo caso si tratta di interventi finalizzati alla salvaguardia delle attività, delle opportunità sociali e delle risorse ambientali, elementi altrimenti schiacciati da una possibile crescita incontrollata. Le azioni di regolazione dello sviluppo mirano, dunque, ad assicurare standard qualitativi più elevati, ad introdurre un grado di stabilizzazione dei processi di sviluppo immobiliare e a fornire valide infrastrutture per la transizione verso un’economia a basso contenuto di carbonio. Tuttavia, questo tipo di interventi può raggiungere buoni risultati ed un alto grado di attuazione solo con una stretta collaborazione tra il soggetto pubblico e privato, che giustifica la necessità di interventi di tipo strategico, appartenenti alla terza classe. Gli interventi di coordinamento strategico, infatti, mettono in relazione molteplici politiche e *stakeholder* per integrare e coordinare le attività di un determinato luogo.

La suddivisione degli interventi nelle tre classi descritte non è rigida. L’integrazione fra i tre approcci offre, invece, una possibile soluzione per raggiungere risultati concreti nel contesto dei rischi legati ai cambiamenti climatici. Questa sorta di flessibilità diviene indispensabile vista la complessità, le incertezze e la molteplicità di attori e discipline coinvolte, così come le dinamiche di cambiamento e l’evoluzione dei contesti politici, tali da richiedere

un portfolio di risposte eterogenee che esulano dalla pianificazione spaziale, abbracciando altre discipline.

La sovrapposizione delle classi con le tre macro-aree politiche permette di schematizzare (fig.19) ed inquadrare la relazione tra le pratiche e gli strumenti della pianificazione con gli approcci rispondenti alle politiche climatiche che ne hanno influenzato il cambiamento di principi e obiettivi.

			Types of planning interventions		
			Proactive Through plans, strategies, SPG; resource mobilisation	Regulatory Through development control / Sec. 106	Strategic coordination Through consultation / collaboration
Key climate change policies	Energy Supply (mitigation)	Large renewables	Site allocation / identification	Infrastructure Planning Commission	Renewable energy industry / local communities etc
		Small renewables & micros	Specific requirements (e.g. Merton Rule)	Permitted development	
	Energy Demand (mitigation)	Reducing travel	Settlement size, density, mixed use location and accessibility, parking		Developers / transport authorities Etc
		Energy efficiency		Planning conditions, Code for Sustainable Homes	
	Adaptation	Flood risk	Protecting flood plains from development		Environment Agency / developers
		Heat wave	Protecting & enhancing green infrastructure	Planning conditions, Design standards	

Figura 19: Relazione tra gli interventi di pianificazione spaziale e le principali politiche di contrasto ai cambiamenti climatici.

Fonte S. Davoudi (2009b)

Dallo schema si rendono, dunque, evidenti le modalità attraverso cui l'urbanistica possa gestire e indirizzare le trasformazioni del territorio in

risposta alle sollecitazioni derivanti dai cambiamenti del clima. Attraverso la lente della pianificazione, la mitigazione viene intesa in una prospettiva prettamente energetica, con specifico riferimento alla domanda e all'offerta. In questo campo il ruolo della pianificazione territoriale si manifesta in maniera decisa in relazione alla produzione di energia da fonti rinnovabili.

In tal senso viene fatta una distinzione tra gli impianti di produzione a scala vasta e alla scala locale. In particolare, nel contesto inglese non sono emersi risultati di successo nel caso di grandi impianti, relativamente ai quali, la pianificazione territoriale non si è dimostrata nelle condizioni di esercitare un ruolo proattivo. Si è assistito a pratiche deficitarie di progetti, dovute ad un approccio TOP-DOWN fallimentare che ha spesso visto il sollevamento di processi di *NotInMyBackyard*. Nel caso di progetti alla scala locale con impianti di piccole dimensioni, il ruolo della disciplina è prevalentemente di tipo regolamentatore, in quanto le scelte localizzative sono state spesso guidate da pratiche di tipo BOTTOM-UP o dalla tendenza equivoca e diffusa di dare credito esclusivamente a professionalità nel campo delle rinnovabili, di fatto escludendo il coinvolgimento della disciplina urbanistica nell'individuazione dei luoghi e nell'identificazione delle relative opportunità e restrizione per l'installazione di rinnovabili. Pur avendo conseguito, in questa seconda opzione, risultati migliori nell'esercizio degli impianti, in generale i tentativi di sfruttare il potenziale proattivo dei sistemi di pianificazione sono stati ostacolati da una limitata autorità nel portare avanti progetti sul territorio per soddisfare gli obiettivi nazionali o locali per le energie rinnovabili.

In relazione alla domanda energetica, S. Davoudi sottolinea come siano indispensabili politiche e pratiche orientate alla riduzione della domanda energetica stessa oltre che alla produzione di energia da fonti rinnovabili e con basse emissioni in atmosfera. La pianificazione territoriale prevede la possibilità di riduzione della domanda energetica agendo sui campi della mobilità e degli edifici, rispettivamente riducendo gli spostamenti e incrementando l'efficienza energetica. Il decremento del numero degli spostamenti privati, basati principalmente sul consumo di energia fossile, passa per la riduzione dell'esigenza stessa di spostarsi e, in tal senso, può essere supportato dalla

pianificazione territoriale mediante la classe di interventi di tipo proattivo. Sono riportati alcuni esempi, che hanno un profondo riscontro in letteratura, quali la localizzazione di insediamenti caratterizzati da alta densità, mix funzionale e accessibilità. La compattezza e l'eterogeneità degli usi del suolo insieme al rafforzamento del trasporto pubblico induce al raggiungimento di un equilibrio energetico (Steemers, 2003), riducendo l'uso del mezzo privato (Cervero, 2010; Owens, 1992). Attraverso la combinazione strategica di misure proattive e di regolamentazione, la pianificazione territoriale può fare la differenza e giocare un ruolo sostanziale sia a breve termine, ma specialmente a lungo termine, favorendo scelte di localizzazione sostenibili così facilitando l'integrazione con altre sfere politiche orientate al raggiungimento dei medesimi obiettivi *low-carbon*. Tra gli interventi sono inclusi anche quelli relativi all'individuazione e selezione dei fattori progettuali che permettono di ridurre gli spostamenti veicolari di breve distanza. Tra questi si annoverano: il disegno di percorsi diretti dedicati alla mobilità lenta, sezioni stradali ridotte che inducono basse velocità di percorrenza, l'incremento dell'accessibilità e connettività, la pedonalizzazione e l'individuazione di aree a traffico limitato. A questi aspetti progettuali possono essere associati interventi che, pur attenendo più specificamente alla gestione e alla pianificazione trasporti, permettono di ridurre notevolmente il numero di spostamenti e possono stimolare un comportamento virtuoso. Questi includono: tariffe integrate per i trasporti pubblici, tariffazioni puntuali degli accessi, gestione dei parcheggi e delle tariffe. Quanto detto è perseguibile esclusivamente con una integrazione tra le diverse discipline e una collaborazione strategica con le autorità e l'amministrazione, elementi che si riallacciano e danno fondamento alla terza classe di interventi.

Il miglioramento dell'efficienza energetica ha come campo proprio di attuazione quello dell'edilizia. Il ruolo della pianificazione territoriale in questo senso si concretizza in tre ambiti: la localizzazione, la configurazione spaziale e la progettazione sia delle aree per i nuovi insediamenti urbani sia dei singoli edifici e infine, il raggiungimento di elevati livelli di qualità ambientale per grandi insediamenti, quali gli eco-quartieri. Gli eco-quartieri devono essere progettati

esemplificativamente al fine di incoraggiare una transizione verso configurazioni sostenibili, e, in particolare, il raggiungimento del livello *zero carbon*. Pur trattandosi di nuovi insediamenti, questi possono comunque dimostrarsi una valida guida cui ispirarsi nelle occasioni in cui il patrimonio edilizio esistente diviene l'oggetto di interesse.

Nel settore edilizio gli strumenti proattivi hanno un ruolo meno determinante di quelli di regolamentazione. Ciò è legato al fatto che mentre i primi sono applicati esclusivamente ai nuovi insediamenti urbani, i secondi riguardano anche il patrimonio esistente. Quest'ultimo, nel contesto nazionale, è diventato l'oggetto di studio e analisi degli orientamenti disciplinari contemporanei. Gran parte degli edifici esistenti, infatti, costruiti con bassi requisiti energetici secondo gli standard del passato e spesso in condizioni fisiche di degrado, generano elevati consumi energetici. In particolare, poiché il consumo energetico per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici è fortemente influenzato dalle caratteristiche dell'involucro, è necessario prevedere standard qualitativi minimi per l'isolamento, imporre l'uso di materiali a basso impatto ambientale e assicurare la flessibilità, affinché sia semplice effettuare eventuali modifiche di pari passo agli avanzamenti tecnologici. In questo ambito il ruolo della disciplina non si limita alla regolamentazione ma si estende a valutazioni strategiche che possano indirizzare verso la scelta di interventi puntuali di ristrutturazione o di rigenerazione urbana.

Nell'inquadramento normativo inglese, tra gli interventi di regolamentazione il *Code for Sustainable Home* ha rappresentato una svolta, fornendo un quadro sistematizzato di misure orientate alla sostenibilità, prima demandate esclusivamente ad iniziative locali e ai regolamenti edilizi. Introdotto nel 2006, il codice è un complesso di requisiti da adottare nella progettazione e costruzione di nuovi edifici finalizzati alla sostenibilità. La fascia più performante è il *Level 6* che impone il raggiungimento del livello *zero carbon*, che, nella definizione corrente, impone che tutti gli edifici di nuova costruzione abbiano emissioni zero, considerando nella procedura di calcolo soltanto le cosiddette *regulated emissions* cioè le emissioni derivanti da un uso dell'energia prevedibile (DCLG, 2006). Seppur su base volontaria, la valutazione secondo gli standard

del *Code for Sustainable Home* è stata inclusa all'interno della procedura per il permesso di costruire, superando la parzialità e la superficialità dei regolamenti edilizi e segnando il riconoscimento del potere normativo della pianificazione territoriale. Il quadro legislativo inglese prevede anche strumenti di incentivazione o compensazione per consentire di raggiungere i requisiti previsti dal codice. Esempio il *Carbon Offset Fund* (COF), un meccanismo di compensazione della mancata quota di riduzione delle emissioni nell'ambito di progetti di trasformazione urbana e nuove realizzazioni, che ad esempio non hanno raggiunto il livello L6 previsto dal *Code for Sustainable Home*. Il "fondo di compensazione", raccoglie contributi in denaro corrispondenti alle tonnellate di anidride carbonica non abbattute e canalizza i ricavi in investimenti per altri progetti finalizzati alla riduzione di emissioni (si confronti la Parte V).

In linea con quanto emerso nella parte I, risulta evidente la necessità per la pianificazione territoriale di operare a favore di una integrazione tra mitigazione e adattamento, affinché si traggano i vantaggi di tale sinergia e si evitino risultati conflittuali che annullino gli sforzi di mitigazione nel lungo termine. Perseguire la resilienza delle aree urbane agli inevitabili impatti dei cambiamenti climatici è uno degli obiettivi della pianificazione territoriale in relazione all'adattamento. I rischi al centro degli sforzi di adattamento consistono principalmente negli allagamenti urbani, nell'erosione della costa, nelle onde di calore e nella siccità. A riguardo, gli impegni profusi dalla disciplina si sono concentrati sulla localizzazione dei nuovi insediamenti in aree con livelli di rischio inferiori, nella progettazione di edifici ed insediamenti resilienti e nella promozione di una gestione sostenibile delle acque.

Il quadro fornito da Davoudi permette di comprendere il ruolo della pianificazione urbana nel contributo alla lotta ai cambiamenti climatici, focalizzandosi in particolare sul risvolto pratico dell'integrazione tra pianificazione ed energia. Tuttavia, tali considerazioni devono essere contestualizzate in un sistema di governo del territorio di tipo performativo, quale è quello anglosassone. In tale modello, ad un primo livello strategico non vincolante, ma di indirizzo, segue un livello di trasformazione del territorio cui competono le regole di attuazione (Gaeta et al., 2013). Si compie, cioè, una

verifica sul progetto di trasformazione riguardo la relativa capacità di “performare” la strategia del I livello, a posteriori rispetto a quanto avviene nei modelli conformativi. In tal senso gli strumenti proattivi possono essere letti come afferenti al primo livello, e quelli regolamentatori al secondo, giustificando la necessità di un approccio strategico, tipico del terzo gruppo.

I sistemi di tipo conformativo, caratteristici dell'ordinamento italiano, mostrano un approccio ribaltato rispetto a quelli performativi. La strategia assunta, infatti, assume già carattere vincolante ed è composta da regole tali da rendere i progetti di trasformazione del territorio conformi alla strategia stessa. All'interno delle due principali forme di configurazione dei sistemi di governo del territorio, esistono varie modalità di controllo e gestione che, nella definizione e adozione delle politiche urbane ambientali, risultano in tre approcci diversi, seppur integrabili. Il primo si basa sul principio del ‘divieto’, il secondo su quello dell’“incentivo”, il terzo sul quello della “educazione” (Pappalardo et al., 2016). Gli approcci di tipo regolativo rispondono al primo principio e hanno caratterizzato i processi di pianificazione tradizionale (ad esempio il ricorso allo strumento di zonizzazione). Nonostante questo tipo di approccio sia molto diffuso, soprattutto nei sistemi conformativi, stanno emergendo in vari settori politiche urbane finalizzate al miglioramento della qualità urbana rispondenti al secondo principio. L'approccio, in questo caso, ha alla base meccanismi di mercato, dipendenti da variabili economiche, che forniscono incentivi ai singoli privati e/o alle comunità, affinché possano essere ridotte le esternalità negative prodotte dalle loro azioni sull'ambiente urbano. Le politiche rispondenti al secondo principio sono adottate con crescente frequenza, a livello nazionale (ecobonus, bonus ristrutturazioni e bonus mobili - legge n. 208 del 28 dicembre 2015) e locale (si confronti, ad esempio, il caso del PRG di Trieste 2015, nella parte V) e sembrano rappresentare un mezzo efficace per incoraggiare i soggetti ad intraprendere azioni di tipo volontario. Gli approcci che si basano sul terzo principio non godono di autonomia, ma risultano complementari agli altri due, ai fini della diffusione e adozione di pratiche virtuose. Le ricerche in atto considerano l'efficacia delle politiche e delle strategie urbane ai fini ambientali dipendente dalla capacità di integrazione dei

due approcci regolatore e incentivante, dando forma alle leve che possono essere attivate nei diversi contesti (Zanon & Verones, 2013) e a strumenti rinnovati e appropriati, di cui alcune formulazioni sono state introdotte nel contesto nazionale. Gli strumenti tradizionali, infatti, non sono più ritenuti adeguati in uno scenario istituzionale mutato, sollecitato da nuovi temi e istanze, in cui competenze e risorse vengono riallocate per rispondere a una struttura politico-amministrativa gerarchica complessa (dalla UE, allo Stato, Regioni e Comuni). In particolare, l'esclusivo approccio regolativo, che ha caratterizzato gli strumenti chiave della pianificazione urbana tradizionale, non è più adeguato, in quanto inefficace nell'orientare comportamenti, indirizzare azioni di intervento e stimolare il mercato.

L'inclusione della questione energetica nella pianificazione urbana, dunque, non può essere considerata una politica ambientale, quanto piuttosto una nuova politica urbana (Zanon & Verones, 2013), dotata di propri strumenti e approcci per raggiungere obiettivi specifici e rispondere a esigenze nuove ed in evoluzione. In tal senso, la disciplina urbanistica è chiamata a operare un cambiamento nel proprio paradigma affinché le innovazioni apportate dalla relazione tra clima, sviluppo ed energia possano essere gestite in maniera attenta e lungimirante (Biesbroek et al., 2009).

3. UNO STRUMENTO PER L'ANALISI E LA VALUTAZIONE DELLA PERFORMANCE ENERGETICA URBANA

For a city to be sustainable, an integrated approach is needed, along with the necessary planning tools.

UNHABITAT (2012)

3.1 Le ragioni di uno strumento

Il corrente orientamento disciplinare fin qui descritto richiede un apparato analitico specifico affiancato da strumenti idonei alla sua costruzione e gestione, affinché possa avere una applicazione propria.

L'integrazione delle questioni energetiche nella pianificazione territoriale obbliga ad un ampliamento dei profili analitici più tradizionali, di cui vengono configurate nuove forme, includendo approcci e metodi specifici, esulanti dalla disciplina urbanistica, che possano agevolare il percorso verso la sostenibilità. La comprensione della performance energetica urbana, in questo quadro, risulta indispensabile per indirizzare le scelte e le politiche di governo del territorio in una prospettiva di riduzione del rischio climatico.

La ricerca si è, dunque, interessata della costruzione di uno strumento analitico-valutativo della prestazione energetica complessiva delle aree urbane consolidate, finalizzato a migliorare la comprensione della domanda energetica delle città e a sviluppare valutazioni a supporto di strategie di pianificazione urbana attraverso la configurazione di possibili scenari futuri. Tale *planning tool*, che denota gli approcci di trasformazione e integrazione disciplinare, va

integrato al piano, strumento tradizionale della disciplina urbanistica, che deve evolversi in linea con le esigenze emerse, assumendo la conformazione di *meta-strumento* (Lascoumes & Le Gales, 2009). Così intendendo significare uno strumento omnicomprensivo di governo del territorio e una forma di coordinamento di strumenti di diversa funzione e natura. In questo quadro ampliato, trovano applicazione le mappature, strumenti sempre più versatili e capaci di evolversi, che integrati al piano migliorano la lettura consapevole e complessiva dei sistemi urbani, a beneficio di una risposta adeguata degli stessi alle istanze contemporanee.

Le mappature energetiche possono esprimere l'interfaccia tra urbanistica ed energia, correlando informazioni di carattere energetico con considerazioni di tipo territoriale. Attraverso tali rappresentazioni tematiche, viene conferito il carattere spaziale ai consumi energetici e, conseguentemente, viene esteso e corredato il complesso sistema di analisi che sta alla base della fase valutativa. Dati di diversa natura vengono associati all'informazione spaziale generando una consueta rappresentazione, la mappa, che, tuttavia, risulta arricchita di significati che possono essere considerati indispensabili nel quadro disciplinare delineato, in cui il tema energetico, oltre che informare di nuovi contenuti il processo di governo del territorio, ne indirizza scelte e strategie. Tali strategie, infatti, si dimostrano efficaci se accompagnate da una profonda comprensione della distribuzione geografica dei consumi, che metta in evidenza le differenze esistenti nei profili energetici e nelle caratteristiche spaziali e socio-economiche che li hanno determinati. Azioni e processi di indirizzo assumono, in tal modo, una caratterizzazione locale, differenziata nei modi e nei contenuti per includere le caratteristiche e le peculiarità del territorio (De Pascali, 2013).

In linea con quanto detto, le mappe energetiche, forniscono supporto alle decisioni relativamente a una pluralità di aspetti, come precisato dall'Associazione inglese *Association for decentralised energy* (ADE, 2014):

- Reti di teleriscaldamento: le mappe possono suggerire le opportunità di programmazione della rete come parte di progetti di rigenerazione;

- Strategie energetiche: le mappe hanno la potenzialità di offrire una base per configurare strategie energetiche in insediamenti urbani esistenti o di nuova progettazione;
- Soluzioni energetiche: le mappe possono essere utilizzate nell'edilizia sociale per l'identificazione delle migliori soluzioni energetiche da adottare nei casi di riqualificazione;
- Priorità: dalle mappe possono emergere le potenzialità per nuovi investimenti;
- Carbon compliance/allowable solutions: possono essere evidenziati i luoghi dove applicare soluzioni energetiche per rispondere ai requisiti di carbon compliance/allowable solutions (Zero Carbon Hub, 2012);
- Indirizzare le scelte di espansione urbana: possono emergere considerazioni che indirizzino le scelte di localizzazione di nuovi insediamenti;
- Caratteri energetici: le mappe possono, infine, definire le proprietà energetiche delle diverse aree. Tali informazioni possono essere utilizzate per definire soluzioni e politiche energetiche idonee.

Quest'ultimo aspetto esprime particolarmente bene la relazione tra energia e urbanistica, mettendo in evidenza come le caratteristiche fisiche del territorio possano incidere sui consumi energetici, e siano, tuttavia, determinanti nella scelta di soluzioni energetiche efficaci.

Al di là dei punti individuati dall'associazione inglese, le mappe possono spaziare nei contenuti in relazione agli obiettivi per i quali si utilizza tale strumento di rappresentazione, descrivendo anche proiezioni potenziali piuttosto che condizioni di stato di fatto (rappresentazioni del potenziale massimo di energia prodotta installando in modo diffuso in città sistemi fotovoltaici, previsione dell'uso dell'energia solare a scala urbana e sistemi di supporto decisionale in relazione ai diversi sistemi tecnologici) (Byrd et al., 2013; Rylatt et al., 2001; Ramachandra & Shruti, 2007).

Tali "impieghi" dello strumento di mappatura, vanno legati alla scala di analisi, la quale costituisce un elemento sostanziale per le successive considerazioni

urbanistiche. La scala si riferisce all'ambito investigato e al livello di dettaglio con cui vengono condotte le analisi e le modellazioni su cui si incentrano i processi di mappatura. Le mappe energetiche possono essere, infatti, redatte a diversi livelli di approfondimento. A una scala regionale, sono evidenti informazioni di tipo macroscopico, le argomentazioni energetiche sono di tipo generale e derivano da analisi sulla produzione, l'approvvigionamento, i consumi e i flussi, e possono essere affiancate alla pianificazione territoriale alla stessa scala, avendo un approccio conoscitivo strategico di indirizzo. Si configura poi una varietà di scale intermedie, in cui l'unità di analisi si dettaglia progressivamente dalla città, ai bacini energetici, ai quartieri fino a giungere all'edificio, che rappresenta l'unità minima delle mappe energetiche alla scala di quartiere o isolato. In particolare, questa scala di analisi risulta significativa per la pianificazione a livello locale, che potrebbe contare, in tal modo, su un bagaglio analitico-conoscitivo indispensabile ai fini della predisposizione di strategie *site-specific* (Fichera et al., 2016).

Le mappature energetiche sono elaborate a valle di studi, modellazioni e raccolte di dati che abbracciano un'ampia varietà di metodi e procedure, presupponendo frequentemente lo sviluppo e l'uso di software più o meno sofisticati da applicare su modelli fisicamente basati sulle strutture urbane nella loro complessità (Palermo & Pappalardo, 2016). Una tipica distinzione nell'approccio modellistico e nella scelta dei dati da elaborare e rappresentare attiene al metodo di tipo top-down o bottom-up. I termini sono di per sé indicativi del processo che sottende i due approcci: il primo si articola in uno sviluppo che procede dall'alto (Top) verso il basso (Down), ovvero da dati aggregati ad una scala generica verso specificazioni a scala più dettagliata, e utilizzando generalmente dati di tipo statistico ed economico. Il secondo mostra un processo di direzione opposta, dal basso verso l'alto e dunque da un livello di dettaglio maggiore a uno inferiore. In questo caso le variabili economiche sono quasi esclusivamente mantenute esogene, puntando piuttosto su aspetti tecnologici e dati di tipo quantitativo (Kavgic et al., 2010; Swan & Ugursal, 2009; Zuppiroli et al., 2012). Tuttavia, questa rigida distinzione concerne in maggior misura gli aspetti teorici. Sono, infatti, usuali

casi in cui dati relativi a tecnologie energetiche siano inclusi in studi di tipo *Top-Down* e viceversa, dati statistici nazionali sulla popolazione siano utilizzati in approcci *Bottom-Up*. Queste condizioni, che possono essere considerate "ibride", sono quelle che tipicamente interessano la pianificazione territoriale nell'accezione corrente, la quale ha una natura multidisciplinare e si compone anche degli apporti di numerose discipline.

Nelle indagini urbane dal punto di vista energetico e quindi nella redazione delle mappe energetiche, si riscontra ripetutamente la problematicità della carenza di dati energetici aggiornati a una scala più dettagliata di quella provinciale. La costruzione di opportuni modelli analitici, in tal senso, interviene a sopperire tale mancanza e permette di condurre analisi, attraverso un'appropriata semplificazione della realtà. I modelli e le relative leggi analitiche alla base, sono determinati in relazione alle finalità stesse e alla scala di azione del modello.

Quanto detto, determina l'elaborazione di un modello analitico di tipo ingegneristico per la definizione dei consumi urbani alla scala di quartiere dei settori che maggiormente ne sono responsabili, strutturato per condurre considerazioni valutativo-progettuali. Il quartiere è stato ritenuto il livello appropriato di approfondimento non soltanto dal punto di vista analitico, ma anche perché rappresenta una scala idonea a cogliere le relazioni complesse che caratterizzano le dinamiche urbane e all'applicazione di misure di intervento selezionate a valle delle analisi. I consumi energetici urbani sono principalmente dovuti agli edifici, ai trasporti e all'illuminazione pubblica, e lo strumento proposto mira a stimare i consumi energetici dei tre settori per consentirne un'analisi sia in forma disaggregata sia aggregata e per costruire possibili scenari di progetto. Lo strumento è costituito da due fasi consecutive il cui esito è la configurazione di mappature energetiche di quartiere di stato di fatto e di progetto, redatte mediante l'elaborazione di database geografici su sistemi informativi territoriali gestiti dal software ARCGIS e di procedure di calcolo su fogli di lavoro gestiti dal software Microsoft Office Excel.

3.2 Modelli energetici, modelli integrati e mappature

Gran parte degli studi energetici viene abitualmente condotto alla scala dell'edificio, investigando aspetti geometrici e tecnologici con l'obiettivo di incrementare l'efficienza energetica e di ridurre i consumi degli immobili esistenti e di rispettare i requisiti di quelli di nuova progettazione. Tuttavia, ai fini di una disciplina integrata ed innovata nella forma e nei contenuti, la scala edilizia risulta insufficiente in quanto esclude molte delle componenti costitutive degli ambiti urbani e non consente, dunque, di costruire un quadro complessivo dei consumi né della loro spazializzazione. Gli ambiti urbani essendo, infatti, costituiti da sottosistemi fortemente interconnessi, possono essere considerati dei sistemi energetici "estesi".

In letteratura è possibile identificare modelli di tipo settoriale, riferiti esclusivamente al settore edilizio o alla mobilità, così come modelli che impostando ipotesi iniziali, aggregano i diversi fattori responsabili dei consumi. Questa prima classificazione relativa alla monodisciplinarietà di analisi, viene accompagnata da quella relativa alle tecniche di modellazione, per le quali vale la distinzione nei due approcci *Top-Down* (TD) e *Bottom-Up* (BU). Tali approcci sono stati ampiamente approfonditi da Swan & Ugursal (Swan & Ugursal, 2009), i quali hanno predisposto una *review* delle tecniche di modellazione dei consumi finali di energia nel settore residenziale e da Kavgić et al. (Kavgić et al., 2010) che mettono a confronto cinque modellazioni dei consumi energetici residenziali di tipo *Bottom-Up* applicati ad una stessa area di studio nel Regno Unito.

Come delineato, la differenza tra i due metodi riguarda principalmente i dati utilizzati per la costruzione del modello, l'applicabilità dei risultati e il "verso" in cui viene sviluppata la modellazione stessa (Swan & Ugursal, 2009; Kavgić et al., 2010).

Il progetto Sunshine (Smart Urban Services for Higher eNergy Efficiency), ha associato, infine, agli approcci TD e BU, i concetti di *object of investigation*, *sample* e *datum* (Zuppiroli et al., 2012).

Il campo analizzato (*object of investigation*) riguarda gli elementi che costituiscono l'oggetto di applicazione del modello: edifici, quartieri, regioni.

Il campione analizzato (*sample*) è l'insieme critico dei singoli elementi che sono presi in considerazione nel modello e può essere studiato nella sua interezza, se il campione coincide con tutti i singoli elementi inclusi nel campo stesso, o parzialmente, se vengono considerati solo alcuni degli elementi. In tal caso la selezione degli elementi considerati può essere operata secondo diverse modalità, ad esempio su base statistica o casuale.

Il set di dati (*datum*) utilizzato esprime le informazioni (conosciute o rilevate), relative agli elementi che costituiscono il campione. I dati possono essere aggregati (rappresentativi di un gruppo di elementi), i quali possono essere ottenuti da dati in forma non aggregata, da analisi su campioni statistici e da dati nazionali pubblici, o disaggregati quando esprimono una caratteristica specifica di ciascun elemento. A questi aspetti si aggiungono, la qualità e la tipologia del dato utilizzato.

I modelli *Bottom-Up* usano in genere un set di dati disaggregato attraverso cui descrivono le caratteristiche del campo analizzato ad una scala superiore di quella cui afferisce il dato di partenza. Il *datum* è eterogeneo, comprendendo informazioni quali ad esempio, caratteristiche geometriche e tecnologiche dell'apparecchiatura costruttiva, anno di costruzione e di rinnovo degli edifici, che vengono elaborate attraverso metodi di calcolo più o meno sofisticati per ottenere il risultato cercato, in genere il consumo energetico. I metodi di calcolo e il set di dati utilizzati, consentono di operare un'ulteriore classificazione dei modelli bottom-up, basati su: metodi statistici (*Statistical Methods* - SM) e metodi basati su principi fisici, definiti "ingegneristici" (*Engineering Methods* - EM) da Swan & Ugursal o "basati sulla fisica dell'edificio" da Kavgic et al. I primi utilizzano procedure di calcolo statistiche per collegare i dati di uno o più edifici ai consumi energetici. In genere, le procedure di calcolo più utilizzate nei metodi statistici in letteratura sono la regressione, la rete neurale e la *Conditional Demand Analysis* (CDA). I secondi (EM) utilizzano un ingente ed eterogeneo numero di dati e possono svilupparsi attraverso procedure di calcolo più o meno complesse, che spesso consistono in analisi

termodinamiche e di trasferimento del calore. Tali modelli sono stati anche suddivisi in due macro categorie: metodi dettagliati e onnicomprensivi, che usano funzioni molto elaborate per il calcolo dei consumi energetici, e metodi semplificati, utilizzati per sopperire alla difficoltà di gestione dei modelli appartenenti alla categoria precedente (Zhao & Magoulès, 2012).

Swan & Ugursal hanno identificato tre tecniche di modellazione EM: Distribuzioni, Archetipi e Campione. La tecnica della distribuzione si basa sull'utilizzo dei dati regionali o nazionali relativi alla ripartizione degli elettrodomestici e del loro uso per calcolare il consumo energetico finale. Pur basandosi su valutazioni nazionali, i dati hanno un livello di disaggregazione (per uso finale) tale da poter considerare il metodo bottom-up. Inoltre, se associato al dato distributivo delle abitazioni, il valore di consumo di energetico ottenuto può essere considerato rappresentativo a un livello superiore (regionale o nazionale).

La tecnica degli archetipi si basa sul calcolo del consumo energetico di alcuni edifici che, per le proprie caratteristiche (anno di costruzione, tipo di edificio, apparecchiatura costruttiva, numero di piani, altezza), possono essere considerati rappresentativi dello stock edilizio di una determinata zona. Gli edifici studiati possono non essere realmente presenti sul territorio, ma modellati affinché comprendano gli elementi salienti delle diverse categorie di edifici dei quali costituiscono gli archetipi. Potrebbe, dunque, accadere che nessun edificio appartenente ad una determinata classe sia perfettamente corrispondente all'archetipo che la rappresenta. A seconda del livello di dettaglio, la modellazione potrebbe riuscire a cogliere l'interrelazione tra gli usi finali e l'utilizzo degli elettrodomestici, approfondimento non possibile con la prima tecnica analizzata. La tecnica degli archetipi necessita, solitamente, di una simulazione dettagliata dell'edificio. Tale circostanza, ha fatto sì che questa forma di modellazione, si sviluppasse parallelamente al progresso nel campo dell'informatica.

La tecnica a campione, a differenza della precedente, non semplifica il patrimonio edilizio esistente individuando delle categorie in cui devono ricadere gli edifici, ma dà una rappresentazione più verosimile della realtà scegliendo un

campione di edifici. Se il campione di edifici è sufficientemente grande, viene ben rappresentata la varietà del patrimonio edilizio indagato. Tale approccio richiede però un'ampia quantità di dati, risultando in alcune circostanze troppo oneroso a seconda degli obiettivi prefissati.

Da quanto emerso i modelli *Bottom-Up* che usano tecniche EM si basano su un set di dati molto vasto e dettagliato che generalmente si riferisce ad informazioni di tipo quantitativo su variabili misurabili, quali l'efficienza degli impianti di riscaldamento e le loro caratteristiche, la tecnologia e le proprietà termo-fisiche dell'involucro edilizio, il consumo di elettrodomestici, il numero di occupanti...

È tuttavia, attraverso la combinazione di un'intensiva mole di dati geometrici e termo-fisici, di dati rilevati, ricavati da elaborazioni e ottenuti da banche dati ufficiali, che tali modelli permettono di calcolare o simulare esplicitamente i consumi energetici senza basarsi necessariamente su valori storici, consentendo di stimare le prestazioni energetiche degli edifici, non soltanto nelle condizioni attuali ma anche nell'ipotesi di scenari futuri (Kavgic et al., 2010; Swan & Ugursal, 2009).

I modelli *Top-Down* sono organizzati "dall'alto" attraverso la valutazione dei cambiamenti che sono avvenuti nel settore residenziale nel complesso, utilizzando dati, in genere aggregati, di tipo macroeconomico, climatico, statistico. La tecnologia viene guardata dal punto di vista economico.

Il passaggio da approcci *Top-Down* a *Bottom-Up*, è generalmente utilizzato per verificare se le informazioni riguardanti l'oggetto della modellazione, possano essere attribuite ad una sola parte del campione o alla sua totalità. Tale condizione si verifica, ad esempio, se il valore aggregato del consumo di energia di un dato territorio (*top-down*) possa essere rappresentativo anche di un quartiere (Zuppiroli et al., 2012). Viceversa, il passaggio dall'approccio *Bottom-Up* a quello *Top-Down* viene utilizzato per verificare se uno o più campioni (*bottom-up*) possano essere considerati rappresentativi dell'oggetto complessivo della modellazione (*top-down*) (Zuppiroli et al., 2012). Tuttavia, poiché i due approcci mostrano una considerazione delle variabili economiche molto diversa, implicando eventuali risultati incompatibili, modellazioni di tipo

ibrido sono state introdotte in numerose ricerche. Nella ricerca di Jacobsen viene sostenuto che i modelli ibridi abbiano il pregio di utilizzare i risultati derivanti dai calcoli basati sulle caratteristiche termofisiche degli edifici per determinare il fabbisogno energetico, che costituisce uno dei fattori esogeni del modello macroeconomico (Jacobsen, 1998).

La seguente rassegna di modelli energetici presenti in letteratura è stata basata sull'inquadramento descritto, sia riguardo la chiave di lettura sia la classificazione. Tuttavia è stato mantenuto un grado di autonomia, nella selezione dei modelli da analizzare e nelle considerazioni effettuate.

Tra i modelli di tipo Top-Down, Swan & Ugursal, nella loro rassegna, descrivono il modello sviluppato per la città di Gothenburg (Tomberg & Thuvander, 2005) utilizzando l'intero registro immobiliare della città (68,200 edifici) e i dati energetici forniti dal principale ente fornitore di energia sul territorio. I dati energetici sono stati letti sui contatori e sono stati distribuiti agli edifici sulla base dell'anno di costruzione e della destinazione d'uso. Il modello utilizza i sistemi di informazione geografica (GIS) ed è in grado di associare il consumo energetico a gruppi di edifici, potendo dunque essere usato per l'identificazione delle zone ad elevati tassi di consumo energetico.

Zhang (2004), utilizzando dati energetici nazionali di tipo aggregato relativi al settore residenziale, ha confrontato i valori del consumo energetico unitario (UEC) a livello internazionale. Tali valori sono stati calcolati prima per diverse regioni della Cina, basandosi sul consumo di energia e sul numero di edifici residenziali, e successivamente sono stati confrontati con quelli delle altre nazioni, in particolare Giappone, Stati Uniti e Canada. I risultati hanno indicato che il Giappone utilizza circa metà del UEC degli Stati Uniti e del Canada, e la Cina circa un quarto, quando i dati vengono normalizzati in base ai gradi giorno.

Pereira & Assis (2013) hanno sviluppato un modello che prevede l'uso di dati censuari e tecniche di distribuzione per stimare il consumo energetico, associato a considerazioni di tipo economico, del settore residenziale nelle diverse zone della città di Belo Horizonte in Brasile. Utilizzando tali dati a scala regionale, viene effettuata un'indagine dettagliata degli abitanti, del loro profilo socioeconomico, dei dati occupazionali e di proprietà intersecati a dati di tipo

spaziale-localizzativo e dati energetici degli elettrodomestici negli edifici considerati. A livello spaziale sono state aggregate diverse sezioni censuarie ottenendo le HSU – *Homogeneous Spatial Units*. Le apparecchiature energetiche sono state considerate all'interno di sette categorie di utilizzo: la cottura, il riscaldamento dell'acqua, la conservazione del cibo, l'illuminazione interna, il divertimento, i servizi generali e il comfort termico. Per ogni categoria è stato calcolato il consumo energetico di ogni apparecchiatura e sommati i relativi valori, ottenendo così il relativo consumo totale. Il consumo totale per regione si ottiene moltiplicando questi valori per il numero di abitazioni e di apparecchiature. Visto l'ingente numero di dati utilizzati il metodo di calcolo è necessariamente semplice e di facile replicabilità. La mappatura ottenuta permette di correlare il consumo energetico con i dati socio economici al fine di assicurare una corretta gestione energetica, che possa risolvere le questioni di carenza di sicurezza e di errate previsioni nelle forniture energetiche che hanno caratterizzato il Brasile nell'ultimo periodo.

Tra i modelli di tipo bottom-up è frequente che la rigorosa suddivisione EM e SM e la scelta delle tecniche di modellazione venga meno, dando piuttosto forma a casi "ibridi" in cui vengono combinate tecniche e dati di tipo diverso per migliorare il risultato di previsione dei consumi energetici previsto dal modello stesso (Kavgic et al., 2010; Theodoridou et al., 2012; Zhao & Magoulès, 2012).

Theodoridou et al. (2012) forniscono uno strumento flessibile, che combina gli approcci bottom-up ingegneristici e statistici finalizzato alla progettazione di adeguati interventi di risparmio energetico sul patrimonio edilizio delle città greche. La metodologia prevede un sistema di selezione di dati a livello municipale, che può essere applicato indistintamente in diverse realtà territoriali. Dati statistici riguardanti la popolazione e l'età degli edifici, i materiali da costruzione e gli usi finali sono forniti dall'ente statistico nazionale greco per ogni municipalità. Attraverso una elaborazione di tali dati statistici di base, viene condotta una categorizzazione degli edifici residenziali esistenti basata sull'anno di costruzione e su ulteriori informazioni che derivano da indagini sul campo. Tali indagini, che costituiscono lo scheletro del modello bottom-up per

archetipi, servono per la successiva simulazione delle performance energetiche degli edifici analizzati in specifici scenari che prevedono la combinazione di varie formule di intervento tra cui la possibile introduzione di fonti energetiche rinnovabili per la produzione di elettricità e di acqua calda sanitaria.

Howard et al. (2012) hanno predisposto un modello per il calcolo del consumo energetico annuale degli edifici della città di New York in cui l'unità minima di analisi coincide con i lotti fiscali. Sono stati analizzati 859134 *tax lots* di New York a cui sono stati associati i dati raccolti in un database continuamente aggiornato dalla municipalità relativo al patrimonio edilizio, PLUTO (circa un milione di edifici). Il database non ha una risoluzione tale da fornire informazioni sul numero di edifici presenti in ciascun lotto, dunque sono state sviluppate delle procedure per assegnare la superficie fondiaria ad 8 categorie di uso degli edifici: commerciale, residenziale, uffici, vendita, garage, magazzino, artigianale e altro. Ad ogni lotto è stato inoltre assegnato un codice di classificazione per tenere conto della principale destinazione d'uso degli edifici compresi al suo interno. Considerando i seguenti usi: riscaldamento e raffrescamento, elettricità e acqua calda, è stato possibile determinare la distribuzione dell'intensità energetica per uso primario ottenuta mediante metodi di regressione lineare multipla. I risultati sono stati confrontati e validati con quelli di intensità energetica delle aree rappresentate dagli *zip-code*, delimitazioni territoriali utilizzate negli Stati Uniti con elevata frequenza per la predisposizione di statistiche. Il modello è da considerarsi un valido punto di partenza per ulteriori analisi che possano dare valutazioni più accurate e profili energetici su base oraria piuttosto che annuale. I risultati mostrano come l'energia necessaria al raffrescamento degli ambienti costituisca l'uso finale con minore consumo per tutte le categorie di uso degli edifici. A questo dato si contrappone quello relativo al riscaldamento degli spazi, che incide, al contrario, in maniera dominante per tutte le destinazioni d'uso degli edifici. La mappa energetica di New York è visualizzabile online e fornisce per ogni lotto i dettagli numerici e la distribuzione energetica percentuale per settore attraverso un grafico a torta. La mappa e i risultati del modello possono

essere utilizzati per configurare delle ipotesi sulle forme di produzione di energia, divenendo un supporto per analizzare la fattibilità di sistemi di cogenerazione, di sistemi di utilizzo di energia solare e determinare la migliore combinazione delle diverse tecnologie in termini economici e di emissioni.

Swan (2010) ha sviluppato un modello energetico residenziale a scala nazionale per il Canada utilizzando un database di circa 17.000 edifici rappresentativi, ottenuti attraverso una estrazione selettiva dei dati raccolti dal programma *EnergGuide*, in cui professionisti di *energy audit* hanno misurato e stimato la performance energetica di 200.000 edifici. I dati da questo database sono stati selezionati statisticamente in modo da rispondere ad alcuni parametri chiave (luogo, tipologia, anno di costruzione, geometria, sistema di riscaldamento). Ogni edificio ottenuto dal database rappresenta circa 500 edifici del patrimonio edilizio canadese e consente la caratterizzazione del rendimento energetico attraverso la simulazione delle prestazioni energetiche dell'edificio e il relativo impatto dell'implementazione di nuove tecnologie.

Heiple & Sailor (2008) hanno realizzato trenta prototipi di edifici incorporanti diversi aspetti rappresentativi delle caratteristiche termo-fisiche degli edifici e dei comportamenti degli utenti. Le intensità energetiche degli edifici sono state poi aggregate a livello municipale per ottenere le informazioni orarie degli usi di gas e energia elettrica per la città di Houston.

Yamaguchi et al. (2007) hanno sviluppato un modello di *district clustering* utilizzando come unità base di sviluppo di modellazione un isolato piuttosto che l'edificio. Il modello ha analizzato il settore commerciale ed è stato applicato alla città di Osaka in Giappone. Sono stati sviluppati inoltre vari scenari per valutare le diverse misure di intervento associate ai diversi gradi di difficoltà di implementazione per la riduzione delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera. Il modello è stato sviluppato creando delle griglie quadrate di 500 metri per lato secondo criteri relativi a numero di edifici, anno di costruzione, superficie lorda e uso. Le griglie a celle sono state classificate in 6 diverse categorie secondo i dati rilevati (uffici ad alta concentrazione, uffici a bassa concentrazione, centro urbano, commerciale ad alta concentrazione, misto

commerciale e residenziale). Sono stati stimati i consumi energetici per unità di superficie di edificio per ogni classe di distretto. Per ciascuna di esse è stato poi scelto un distretto rappresentativo, su cui è stato applicato il modello.

Rodríguez-Álvarez (2016) ha sviluppato un *tool* (*Urban Energy Index for Buildings* - UEIB) per valutare la performance energetica degli edifici alla scala urbana, affinché potesse essere gestita la complessità dei sistemi urbani e delle interazioni tra le varie componenti, che coinvolgono un numero crescente di parametri. Il modello inoltre tiene in considerazione la componente morfologica dei tessuti urbani e la scinde dagli altri parametri in gioco per calcolare i carichi energetici dovuti al riscaldamento e al raffrescamento e all'illuminazione negli edifici. Il tessuto morfologico viene trasformato in una griglia fittizia, appositamente costruita, con celle di dimensioni variabili (da 100 x 100 a 500 x 500). Seguendo un approccio differenziale, vengono ottenuti i parametri necessari al calcolo dei carichi energetici. Il modello offre un nuovo approccio, che si discosta da quelli tipici delle tecniche statistiche o termodinamiche. Lo strumento può essere applicato in diverse città e a diversi contesti offrendo valori di riferimento per analisi di scenario e la possibilità di valutare le implicazioni energetiche dovute a trasformazioni urbane. Il modello può essere rappresentato in tre diversi formati: fogli di calcolo, diagrammi a livello regionale per diverse condizioni climatiche e tipologie di edifici che permettono di individuare i carichi termici dei tessuti urbani selezionati secondo i parametri calcolati precedentemente, e in GIS, il quale permette di condurre analisi spaziali e la rappresentazione in mappe tematiche specifiche. Lo strumento per UEIB facilita, dunque, l'integrazione delle considerazioni energetiche nelle decisioni urbanistiche e costituisce un valido supporto alle politiche di governo del territorio, tenendo conto degli aspetti morfologici i quali hanno un peso significativo nelle variazioni dei carichi energetici.

Ai fini del modello proposto nel presente lavoro di ricerca sono di utile riferimento le procedure sviluppate da Dall'O et al. (2012) e Ascione et al. (2013). Dall'O et al. hanno sviluppato un modello che utilizza una combinazione di dati statistici e tecnici in una piattaforma GIS, per calcolare la prestazione energetica degli edifici per il riscaldamento. Dai dati statistici sono state

individuare le caratteristiche per poter definire edifici rappresentativi, i cui dati sono stati poi completati attraverso analisi più dettagliate. Il consumo energetico per il riscaldamento viene stimato attraverso le certificazioni energetiche degli edifici. Inoltre, attraverso un'elaborazione dei dati sono state generate delle rette di correlazione tra i valori di prestazione energetica ed il rapporto di forma e l'epoca di costruzione degli edifici. Il metodo è stato applicato a Carugate, una città lombarda di medie dimensioni.

Ascione et al. hanno sviluppato un modello che dalla stima del fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento dei singoli edifici, permette una mappatura energetica di un'area urbana sviluppando le *Urban Energy Map*. La procedura è articolata in diverse fasi: la raccolta dei dati attraverso un dettagliato sopralluogo degli edifici, dati cartografici e di studi settoriali, la determinazione del fabbisogno energetico per il riscaldamento e il raffrescamento per ogni edificio e la classificazione della relativa prestazione energetica. Il fabbisogno energetico per il riscaldamento è calcolato attraverso la procedura prevista nella Norma UNI 11300 su cui è stata eseguita una serie di semplificazioni. Per la stima del fabbisogno energetico per il raffrescamento viene introdotta una procedura ibrida semplificata. Il modello è stato applicato al centro storico di Benevento e i dati ottenuti sono stati confrontati con le statistiche regionali di consumo della Provincia di Benevento, fornendo una discrepanza del 5% e con i risultati forniti da un software di simulazione energetica dinamica, che ha mostrato risultati convergenti.

Relativamente alla modellazione energetica nel campo dei trasporti, Saunders et al. (2008) hanno sviluppato uno strumento per incorporare l'energia dei trasporti nella pianificazione urbana. Muovendo dal presupposto che l'energia dovuta ai trasporti sia dovuta sia alla configurazione urbana sia ai sistemi di trasporto, lo strumento *Transport Energy Specification* calcola il fabbisogno minimo di energia per una determinata configurazione del sistema urbano e di trasporto. Il modello di calcolo dell'energia dovuta agli spostamenti è applicato ad un'area dai confini determinati e si basa sul principio per cui i lavoratori di una zona vengono assegnati in via prioritaria ai luoghi di lavoro più vicini e solo

quando l'area considerata è satura, vengono assegnati per default al di fuori. Il *Transport Energy Specification* consiste in un indicatore che esprime il valore minimo di energia utilizzata dagli utenti se questi scegliessero la modalità più efficiente, calcolato secondo semplici regole di distanza. Tale indicatore può costituire uno strumento previsionale destinato a supportare decisori politici e pianificatori territoriali nell'intraprendere disposizioni orientate allo sviluppo sostenibile e configurare strategie relativamente all'offerta di trasporto e al disegno urbano affinché, stabilito un limite massimo di energia dovuta ai trasporti in una determinata area, questo non venga oltrepassato.

Alcuni modelli hanno operato un'integrazione tra i consumi dovuti al settore edilizio e i consumi derivanti dalla mobilità. Jones et al. (2000) hanno sviluppato l'*Energy and Environment Prediction Model*, uno strumento di analisi per il calcolo del consumo energetico e delle emissioni alla scala urbana incorporando gli usi energetici degli edifici e dei flussi di traffico, attraverso la generazione di sub modelli per ogni settore dell'ambiente costruito. Il modello, sviluppato in ambiente Windows e basato su un software GIS, quantifica il consumo energetico per ogni settore e ne calcola le emissioni corrispondenti. Gli edifici residenziali vengono raggruppati in archetipi a seconda delle loro caratteristiche attraverso una *cluster analysis*. Gli edifici vengono assegnati al gruppo che li rappresenta, utilizzando cinque caratteristiche: superficie riscaldata orizzontale, superficie verticale, percentuale di superficie finestrata, area disperdente e anno di costruzione. Il calcolo dei consumi energetici si basa su una procedura di *rating* energetico (SAP – diffuso nel Regno Unito) che richiede dati relativi all'apparecchiatura costruttiva e alle sorgenti energetiche utilizzate. Gli edifici non residenziali vengono analizzati nelle loro specificità individuali. Il sub modello del traffico, utilizzando il concetto di integrazione spaziale misura il grado di accessibilità delle strade, ipotizzando che le strade ben integrate siano soggette a maggiori flussi di traffico. Il modello è nato come strumento di analisi e valutazione di aree esistenti ma è stato ulteriormente sviluppato per valutare gli effetti di progetti di nuove aree urbane (Jones et al., 2009) e per mettere in relazione gli usi energetici e la salute pubblica (Jones et al., 2007).

Ai settori edilizio e della mobilità Marique e Reiter (Marique & Reiter, 2012) integrano il consumo derivante dall'illuminazione pubblica, come fattore responsabile dei consumi energetici delle aree suburbane della regione della Vallonia in Belgio. Il modello è strutturato in tre parti: la componente edilizia, la componente trasportistica e la componente dell'illuminazione pubblica, che vengono analizzate separatamente per stimare i consumi energetici delle aree urbane. La componente edilizia è studiata sulla scorta del modello di Jones et al. I dati di input sono la tipologia edilizia, la superficie lorda, il numero di piani e la data di costruzione. Sulla base dell'anno di costruzione vengono individuate categorie che permettono di associare all'anno caratteristiche dell'apparecchiatura costruttiva degli edifici realizzati nella fascia temporale di appartenenza. Per il calcolo dei consumi energetici è stato utilizzato il software di simulazione termica *Pleiades + Comfie*. Tenendo conto della distribuzione sul territorio degli edifici, aggregando i dati ottenuti dalla simulazione viene ottenuto il fabbisogno di energia termica alla scala di quartiere. Per restituire un'immagine più dettagliata, al fabbisogno calcolato sono stati aggiunti i dati di tipo statistico dei consumi medi di acqua calda, applicazioni elettriche e cottura dei cibi. La componente trasportistica è stata studiata analizzando gli spostamenti casa scuola o casa lavoro in una prima fase, e in una seconda fase gli spostamenti per il tempo libero. Nel primo caso è stato possibile l'utilizzo di dati censuari, nel secondo caso è stato necessario sviluppare un calcolo che ipotizzasse famiglie tipo con determinate abitudini di spostamento combinando la frequenza di spostamenti con le distanze, tenendo conto sia dei piccoli esercizi commerciali sia dei centri commerciali. Gli spostamenti a piedi sono stati ignorati perché ad essi è associato un consumo energetico pari a zero. È stato infine associato un fattore di trasformazione in kWh alle distanze percorse. La terza componente è stata analizzata con un calcolo rapido, che tiene conto della potenza e del numero di corpi illuminanti, per stimare il consumo energetico apportato dall'illuminazione stradale in un'area urbana. Il metodo è stato applicato a tre quartieri suburbani della Regione Vallone in Belgio, i cui dati sono stati messi a confronto. I risultati hanno dimostrato la forte incidenza nei consumi totali

delle caratteristiche dell'apparecchiatura costruttiva e dell'orientamento degli edifici per ciò che attiene alla prima componente, e la loro ubicazione nel territorio, con incidenza nell'uso del mezzo privato per la seconda componente. Gli stessi autori (Reiter & Marique, 2012) hanno sviluppato un indice per il calcolo del consumo energetico dei trasporti alla scala del quartiere usando dati statici. Il metodo considera quattro tipi di spostamenti casa scuola, casa lavoro, gli spostamenti per il tempo libero e per lo shopping. La metodologia è stata applicata a quattro quartieri periferici situati a Liege, in Belgio.

La tabella 1 riassume i casi esposti.

	OGGETTO	CAMPIONE	SET-DATI	TECNICA
Tornberg & Thuvander (2005)	CITTÀ	EDIFICI	AGGREGATO	T-D
Zhang (2004)	NAZIONALE	EDIFICI RESIDENZIALI	AGGREGATO	T-D
Pereira & Assis (2013)	CITTÀ	EDIFICI RESIDENZIALI	AGGREGATO	T-D_ T. distributiva
Howard et al. (2012)	CITTÀ	LOTTI FISCALI	AGGREGATO	B-U – SM Regr. lineare
Swan (2010)	NAZIONALE	EDIFICI RESIDENZIALI	DISAGGREGATO	B-U – EM Campione
Heiple & Sailor (2008)	CITTÀ	EDIFICI RESIDENZIALI	DISAGGREGATO	B-U – EM Archetipo
Yamaguchi et al. (2007)	CITTÀ	QUARTIERI NON RESIDENZIALI	DISAGGREGATO	B-U – EM Archetipo
Rodríguez-Álvarez(2016)	CITTÀ	AREEE URBANE	DISAGGREGATO	B-U – EM
Dall'O et al. (2012)	CITTÀ	EDIFICI RESIDENZIALI	DISAGGREGATO	B-U – EM Campione
Ascione et al. (2013)	CITTÀ	EDIFICI	DISAGGREGATO	B-U – EM
Jones et al. (2000)	CITTÀ	EDIFICI E SPOSTAMENTI	DISAGGREGATO	B-U – EM Archetipo
Marique & Reiter (2012)	QUARTIERI	EDIFICI E SPOSTAMENTI	DISAGGREGATO	B-U – EM Archetipo
Theodoridou et al. (2012)	NAZIONALE	EDIFICI	DISAGGREGATO	B-U – EM+SM

Tabella 1: Schema sintetico delle caratteristiche dei modelli esposti

Esiste un filone di ricerca crescente, sviluppatosi anche nel quadro della *COST ACTION TU0902 Understanding Cities: Advances in integrated assessment of urban sustainability*, in cui vengono elaborati modelli e metodi per la valutazione integrata della sostenibilità dei sistemi urbani. Tali sistemi di analisi costituiscono uno strumento efficace per esplorare le relazioni tra gli impatti climatici nelle aree urbane e per supportare i processi decisionali tecnici e politici. Questo approccio permette di collegare gli aspetti teorici della sostenibilità e dei cambiamenti climatici alla pratica urbanistica. Tuttavia, la modellazione che sottende la valutazione integrata (*Integrated assessment modelling* - IAM) è più complessa rispetto agli approcci monodisciplinari, sia nella costruzione sia nell' utilizzo. L'*Integrated assessment modelling*, infatti, ha alla base della sua formulazione la complessità delle dinamiche urbane, che coinvolgono molti settori disciplinari, dalla fisica, alla sociologia, all'economia e all'ingegneria i cui relativi metodi di valutazione sono molto differenti spaziando da tecniche quantitative, ad approcci qualitativi e previsioni statistiche. A questi elementi si aggiunge la componente temporale che prende in considerazione anche impatti a lungo termine.

I modelli di valutazione integrata mirano a connettere la componente modellistica, i suoi risultati e l'utente finale, che molto spesso coincide con la pubblica amministrazione o la figura politica, la quale, sulla base dei risultati, è in grado di selezionare, tra numerose opzioni di mitigazione o adattamento, la più opportuna per il miglioramento della sostenibilità urbana in una determinata area. Alcune esperienze sono state raccolte in una rassegna sviluppata da Köhler et al. (2014). Tra queste, il modello *Urban Integrated Assessment Facility* sviluppato per Londra, prevede una valutazione integrata quantitativa dei diversi impatti climatici integrando i campi dell'economia, dell'uso del suolo e le emissioni di anidride carbonica dovute agli usi energetici e ai trasporti (Hall et al., 2009; Walsh et al., 2011; Walsh et al., 2013). Lo studio sviluppato per Londra è stato condotto da un team interdisciplinare per affrontare la molteplicità dei temi e le competenze necessarie ed ha coinvolto tutte le parti interessate durante l'intero processo (Walsh et al., 2013). Altri modelli, come quello sviluppato per la città di Linz in occasione della progettazione di *Solar*

City (Köhler et al., 2014), analizzano la domanda energetica e il livello di emissioni per un orizzonte temporale più breve, al fine di suggerire linee guida per indirizzare lo sviluppo di nuove espansioni urbane. In questo caso si è dato ampio spazio alla relazione tra le diverse configurazioni morfologiche urbane e le prestazioni energetiche, progettando strutture urbane che sfruttassero al massimo i vantaggi di una corretta esposizione solare, calcolando e monitorando continuamente le prestazioni energetiche degli edifici.

Sebbene la modellazione IAM abbracci diversi settori e metodologie, la componente spaziale ne costituisce una costante, sia essa utilizzata nella costruzione di dati o nell'interpretazione di risultati, dimostrando di avere un ruolo determinante nel quadro degli obiettivi della sostenibilità.

Da quanto sin qui esposto, risulta evidente che l'esito abituale di tali modellazioni è la mappatura dei consumi energetici, seppure, come anticipato, le prestazioni energetiche non siano l'unica possibile tematizzazione di questi strumenti. In particolare, l'interesse a riguardo e l'impiego da parte delle istituzioni è crescente. Emblematico il caso di Londra, dove è stata sviluppata una mappa energetica a supporto delle scelte di investimento in tecnologie di distribuzione energetica decentralizzate, in particolare nel teleriscaldamento. La *London Heat Map* è uno strumento accessibile online (<https://www.london.gov.uk/what-we-do/environment/energy/london-heat-map>) che fornisce una stima dei consumi energetici e delle emissioni di anidride carbonica dovute al riscaldamento. È accessibile al pubblico, viene aggiornata regolarmente ed ha un elevato grado di interattività, consentendo agli utenti di caricare e condividere i dati energetici.

Il *Canadian Urban Institute* nel 2008 ha sviluppato uno studio sulla mappatura energetica della città canadese di Calgary (*Energy Mapping Study*) nell'ambito del progetto *ImagineCalgary*⁵ focalizzato, tra le altre priorità, alla riduzione delle emissioni in atmosfera. Lo studio di mappatura energetica è stato applicato al settore residenziale della città al fine di costruire degli scenari che

⁵ Canadian Urban Institute (2008). Energy mapping study. Submitted to City of Calgary in December 19, 2008. www.canurb.com

informassero correttamente sulle potenzialità e i metodi per ridurre le emissioni di gas climalteranti e incoraggiassero l'uso di fonti energetiche alternative. La città di Calgary ha imposto l'obiettivo di riduzione del 50% di emissioni di gas effetto serra entro il 2050 rispetto al 2005, target che necessita di un intervento immediato per essere raggiunto. Lo studio ha considerato un obiettivo di riduzione proporzionale al 2036, rispetto al quale sono stati sviluppati tre scenari che permettono la valutazione degli aspetti energetici degli edifici, tenendo conto dei trend e delle proiezioni di sviluppo. Le mappe utilizzano un sistema di misurazione basato sull'unità GJ/ha, rappresentando dunque il valore stimato di energia complessiva (riscaldamento, raffrescamento, elettricità e di acqua calda) consumata annualmente per ettaro al 2036. Il primo scenario analizzato, *Business as usual (BAU)*, mostra un incremento di emissioni dovuto alla totale assenza di interventi; il secondo scenario rappresenta l'applicazione del modello aggiornato canadese di standard e rating per gli edifici (MNECB). L'*Ultra High Efficiency* scenario, prevede che vi sia un miglioramento del 50% rispetto al modello MNECB per le nuove costruzioni e del 25% per il retrofitting degli edifici esistenti. I tre scenari sono stati mappati per illustrare la distribuzione degli usi energetici nella città. Ogni mappa mostra anche le fonti energetiche disponibili, in particolare la terza mappa delinea la possibile localizzazione delle risorse energetiche alternative (biomassa, energia solare, teleriscaldamento). In questo caso la mappatura oltre a fornire una visione degli impatti degli interventi di buona progettazione e di efficientamento degli edifici esistenti, include la potenzialità di sviluppo, consentendo di individuare le fonti energetiche più idonee. Sempre in riferimento alla città di Calgary, è stato sviluppato dall'Università di Calgary il progetto HEAT (Heat Energy Assessment Technologies) relativo all'efficienza energetica urbana. Il progetto consiste in un servizio GEOWEB gratuito e aperto agli utenti progettato per aiutare i residenti a migliorare l'efficienza energetica delle proprie abitazioni. Il *tool* è progettato alla scala del singolo edificio o di quartiere. È stato integrato a GOOGLMAP e permette di visualizzare, cliccando su ciascun edificio, una scheda che ne riporta l'ammontare e la localizzazione delle perdite di calore

grazie all'ausilio di termocamere. La scheda mostra anche un punteggio, denominato *HEAT SCORE*, che permette un confronto con gli altri edifici della zona, e dei suggerimenti relativi a opzioni di intervento per il miglioramento energetico mostrando i potenziali risultati che potrebbero essere raggiunti in termini di risparmio economico e riduzione delle emissioni.

Infine, il caso di Faenza, meglio descritto nella Parte V del presente contributo, è emblematico nell'aver dimostrato la capacità di integrare gli strumenti descritti (in particolare il modello sviluppato da Dall'O et al.) agli strumenti urbanistici tradizionali.

I modelli sin qui esposti, pur nelle loro diversità metodologiche, territoriali, e di intenti, mostrano degli elementi comuni. La prima considerazione riguarda l'utilizzo quasi obbligato dei sistemi informativi geografici. L'ausilio di tali sistemi ricorre nella fase di costruzione dei modelli, nella gestione ed elaborazione dei dati, ma anche nella condivisione dei risultati, nel caso di costruzione di WEBGIS consultabili online. L'applicazione del GIS consente la creazione di un database (sistema informativo) associato alla georeferenziazione dell'oggetto geometrico rappresentativo dell'entità fisica sul territorio (sistema geografico), e costituisce un valido supporto per l'analisi e la gestione di grandi insiemi di dati, in particolar modo per la pianificazione territoriale con riferimento alla gestione delle questioni energetiche (Fistola, 2009). Le mappe ottenute mediante l'uso di sistemi informativi territoriali costituiscono, pertanto, un valido strumento per integrare varie tipologie di dati (fisici, climatici, censuari, geometrici...). I sistemi informativi geografici si configurano, dunque, come un supporto indispensabile per la definizione di studi multidisciplinari in cui le diverse conoscenze, che sono rappresentate dai dati, vengono incrociate e combinate e per la verifica dello sviluppo di specifici fenomeni territoriali (Fistola, 2005).

La seconda considerazione si riferisce proprio al set di dati utilizzato, che costituisce un elemento basilare per la previsione delle prestazioni energetiche delle aree urbane e caratterizza, pur con estrema varietà di tipologia, grado di dettaglio, ed esigenza di elaborazione, trasversalmente tutti i modelli. Come

affermato, la possibilità di disporre di dati affidabili, può essere determinante nella scelta di utilizzo di un modello rispetto ad un altro. Un maggior numero di dati viene frequentemente associato ad una maggiore complessità di modellazione ma anche a maggiore precisione e sensibilità dei risultati. Tuttavia, il ricorso ad alcune tipologie di dati sembra essere imprescindibile, ai fini della modellazione energetica del settore edilizio: l'epoca di costruzione e la destinazione d'uso degli edifici. La prima tipologia informativa può essere rappresentativa delle caratteristiche dell'involucro dell'oggetto edilizio, il quale ha una incidenza determinante nel profilare il fabbisogno energetico per riscaldamento dell'edificio. La seconda, rappresenta i profili energetici dei comportamenti degli utenti che consumano energia all'interno dell'edificio. La destinazione d'uso degli edifici, insieme alla relativa localizzazione sul territorio, costituisce un dato fondamentale anche nella modellazione energetica del settore dei trasporti, quale determinante del tipo e della frequenza di spostamenti sul territorio. Risulta, dunque, essenziale tenere conto di queste considerazioni nella formulazione di modelli finalizzati alla stima della prestazione energetica delle aree urbane, qualunque sia la tecnica adottata e la scala di applicazione.

3.3 Costruzione di uno strumento per l'analisi e la valutazione dei consumi urbani alla scala di quartiere

Il modello proposto si configura come uno strumento di pianificazione territoriale che consente di ottenere un quadro conoscitivo della performance energetica urbana e di incrementarne l'efficienza indirizzando le trasformazioni del territorio in una prospettiva di riduzione del rischio dei cambiamenti climatici. Tale strumento risponde all'esigenza dichiarata di costruire nuove forme metodologiche che consentano di aggiornare le pratiche rispondenti al paradigma evoluto della disciplina.

L'obiettivo generale, delineato nella predisposizione di uno strumento analitico-valutativo mirato all'efficienza energetica e alla sostenibilità in ambito urbano, può declinarsi in una componente analitica, attraverso cui ottenere un quadro conoscitivo complessivo dei consumi energetici globali alla scala urbana, ed una componente valutativo-progettuale, che consente la definizione di idonee strategie e misure per la gestione delle trasformazioni del territorio in una prospettiva *low-carbon*. Le due componenti sono strettamente dipendenti nel quadro di un processo di conoscenza continuo, all'interno del quale la valutazione e la selezione degli indirizzi di trasformazione non possano prescindere dalla conoscenza. È evidente come la fase valutativo-progettuale abbia, dunque, come presupposto la costruzione di una componente analitica, i cui risultati ne costituiscano la base attraverso cui selezionare e valutare interventi di pianificazione e progettazione urbana. Le due componenti dello strumento individuate coincidono con una fase di conoscenza e una fase di valutazione del processo metodologico che si inserisce nel quadro di un approccio "scientifico" alla disciplina urbanistica che risiede nell'interpretazione del nesso tra conoscenza-decisione-azione. Richiamando il concetto di pianificazione di Faludi (1973) secondo cui "la pianificazione è l'applicazione del metodo scientifico alla decisione politica", si mettono in rilievo la proprietà di scientificità del metodo con cui si costruisce e attua la pianificazione (non necessariamente coincidente con la validità universale e la prevedibilità dei

risultati) e la finalità ultima della disciplina, che è quella di decidere e tradurre in forme fisiche le politiche (Carta, 1996).

Nella fase analitica si intende:

- Individuare i settori che determinano i consumi energetici urbani, i fattori che incidono sui flussi di energia e la loro relazione;
- Determinare i consumi energetici dei settori maggiormente incidenti (edifici, trasporti, illuminazione) e definire leggi matematiche e indicatori che possano descriverli;
- Stimare il consumo energetico complessivo urbano alla scala di quartiere;
- Rappresentare i risultati attraverso mappe e graficizzazioni per una lettura immediata del territorio in chiave energetica.

Nella fase valutativa-progettuale si intende:

- Identificare i driver che indirizzano i consumi energetici urbani ed i relativi parametri sui quali intervenire per conseguire impatti positivi sul territorio;
- Elaborare un ventaglio di opzioni sulla base dei risultati della fase analitica e valutarne la fattibilità e la potenzialità (combinata o singola) in termini energetici e in chiave urbana, attraverso il confronto di possibili visioni derivanti da analisi comparative.

La metodologia prevede, dunque, la predisposizione di un modello energetico integrato che permetta la ricognizione dei consumi energetici complessivi a livello urbano (nella prima fase) e permetta, nella seconda fase, la valutazione di opzioni e politiche urbane integrate con i temi energetici attraverso l'analisi e la lettura di diversi scenari. Nella predisposizione del modello energetico relativo alla fase analitica, la conoscenza dello stato di fatto (fase di analisi - *audit*) è uno *step* fondamentale, sia dal punto di vista urbano sia dal punto di vista energetico, per poter definire gli obiettivi da raggiungere e per configurare uno scenario di riferimento cui confrontare gli esiti delle azioni progettuali successive (seconda fase). La componente analitica, infatti, si prospetta, altresì, come strumento analitico autonomo e indipendente,

capace di arricchire l'ampio bagaglio conoscitivo alla base delle determinazioni urbanistiche, che ne risultano coerenti e consapevoli.

Dalla fase di valutazione, potrebbe emergere la necessità di una nuova rielaborazione delle misure previste alla base delle diverse visioni confrontate, sia per ottimizzare il risultato ottenuto, sia perché questo potrebbe non rispondere agli obiettivi prefissati. Questo processo di analisi e valutazione iterativo richiama la metodologia, alla base del ciclo di Deming, PLAN-DO-CHECK-ACT⁶ di miglioramento continuo, e sottolinea come non sia sufficiente condurre esclusivamente comparazioni dirette tra i consumi energetici *ex-ante* ed *ex-post* (INTENSE, 2009), ma sia indispensabile una valutazione dinamica delle misure selezionate su diversi gradi di approfondimento, e vari campi di azione.

Alle due componenti individuate che configurano lo strumento, può essere annesso un ulteriore elemento costitutivo, che esprime la capacità di tradurre quanto emerge dalle fasi individuate di conoscenza e di valutazione, e dunque dalle mappe e dagli scenari, in *tool* agevoli di facile comprensione e utilizzo, che consentono di favorire la condivisione e la divulgazione dei risultati, di facilitare le operazioni formative e informative e di automatizzare, velocizzare e semplificare i processi configurati nelle fasi precedenti. Si tratta di strumenti di varia tipologia (matrici, grafici, webgis...), che permettono una lettura immediata dei risultati e delle alternative, facilitando il processo decisionale e il coinvolgimento degli *stakeholders*. Utilizzando una metafora e attingendo dal campo informatico, questa terza componente del modello potrebbe configurarsi come un *plug-in* dei *software* informatici, un modulo aggiuntivo non autonomo utilizzato per estenderne le funzioni originarie. Pur non essendo dotata di autonomia, tale componente si colloca in una posizione gerarchicamente esterna rispetto alle altre due, in quanto ne correda e arricchisce formulazioni ed espressioni in maniera paritaria. Le figure 20 e 21

⁶ Il ciclo PDCA, introdotto da Deming negli anni '50, è un approccio metodologico applicabile a tutti i livelli di organizzazione per garantire qualità. È costituito da quattro fasi che possono essere iterate: Plan - stabilire le politiche, gli obiettivi ed i metodi - Do - attuare e mettere in pratica le possibili soluzioni, attuando i progetti pilota - Check - si misura e controlla l'efficacia delle misure e si decide se ripetere questa fase e la precedente - ACT - si agisce di conseguenza e si implementano le azioni definitivamente.

mostrano il *concept* della struttura dello strumento e il processo per il relativo utilizzo.

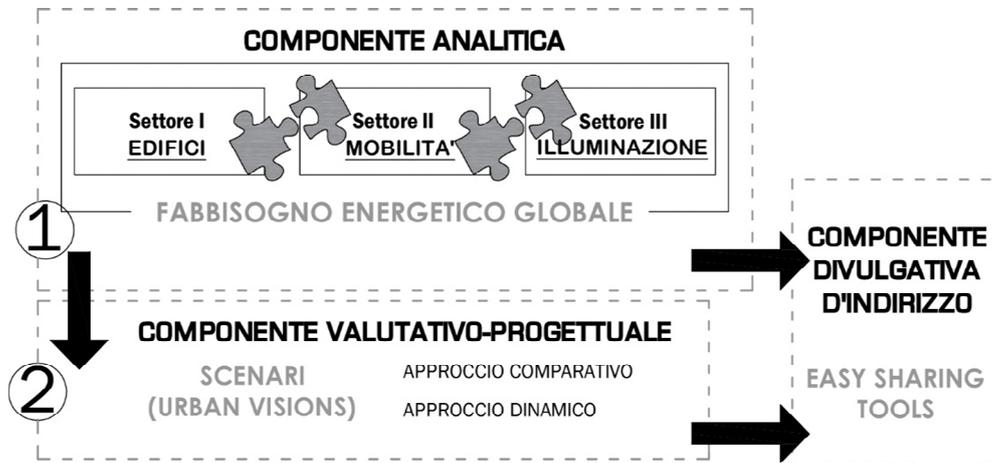


Figura 20: Concept della struttura dello strumento

La scala di analisi e di applicazione del modello è paragonabile a quella che nel contesto della meteorologia viene definita *mesoscala*, come livello intermedio tra la *macroscala*, che in chiave urbanistica corrisponderebbe alle variabili generali geografiche, economiche e sociali, e la *microscala*, che invece corrisponderebbe alle specifiche caratteristiche degli edifici (Zuppiroli et al., 2012).

In tal senso, il quartiere viene inteso come sistema energetico, rappresentando il livello ideale (in termini analitici e di valutazione) per potere identificare la variabilità e la diversità che attengono, non soltanto alle prestazioni energetiche, ma anche alle caratteristiche socio-economiche e fisico-territoriali all'interno delle aree urbane. Infatti il quartiere viene considerato, in una prospettiva urbanistica, come il "livello ambientale, sociale ed economico più vicino ai cittadini in cui si può avere una valutazione significativa della sostenibilità" (Komely & Srinivasan, 2015, pagina 33). Allo stesso tempo, la dimensione del quartiere consente di superare l'approccio limitato del singolo edificio, cogliendo le relazioni tra le componenti che costituiscono i sistemi urbani, i quali dimostrano una complessità che va al di là della semplice somma dei fattori che li compongono. Se pianificare è innanzitutto puntare sulla conoscenza; indagare sul territorio, inteso come

sistema complesso, equivale a ridurre i suoi elementi, attuando una 'discretizzazione' delle variabili, capace di non perdere le relazioni intrinseche e configuranti del sistema (Carta, 1996)⁷.

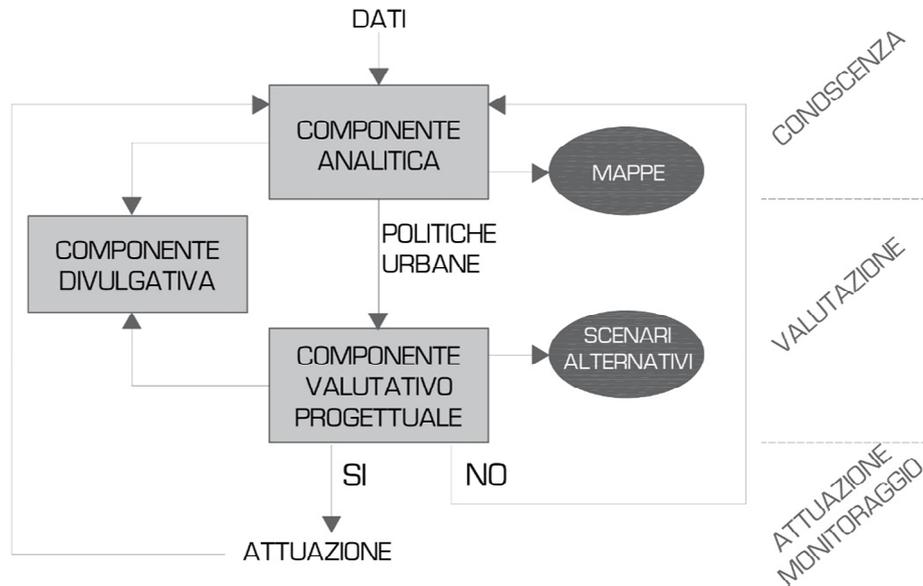


Figura 21: Concept di sintesi della procedura di uso dello strumento

L'approccio olistico nella predisposizione del modello di calcolo dei consumi energetici del sistema urbano, obbliga, dunque, a una conoscenza selettiva delle componenti del sistema e delle relazioni che vi intercorrono. Quanto detto, si concretizza nell'assetto dello strumento, che prevede la valutazione dei settori degli edifici, della mobilità e dell'illuminazione pubblica, in linea con quanto delineato dalla revisione della letteratura da cui emerge come la relazione tra trasporti e territorio sia determinante nella configurazione

⁷La sfida della complessità va intesa quindi come una necessità di elaborare nuovi modi di rappresentazione ed azione, di modificare il rapporto tra l'uomo e il mondo in cui vive, nella consapevolezza di dover rispettare la reale complessità dei fenomeni studiati e di dover affrontare l'impossibilità di prevedere nel dettaglio gli effetti delle nostre azioni e dei nostri interventi tecnologici, urbanistici ed economici sull'ambiente. In questa ottica epistemologica, il territorio non può che essere considerato come espressione e risultato della complessità dei sistemi ambientali e dell'attività dell'uomo, valutato sia nel suo processo storico, sia nelle configurazioni attuali [...]. Assumendo il territorio come sistema complesso è importante sottolineare l'esistenza di una sorta di 'principio metodologico di indeterminazione' nella conoscenza, una difficoltà intrinseca di determinare una forma della complessità che si manifesta piuttosto sotto una molteplicità di forme, così che si dovrebbe parlare 'delle complessità'; questa indeterminatezza si traduce in una impossibilità di arrivare alla completezza della conoscenza di un sistema complesso⁴. Una rappresentazione completa di un sistema complesso si tradurrebbe infatti in un nuovo sistema complesso, che necessiterebbe a sua volta di una riduzione a sistema intelligibile, riducendone le informazioni. Una conoscenza completa della complessità territoriale comporterebbe le stesse difficoltà (pratiche e di senso) di una rappresentazione cartografica in scala 1 a 1, la quale non darebbe informazioni diverse da quelle che potrebbe fornire il territorio reale (Carta, 1996 pp.57).

consumi energetici e nel potenziale indirizzo di azioni di efficienza energetica alla scala edilizia e urbana. L'illuminazione pubblica, seppur in maniera inferiore rispetto agli altri settori, costituisce una dimensione capace di influenzare ed avere ripercussioni sulla sostenibilità energetica e ambientale locale (ALTERENERGY, 2015). Se, infatti, tradizionalmente le città erano concepite e progettate per una vita diurna trascurando la dimensione notturna degli spazi urbani (Amin & Thrift, 2005), le condizioni contemporanee sono caratterizzate, invece, da un'espansione delle attività antropiche dopo il tramonto, rendendo necessario un approfondimento degli usi e degli spazi urbani notturni. Non correttamente gestita, l'illuminazione incide sulla bassa qualità degli spazi urbani e rappresenta un costo elevato per le autorità municipali. L'inclusione di tale settore nel modello è giustificata, dunque, dall'essere una fonte di consumi a livello urbano, spesso trascurata, e dal potenziale offerto per incrementare l'attrattività, la qualità e la sicurezza delle aree urbane.

In conclusione, oltre ad una strutturazione di tipo verticale, evidente nelle componenti analitica e valutativa individuate, lo strumento consente una lettura di tipo orizzontale, derivante dalla relativa articolazione nei tre settori illustrati, permettendo analisi e valutazioni sia di tipo settoriale sia multidisciplinari, e dimostrando di essere un *tool* flessibile e idoneo a rispondere alla mutevolezza delle condizioni contemporanee influenti sulla disciplina. Tale caratteristica, inoltre, mira a fornire un quadro di completezza sia in una prospettiva metodologica (direzione verticale) sia contenutistica (direzione orizzontale).

3.4 La componente analitica

La componente analitica è costituita da un modello energetico integrato per la stima della prestazione energetica urbana di stato di fatto alla scala di quartiere. Il modello è suddiviso in due *step* consecutivi, il cui esito è la configurazione di mappature energetiche di quartiere, redatte mediante l'elaborazione di database geografici su sistemi informativi territoriali gestiti dal software ARCGIS e di procedure di calcolo su fogli di lavoro gestiti dal software Microsoft Office Excel. Le mappe energetiche possono avere una forma complessiva alla scala di quartiere o disaggregata, descrivendo i consumi dei vari settori all'interno del quartiere. Oltre alle mappe, l'utilizzo dei sistemi informativi territoriali consente lo sviluppo di un database geografico-informativo contenente i parametri e le variabili necessari alla strutturazione della fase analitica stessa e allo sviluppo di quella valutativo-progettuale.

Il primo *step* prevede il computo del consumo energetico per ciascuno dei tre settori evidenziati: edifici, in termini di energia termica ed energia elettrica, trasporti e illuminazione pubblica. Per ciascuno di questi settori, sono state costruite appropriate leggi matematiche allo scopo di mettere in relazione i parametri maggiormente influenti sui consumi, e un set di indicatori che ne rendono immediata l'interpretazione e il confronto. Il secondo *step* prevede l'aggregazione dei dati ottenuti nella fase precedente, restituendoli in TEP, per stimare il consumo energetico globale delle diverse aree urbane, determinandone un valore complessivo. La fase analitica nel suo complesso oltre a costituire un *tool* informativo completo di un'area urbana, genera quello che può essere considerato uno SCENARIO ZERO di stato di fatto con cui confrontare le previsioni alla fase di valutazione. La metodologia messa a punto in questa fase consente, inoltre, di superare il problema della disponibilità di dati essendo stato utilizzato un approccio misto, che richiede un set di dati seppur molto vasto e completo, che può essere costruito a partire da poche informazioni facilmente reperibili e misurabili. Da tali informazioni, attraverso processi analitici strutturati fase per fase e settore per settore, è possibile ricavare i consumi energetici. I dati richiesti differiscono tra i settori analizzati,

e ne costituiscono una peculiarità. Tuttavia, tutti i settori sono accomunati dall'eterogeneità dei dati: geometrici relativi a caratteristiche fisiche del territorio, statistici, relativi alla popolazione, climatici relativi alle specifiche geoclimatiche dell'area esaminata. L'insieme di tali dati deriva da una serie di analisi condotte alla scala urbana e alla scala di dettaglio, come schematizzato nella figura seguente, che sintetizza il processo di analisi alla base del modello (figura 22).

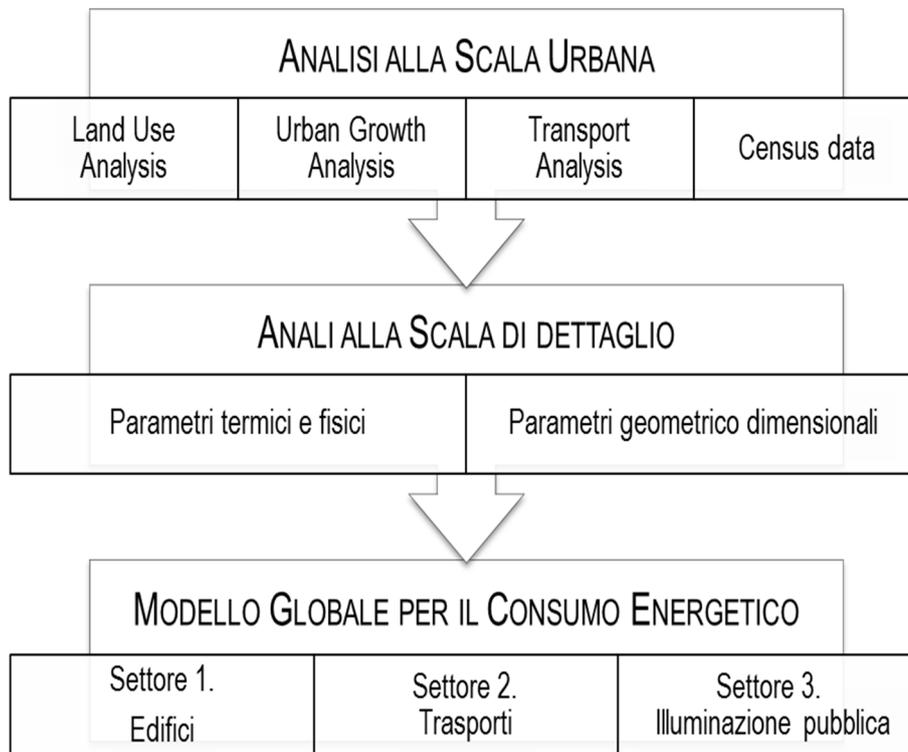


Figura 22: Processo di sintesi delle analisi necessarie alla configurazione del modello

Attraverso le analisi alla scala urbana, viene costruito un complesso di dati che caratterizza il territorio in esame sugli usi del suolo, sulla crescita urbana, sulle infrastrutture di trasporto e sulle statistiche demografiche. Le analisi a scala più di dettaglio permettono di ottenere dati di tipo geometrico-dimensionale e parametri termo-fisici. In particolare le analisi urbanistiche hanno principalmente riguardato gli studi dell'uso del suolo per raccogliere le informazioni sulla destinazione d'uso degli edifici, la crescita urbana, per ottenere la distribuzione spaziale dell'età del patrimonio edilizio, le analisi sui sistemi di trasporto, per comprendere i flussi di traffico e gli spostamenti e

infine i dati censuari relativi alla distribuzione della popolazione, per comprendere l'utenza residente nelle diverse aree. Le analisi degli edifici riguardano in particolare l'apparecchiatura tecnico-costruttiva degli edifici e le caratteristiche geometriche. I dati raccolti attraverso lo sviluppo delle analisi vengono inseriti ed elaborati nel modello energetico per le aree urbane. La disciplina urbanistica cui lo strumento è indirizzato, richiede un grado di precisione idoneo alla scala di analisi e valutazione selezionata. In tal senso, in considerazione del fatto che la complessità di utilizzo dei modelli cresce in parallelo con la laboriosità e macchinosità delle procedure che li compongono, nella costruzione del presente modello si è teso alla semplicità e linearità di queste ultime. Inoltre, ai fini di maggiore agevolezza e velocità di utilizzo del modello, sono state operate diverse semplificazioni della realtà, pur mantenendo l'accuratezza dei risultati necessaria alla scala urbana.

Il modello è organizzato in tre sub-modelli, con metodologie di calcolo diverse e specifiche corrispondenti ai tre settori individuati, dalla cui integrazione viene elaborato il dato complessivo dei consumi energetici del quartiere. Condizione indispensabile per la corretta applicazione del modello, ai fini di un confronto in prospettiva energetica tra i settori analizzati e dell'integrazione tra questi, è l'invariabilità dell'area selezionata. Le procedure attinenti alle diverse fasi e ai diversi settori devono, dunque, essere operate su aree in cui siano mantenuti costanti i confini geografici. Vale a dire che la suddivisione della città in zone/quartieri, su cui viene applicato il modello deve essere la stessa per ciascun settore. Il modello può essere applicato (nella sua interezza o disaggregato) su ciascuna zona in cui è suddivisa la città, purché sia assicurata la coerenza spaziale tra i sub modelli durante l'applicazione su una singola zona. La figura 23 mostra il *concept* metodologico della fase analitica, approfondita di seguito, riportando per ogni settore gli indicatori sviluppati e i riferimenti bibliografici che sono stati usati per costruirli.

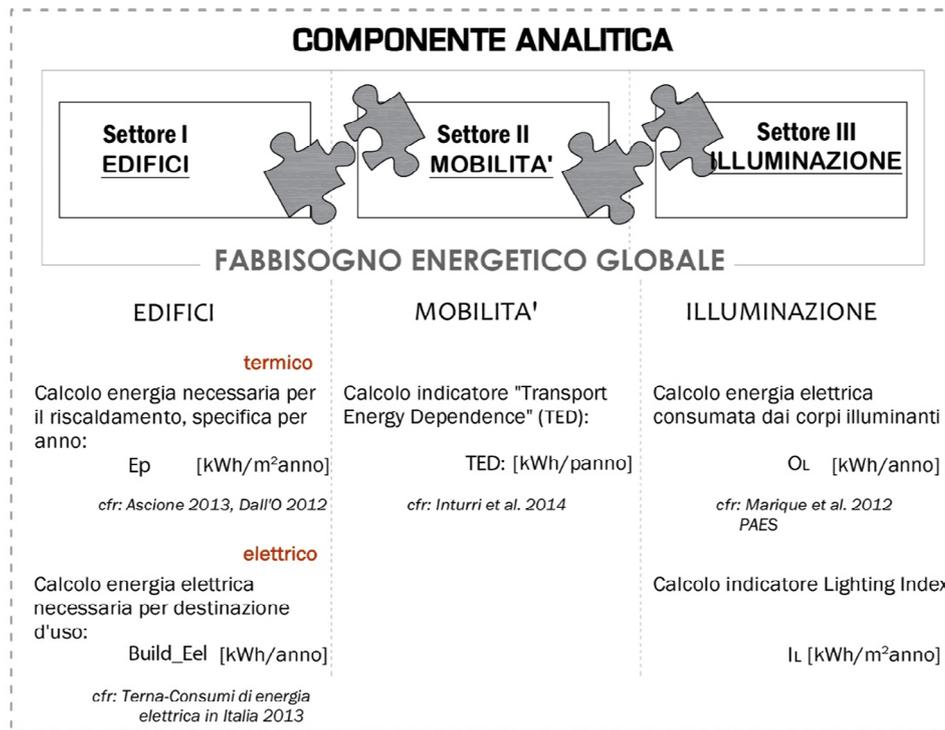


Figura 23: Approfondimento metodologico della fase analitica

3.4.1 Step 1 – Analisi della performance energetica specifica dei tre settori

i. Settore I. Edifici – Energia termica ed Energia elettrica

Il settore edilizio è responsabile di oltre il 60% dei consumi energetici urbani per rispondere, in particolare, al fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e di energia elettrica per il raffrescamento e l'utilizzo degli elettrodomestici. Lo studio della domanda di energia termica e di energia elettrica è condotto separatamente, consentendo agevolmente l'eventuale integrazione dei contributi (Figura 24). La volontà di mantenere i risultati dello studio dei fabbisogni di energia termica ed elettrica in entrambe le forme (disaggregata e aggregata) ricalca quanto avviene per i tre settori e deriva dalla scelta di costruire uno strumento flessibile nell'applicazione.

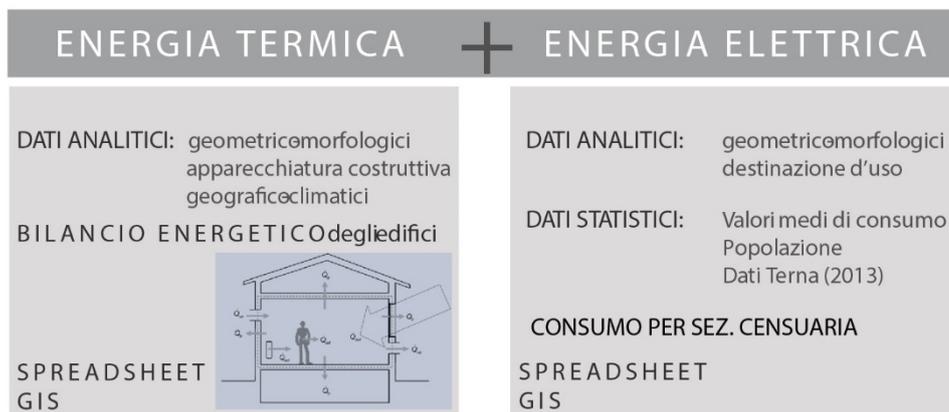


Figura 24: Schema di sintesi delle procedure e dei dati utilizzati per il settore edifici

Energia Termica

Il fabbisogno degli edifici per il riscaldamento viene rappresentato attraverso l'Indice di Prestazione Energetica (Epi), indicatore che include l'influenza delle caratteristiche termofisiche del sistema e permette di comparare facilmente il comportamento energetico degli edifici. Il modello sviluppato prende le mosse dagli studi condotti da Ascione et al. per la città di Benevento (Ascione et al. 2013) e Dall'O et al. (2012) per la città di Carugate. La procedura utilizzata si basa su quella prevista dalla norma UNI-TS 11300 e in particolare sull'Allegato 2 delle Linee guida Nazionali per la Certificazione Energetica (D.M. 2009). La

metodologia permette una stima quantitativa del fabbisogno energetico degli edifici (a livello del singolo edificio), anche quando la disponibilità di dati statistici non può essere assicurata. Sugli edifici vengono apportate semplificazioni di tipo geometrico, costruttivo ed energetico, in considerazione della finalità ultima del modello che consiste in una valutazione energetica alla scala del quartiere, che difatti non viene compromessa.

Nel dettaglio, il procedimento prevede il calcolo del fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento sviluppando un bilancio energetico in regime stazionario, considerando l'edificio come volume unico con una sola zona climatizzata, applicando il concetto generale per un *Asset rating* dell'edificio che garantisce caratteristiche di riproducibilità e standardizzazione di calcolo. Il valore del fabbisogno ideale di energia termica invernale dell'edificio è dato dalla somma delle quantità di calore disperso attraverso l'involucro, dalla quale si sottrae la quota sfruttabile degli apporti termici gratuiti che lo interessano. L'equazione che esprime tale bilancio è la seguente (Eq. 2):

$$Q_{(H,ND)} = (Q_{(H,TR)} + Q_{(H,VE)}) - \eta_{(H,g)} \cdot (Q_{SOL} + Q_{END})$$

Eq. 2: Bilancio energetico

Dove:

- $Q_{H,ND}$ rappresenta il fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento, cioè la quantità di calore che l'impianto deve fornire affinché possa essere mantenuta la temperatura di progetto all'interno della zona riscaldata;
- $Q_{H,TR}$ rappresenta le perdite di calore per trasmissione;
- $Q_{H,VE}$ indica le perdite di calore per ventilazione;
- Q_{SOL} rappresenta i guadagni termici solari;
- Q_{END} indica il guadagno termico dovuto agli apporti gratuiti interni;
- $\eta_{H,g}$ è il fattore di utilizzazione.

Il bilancio termico assume secondo la procedura semplificata delle linee guida (D.M. 2009) la seguente forma:

$$Q_{(H,ND)} = 0,024 \cdot GG \cdot (H_{TR} + H_{VE}) - \eta_{(H,GN)} \cdot (Q_{SOL} + Q_{END})$$

Eq. 3: Bilancio energetico ai sensi del D.M. 2009

Dove:

- GG** sono i gradi giorno della città [K·gg];
- H_{Tr}** è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione [W/K];
- H_{VE}** è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [W/K];
- η_{HG}** è il fattore di utilizzazione.
- Q_{SOL}** rappresenta i guadagni termici solari;
- Q_{END}** indica il guadagno termico dovuto agli apporti gratuiti interni.

L'allegato 2 delle Linee Guida fornisce le procedure per il calcolo di ciascun termine delle precedenti equazioni. Vengono riportate di seguito le formulazioni matematiche utilizzate.

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione rappresenta il flusso di calore scambiato per trasmissione attraverso l'involucro dell'edificio per unità di grado e viene calcolato secondo la seguente formulazione:

$$H_{tr} = \sum S_i \cdot U_i \cdot b_i \text{ [W/K]}$$

Eq. 4: Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione

Dove:

- S_i** sono le superfici disperdenti degli edifici,
- U_i** le trasmittanze delle relative superfici
- b_i** è un coefficiente di correzione che varia al variare della differenza di temperatura tra due ambienti contigui.

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione rappresenta il flusso di calore scambiato per infiltrazione o ventilazione di aria per unità di grado e viene calcolato secondo la seguente formulazione:

$$H_{VE} = ACH \cdot V_N \cdot \rho_a c_a \text{ [W/K]}$$

Eq. 5: Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione

Dove:

- ACH** sono i ricambi di aria orari,
- V_N** è il volume netto dell'edificio
- ρ_ac_a** è la densità dell'aria moltiplicata per il calore specifico a pressione costante.

I guadagni solari sono calcolati moltiplicando i valori di irradianza calcolati per il periodo di riscaldamento per ciascuna esposizione per la dimensione delle superfici vetrate:

$$Q_{\text{sol}} = 0,2 \sum I \cdot S_f \quad [\text{kWh}]$$

Eq. 6: Guadagni solari

Dove:

I rappresenta l'irradianza e
S_f la superficie finestrata.

I guadagni endogeni consistono nel calore generato nello spazio riscaldato da fonti interne diverse da quelle utilizzate intenzionalmente per il riscaldamento dell'ambiente, il raffrescamento o la produzione di acqua sanitaria. Gli apporti interni sono calcolati moltiplicando i valori medi per unità superficiale di guadagno termico per la superficie e per le ore della stagione di riscaldamento:

$$Q_{\text{END}} = (\theta_{\text{end}} \cdot A_{\text{pav}} \cdot h) / 1000 \quad [\text{kWh}]$$

Eq. 7: Guadagni endogeni

Dove:

θ_{end} rappresenta i valori medi di guadagno endogeno
A_{pav} la superficie utile netta dell'edificio
h il numero di ore di accensione del riscaldamento.

La procedura prevede infine il calcolo dell'indice di prestazione energetica E_p dall'equazione 8. Tale indicatore rappresenta l'energia primaria richiesta per il riscaldamento e consente di normalizzare i risultati e svolgere opportuni confronti tra le performance energetiche degli edifici. La formulazione dell'indice di prestazione energetica è la seguente:

$$E_{p_i} = \frac{Q_{(H,ND)}}{(A_{\text{pav}} \cdot \eta)} \quad \left[\text{kWh/m}^2\text{y} \right]$$

Eq. 8: Indice di prestazione energetica

Dove:

$Q_{(H,ND)}$ deriva dalla precedente equazione

A_{pav} è la superficie utile riscaldata

η è il rendimento globale che tiene conto delle caratteristiche dell'impianto.

I parametri di INPUT necessari al calcolo dei termini delle equazioni che costituiscono la procedura del sub-modello per il settore edilizio sono riportati nella tabella 2, organizzati per tipologia.

dati climatici:	
temperature esterne (T_e)	durata della stagione di riscaldamento
irradianze (I)	gradi giorno (GG)
dati geometrici dell'edificio:	
volume lordo V	superficie utile calpestabile S_u
volume netto V_n	superficie disperdente dell'involucro S
dimensioni degli elementi disperdenti:	
aree per le superfici (A)	
lunghezze per i ponti termici (l)	
caratteristiche e proprietà degli elementi disperdenti:	
trasmittanze (U)	emissività (ϵ)
trasmittanza solare (g)	Orientamento

Tabella 2: Dati di Input del modello

Dai risultati della procedura sviluppata è possibile formulare delle leggi di correlazione lineare tra il fattore di forma S/V , che esprime la compattezza dell'edificio e dunque le sue caratteristiche geometriche, e l'indice di prestazione energetica ottenuto, che ne esprime le caratteristiche termofisiche, per classi di età. Questa operazione è stata precedentemente portata avanti da Dall'O et al. per il caso studio di Carugate (Figura 25). Le curve di correlazione vengono costruite mettendo insieme un ampio numero di dati ottenuti dalle indagini e dalle procedure analitiche condotte. Le relazioni

ottenute dalle leggi lineari, rappresentate in grafici, possono essere utilizzate per prevedere il comportamento energetico di stock edilizi e quartieri urbani che presentino proprietà fisiche e geografiche comparabili, riducendo notevolmente le tempistiche di indagine e valutazione, che risultano essere spesso estremamente complesse e lunghe (Caputo et al., 2013). La correlazione lineare ottenuta costituisce per una determinata area geografica, la connessione tra i parametri geometrici e fisici legati a quelli dell'età di costruzione degli edifici. Inoltre, le curve relazionando in maniera intrinseca i parametri che influenzano i consumi, possono essere utilizzate per la predisposizione di scenari relativi al solo settore edilizio, indirizzando le scelte relative agli edifici e alla loro prestazione energetica, e prevedendo gli esiti che potrebbero avere determinate azioni progettuali. In tal senso questa formulazione si inserisce all'interno della terza componente - quella divulgativa - dello strumento, dimostrandosi un *tool* operativo semplice, utile per sviluppare considerazioni veloci, ragionamenti induttivi e comparativi.

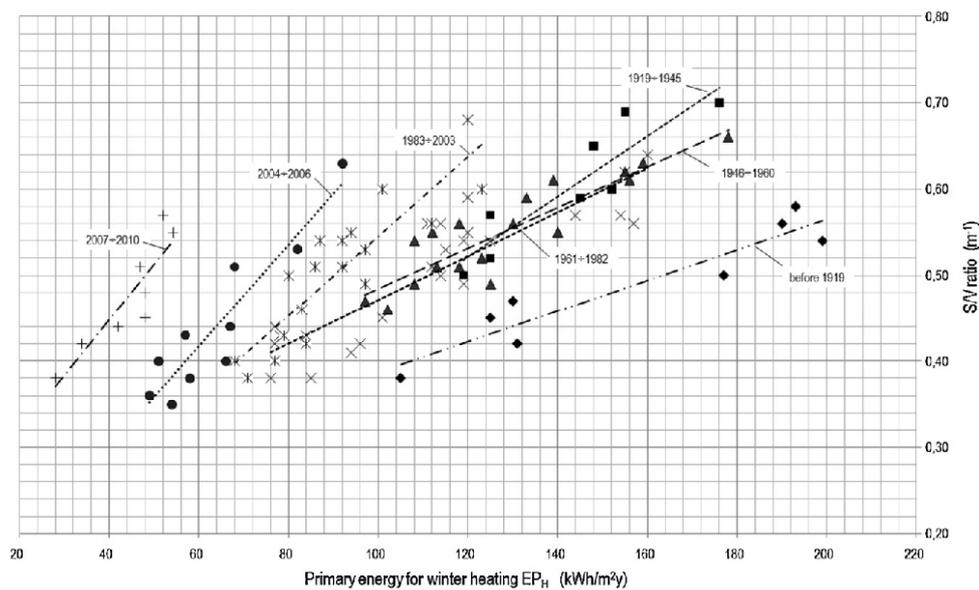


Figura 25: Leggi di regressione lineare che mettono in relazione i valori di E_p con S/V
Fonte: Dall'O et al. (2012)

Al fine di rendere snella la procedura di calcolo, consentendo l'applicabilità alla scala di quartiere, sono state operate delle semplificazioni della realtà riguardanti sia le caratteristiche geometriche e le proprietà fisiche degli edifici

sia la selezione stessa della procedura di calcolo, illustrate al paragrafo successivo. L'utilizzo delle semplificazioni comporta, indubbiamente, che alcune peculiarità dell'edificio vengano trascurate. Tuttavia non vengono generati errori tali da inficiare il dato complessivo finale di performance energetica alla scala urbana. L'affidabilità del metodo, inoltre, è stata studiata e verificata attraverso il confronto dei risultati ottenuti dal presente modello con quelli derivanti dall'utilizzo di software ufficiali per il calcolo del fabbisogno energetico e finalizzati alla certificazione. Il modello è stato applicato sia su edifici esistenti, di cui si avevano preventivamente a disposizione i dati relativi ad indice di prestazione energetica e a classe energetica, sia su edifici tipo per i quali è stato calcolato il fabbisogno energetico e l'indice di prestazione energetica, poi confrontati con i valori conseguiti mediante i software ufficiali per la certificazione (DOCET, Blumatica, Cened). I risultati hanno mostrato uno scostamento tra i valori di indice di prestazione energetica per il riscaldamento compreso tra il 2% ed il 5%. È stato condotto, inoltre, un confronto con i risultati di diagnosi energetiche degli edifici, conseguibili mediante l'utilizzo di software specifici (Termolog epix 7). In tal caso, il fabbisogno energetico per metro quadrato mostra uno scostamento compreso tra il 16% ed il 25%.

Semplificazioni ed approssimazioni

Nello sviluppo della procedura di calcolo sono state elaborate alcune semplificazioni e approssimazioni riguardanti sia la determinazione dei parametri da utilizzare, sia il relativo calcolo, per snellire le procedure e garantire una rapidità di esecuzione. Come precedentemente esposto, i dati necessari alla stima del consumo energetico per il riscaldamento afferiscono a due livelli di dettaglio: la scala edilizia e la scala urbana. Quest'ultima è necessaria per avere informazioni riguardo l'area in esame e comprenderne le caratteristiche generali. Le analisi urbanistiche per l'applicazione del sub-modello sono principalmente l'analisi di uso del suolo e l'analisi della crescita urbana, che può essere sviluppata attraverso l'esame cronologico delle cartografie. L'analisi di uso del suolo permette di categorizzare gli edifici

secondo le previsioni del D.P.R. n. 412/1993, art. 3. "Classificazione generale degli edifici per categorie" dall'E1-E8. Attraverso lo studio della crescita urbana, ogni edificio viene attribuito a una fascia temporale che ne rappresenta l'epoca di costruzione. Questa permette di ricavare informazioni sulle caratteristiche dell'edificio, sia per i materiali e le tecniche di costruzione utilizzate in un certo momento storico, sia in merito alle possibili condizioni in cui il manufatto verte allo stato di fatto. Attraverso lo sviluppo del dato relativo all'epoca cui risalgono gli edifici è possibile fare ipotesi sulle caratteristiche dell'involucro di ciascuno di essi e assegnare i valori di trasmittanza degli elementi costruttivi secondo le previsioni della norma UNI TS 11300 allegato A ed il database fornito dal progetto TABULA - *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment* (Corrado et al., 2012), nel quale attraverso un esame statistico degli edifici presenti sul territorio sono stati individuati gli edifici e le caratteristiche costruttive tipiche del patrimonio edilizio italiano. In questo modo è possibile mettere in correlazione le caratteristiche tecniche di ciascun edificio con il periodo di costruzione e l'area geografica. I dati riportati nei prospetti della norma sono utilizzabili per valutazioni energetiche di edifici esistenti, nel caso non si possa effettuare una determinazione rigorosa di calcolo. I valori tabellati generalmente sono sovrastimati rispetto alla realtà, per porsi ragionevolmente in una condizione a favore di sicurezza.

In particolare, attraverso il supporto del progetto TABULA e dell'Allegato A della norma UNI 11300, sono stati determinati i parametri di trasmittanza per le chiusure verticali opache e trasparenti, per le chiusure orizzontali di base e di copertura. Le informazioni sullo scheletro (struttura in muratura o intelaiata) sono reperibili da documenti tecnici o da sopralluoghi diretti. Questo dato, oltre a essere determinante per la selezione dei corretti valori dei parametri di trasmittanza, risulta necessario per la considerazione nella procedura di calcolo dei ponti termici. I ponti termici costituiscono una via preferenziale per la dispersione del calore per trasmissione, sono di tipo geometrico e di tipo strutturale. Negli edifici esistenti le analisi non permettono di riconoscere con esattezza la presenza nella costruzione e la conformazione geometrica di eventuali ponti termici strutturali. Non essendo

metodologicamente e numericamente corretto utilizzare gli stessi criteri relativi ai nuovi edifici, il ponte termico viene associato forfettariamente ad una struttura opaca e, per determinare la dispersione totale che avviene attraverso i due elementi in cui ha luogo il ponte termico, la perdita per dispersione viene incrementata di un valore medio. Anche in questo caso l'incremento è differenziato per gli edifici in muratura e in calcestruzzo armato, per i quali si associa un aumento del 20% per tenere in considerazione i solai, i pilastri e le travi.

I parametri geometrici degli edifici vengono ricavati dalle cartografie delle aree in esame e da sopralluoghi, rilievi tecnici aerofotogrammetrici e database comunali, qualora disponibili. I perimetri degli edifici vengono schematizzati, assumendo che la pianta reale dell'edificio venga approssimata alla forma geometrica regolare più semplice, in genere coincidente con un rettangolo o un quadrato. L'elevazione viene fatta dipendere dal numero dei livelli dell'edificio, entrambi derivanti da sopralluoghi o da rilievi tecnici aerofotogrammetrici, diminuendo le peculiarità volumetriche che possono emergere dalle coperture e dai basamenti. L'edificio viene dunque schematizzato ad un volume semplice. Inoltre, le linee guida prevedono la possibilità di applicare il metodo semplificato nel caso in cui la superficie utile dell'edificio sia inferiore a 1.000 metri quadrati. Nel caso in cui tale condizione limite non sia rispettata, ci si riconduce al caso accettabile da normativa. L'edificio viene, cioè, scomposto in più volumi che rispettino il limite di 1.000 metri quadrati per la superficie utile, imponendo la contiguità delle superfici verticali lungo le direttrici della scomposizione, affinché le pareti verticali risultino non disperdenti verso l'esterno.

Attraverso i dati fin qui descritti è possibile calcolare la superficie riscaldata totale e il volume riscaldato.

Anche la determinazione dell'orientamento degli edifici è oggetto di una semplificazione metodologica. Gli edifici, infatti, vengono considerati perfettamente orientati lungo un asse ai fini del calcolo del loro fabbisogno termico, pur essendo, questa, una condizione molto rara nella realtà.

Un'ulteriore semplificazione riguarda il calcolo del rendimento globale al denominatore dell'Indice di prestazione energetica. In questo caso si apporta

una semplificazione sul sistema impiantistico. Utilizzando i valori tabellati dagli abachi riportati nella norma UNI 11300 parte II, vengono scelti i valori medi da attribuire agli edifici tenendo in considerazione l'età del fabbricato.

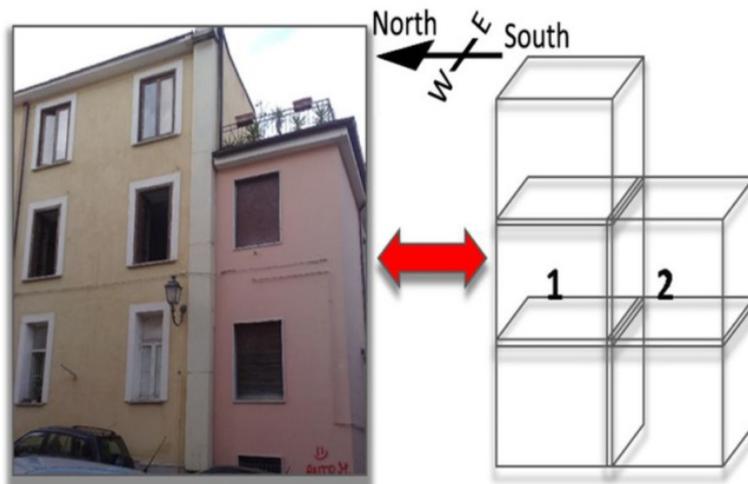
Infine, sono state adottate procedure semplificative di calcolo delle superfici opache disperdenti e trasparenti di ciascun edificio. Il computo delle superfici disperdenti opache viene condotto seguendo la metodologia proposta da Ascione et al. (2013) che prevede l'elaborazione del coefficiente di contiguità tra edifici confinanti. Dati due edifici adiacenti, il coefficiente di contiguità [Cc] esprime la frazione della superficie verticale per ciascun orientamento non confinante o contigua con un'altra, che risultando dunque libera, scambia calore con l'esterno. Attraverso il coefficiente di contiguità viene calcolata la superficie totale disperdente per ciascun edificio con la seguente formulazione (eq. 9 e fig 26):

$$S_D = (2 \cdot S_H) + \Sigma(Cc \cdot S_{VERT}) \text{ [m}^2\text{]}$$

Eq. 9: Formulazione della Superficie Disperdente di ciascun edificio

Dove:

- S_H** rappresenta la superficie delle chiusure orizzontali,
- S_{VERT}** è la superficie verticale dell'edificio per ogni orientamento,
- Cc** è il coefficiente di contiguità



*Figura 26: Rappresentazione del Coefficiente di Contiguità,
Fonte: Ascione et al. (2013)*

La superficie verticale è moltiplicata per il coefficiente di contiguità in modo da scorporare dal calcolo le porzioni della parete confinanti con altri edifici, per le quali lo scambio di flusso termico è approssimato a zero.

La procedura semplificata per il calcolo della superficie vetrata prevede l'imposizione di una condizione relativa alla percentuale di superficie vetrata rispetto al totale della superficie orizzontale. La condizione è variabile secondo il tipo di involucro.

Per gli edifici in cemento armato è stata estesa all'intero edificio la condizione prevista per ogni vano dal Decreto Ministeriale D.M. 5/7/1975 secondo il quale ogni vano abitabile deve avere una superficie finestrata pari ad almeno 1/8 della superficie in pianta.

$$S_{ftot} = 1/8 S_{UTot}$$

Eq. 10: Superficie finestrata totale di un edificio

Dove:

S_{ftot} rappresenta la superficie finestrata totale dell'edificio

S_{UTot} è la superficie utile lorda complessiva, somma delle superfici di ogni piano dell'edificio.

La superficie finestrata è stata successivamente distribuita proporzionalmente per ciascun orientamento attraverso una pesatura secondo le superfici effettivamente disperdenti (figura 27).

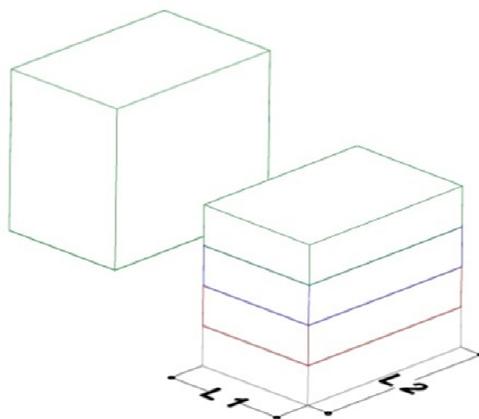


Figura 27: Schema per il calcolo semplificato delle superfici vetrate

La superficie vetrata per ogni orientamento si ottiene attraverso la seguente formulazione:

$$S_{f,i} = \frac{S_{d,i}}{S_{dtot}} S_{ftot}$$

Eq. 11: Superficie finestrata per ogni orientamento (i) dell'edificio

Dove:

$S_{f,i}$ rappresenta la superficie finestrata per ogni orientamento (i) dell'edificio

$S_{d,i}$ è la superficie disperdente per ogni orientamento (i) dell'edificio

S_{ftot} rappresenta la superficie finestrata totale dell'edificio

S_{dTot} è la superficie disperdente complessiva dell'edificio.

La procedura esposta è stata testata attraverso la sua applicazione su 45 edifici campione per i quali sono stati messi a confronto i valori ottenuti per il fabbisogno di energia termica calcolando la superficie vetrata sia con il metodo speditivo descritto sia con un metodo di computazione analitico specifico in cui la superficie finestrata è stata calcolata puntualmente.

I risultati del confronto hanno dimostrato che i valori ottenuti per $Q_{H,ND}$ per ciascuno degli edifici selezionati si discostano di circa il 10%. Vale a dire che il rapporto tra i valori di $Q_{H,ND}$ per il campione di edifici nei due casi è confinato in un intervallo compreso tra 0,9 e 1,1, fornendo uno scostamento che varia da -0,1 a 0,1 (Figure 28 e 29).

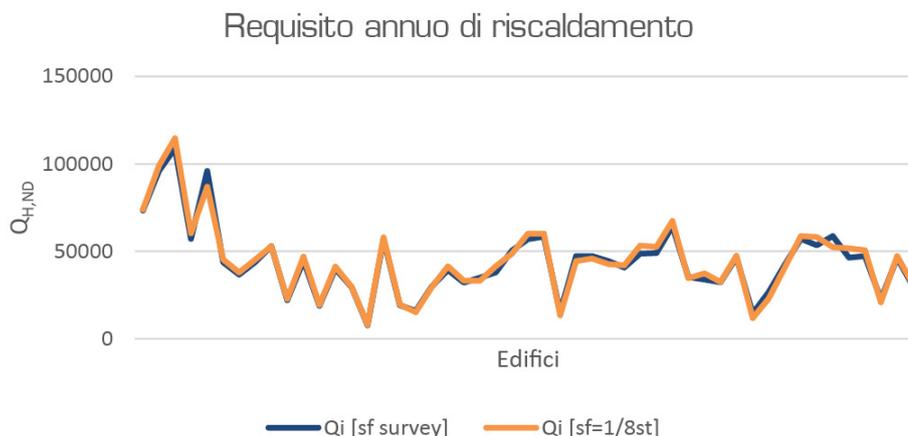


Figura 28: Valori di $Q_{H,ND}$ per gli edifici campione calcolato con la procedura semplificata e con la procedura analitica

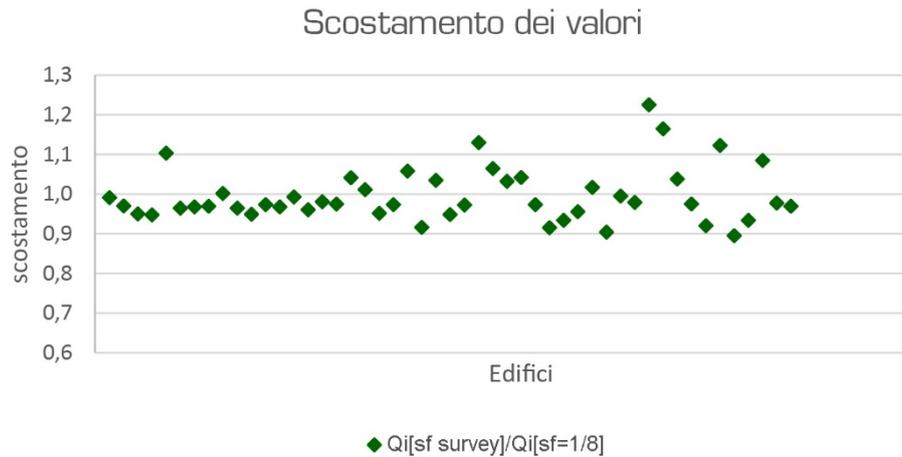


Figura 29: Scostamento tra i valori di $Q_{H,Nd}$ ottenuti dalle due procedure

Per gli edifici in muratura la procedura appena descritta non può essere applicata integralmente. Il D.M. del 1975 fa riferimento a edifici costruiti da questa data a seguire, e dunque ipotizzati con scheletri portanti in calcestruzzo armato. Per gli edifici più antichi e con diversa struttura portante È stata imposta una condizione alla superficie vetrata, leggermente inferiore al caso degli edifici che possiamo definire come moderni, ed è pari a 1/10 della superficie in pianta.

$$S_{ftot} = 1/10 S_{UTot}$$

Eq. 12: Superficie finestrata totale per un edificio in muratura

Tale condizione risulta specifica per il territorio catanese perché ottenuta dallo studio delle analisi dei tipi edilizi della città condotte dal Professore Giuseppe Dato e riportate nel testo "G. Dato (1983), La città di Catania. Forma e struttura, Officina Edizioni". Tuttavia tale valore è estendibile a porzioni di territorio diverse se supportato da dati storici.

La procedura sviluppata sul foglio di calcolo utilizzato è riportata nelle tabelle a seguire (paragrafo seguente).

Descrizione dell'applicazione della procedura sviluppata nel modello.

Si riportano di seguito le tabelle, la cui successione costituisce la struttura della procedura costruita ed eseguita sul foglio elettronico per la stima dell'indice di Prestazione energetica degli edifici ai sensi del D.M. 2009.

Le celle in grigio chiaro rappresentano quelle in cui i valori di input sono inseriti manualmente, le celle in bianco rappresentano quelle in cui il dato viene fornito dal programma attraverso routine di calcolo appositamente scritte.

Tabella 1.

indice	tipo edificio	altezza media piano (m)	U(parete) (W/m ² K)	U(base) (W/m ² K)	U(copertura) (W/m ² K)	perd. ponti termici incremento	epoca anno

Tabella 2.

edificio	Superf. orizzontale (Piano) [m ²]	Superf. verticale (piano) [m ²]	volume edificio V _e [m ³]	lato a (est-ovest) [m]	lato b (nord-sud) [m]	n° p.e. [n]	altezza tot edificio [m]	Anno di costruzione	uso del suolo
N									

Per ciascuno degli edifici vengono inserite le dimensioni in pianta e il numero di piani. La superficie orizzontale rappresenta la superficie della pianta dell'edificio ottenuta dal prodotto dei lati (a e b). La superficie verticale e il volume vengono calcolati conoscendo l'altezza piano (riferimento tab. 3).

Tabella 3.

edificio	tipo edificio	Altezza piano [m]	U (parete) (W/m ² K)	U (base) (W/m ² K)	U (copertura) (W/m ² K)	Ponti termici incremento	Superficie Disperdente [m ²]	S/V
N								

Il tipo di edificio deriva dalla tabella 1 riportando l'indice corrispettivo nella colonna "tipo edificio". Automaticamente vengono riportati dalla tabella 1 i valori associati all'indice scelto. La superficie disperdente è data dalla somma delle superfici disperdenti verticali (tab. 4-5-6-7) e delle superfici di orizzontali.

Tabelle 4-5-6-7.

edificio (NORD)	sup. vert. effettiva.	sup. vert. disperdente.	piani edif. confinanti.	sup. ed. confinanti.	piani confinanti
N	[m ²]	[m ²]		[m ²]	

edificio (SUD)	sup. vert. effettiva.	sup. vert. disperdente.	piani edif. confinanti.	sup. ed. confinanti.	piani confinanti
N	[m ²]	[m ²]		[m ²]	

edificio (EST)	sup. vert. effettiva.	sup. vert. disperdente.	piani edif. confinanti.	sup. ed. confinanti.	piani confinanti
N	[m ²]	[m ²]		[m ²]	

edificio (OVEST)	sup. vert. effettiva.	sup. vert. disperdente.	piani edif. confinanti.	sup. ed. confinanti.	piani confinanti
N	[m ²]	[m ²]		[m ²]	

Permettono di calcolare la superficie disperdente dei prospetti nei diversi orientamenti tenendo conto del Coefficiente di Contiguità. I dati di input sono il numero di piani dell'edificio confinanti nei diversi orientamenti. Nella cella "piani confinanti" viene riportato il numero massimo di piani che disperdono. La superficie verticale disperdente è, dunque, risultante della differenza tra la superficie verticale effettiva e quella dell'edificio confinante.

Tabella 8.

edificio	Sup. Vetrata NORD	Sup. Vetrata SUD	Sup. vetrata EST	Sup. vetrata OVEST	Sup. vetrata MEDIA	Tipo vetrate	fattore solare [g]	U finestre	EPOCA
N	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²			[W/m ² K]	

Si indica la superficie vetrata calcolata per ogni edificio. Nella colonna "tipologia vetrate" si riporta l'indice di tabella 9 in base al tipo di vetrate dell'edificio in esame. Vengono riportati automaticamente i valori del fattore solare g e della

trasmittanza U corrispondenti all'indice di tabella 9 e le superfici dal calcolo speditivo.

Tabella 9.

n°	tipo vetrata	fattore solare [g]	[U] [W/m ² K]

Per ciascuna tipologie di vetrata è associato un fattore solare g e la trasmittanza globale dell'infisso.

Tabella 10. Valori di radiazione solare media mensile

MESE	radiazione solare media mensile [Mj/m ²]			
	Esposiz. nord	Esposiz. Sud	Esposiz. est	Esposiz. Ovest
novembre				
dicembre				
gennaio				
febbraio				
marzo				

Tabella 11.

EDIFICIO	NOVEMBRE	DICEMBRE	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	GUAD. SOLARE
	[Qsol]	[Qsol]	[Qsol]	[Qsol]	[Qsol]	[Qsol tot]
	[Mj]	[Mj]	[Mj]	[Mj]	[Mj]	[Mj]

Guadagno solare totale (Qsoltot) per edificio.

Tabella 12(A)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Residenziale	Pubblico	Alberghi	Uffici	Ospedali	Cinema-teatri	Musei-chiese	Ristoranti	Commerciale	Piscine	Palestre	Scuola	Industriale
ACH [1/h]													
θ_{END} [W/m ²]													

Tassi di ricambio aria [ACH], e guadagni endogeni [θ_{end}] per ciascuna tipologia di edifici. Per altre destinazioni d'uso la norma UNI TS 11300 -1 (paragrafo 12.1.1) rimanda alla norma UNI 10339 con particolare riferimento ai prospetti relativi alla portata d'aria per persona e all'affollamento. Secondo queste indicazioni sono stati calcolati i tassi di ricambio medi per le destinazioni d'uso ricorrenti.

Tabella 12(B)

fascia	da [GG]	a [GG]	ore giornaliere	data inizio	data fine	numero giorni
A	0	600	6	[1] dicembre	[15] marzo	105
B	601	900	8	[1] dicembre	[31] marzo	121
C	901	1400	10	[15] novembre	[31] marzo	136
D	1401	2100	12	[1] novembre	[15] aprile	166
E	2101	3000	14	[15] ottobre	[15] aprile	182
F	3001	>3000	>14	sempre	sempre	>182

Fasce climatiche del territorio italiano e relativi limiti massimi di esercizio dell'impianto termico e della durata giornaliera di attivazione ai sensi del Decreto del presidente della Repubblica n. 412 del 26 agosto 1993 (tabella A e successive modifiche ed integrazioni) in merito al Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10.

Tabella 12 (C)

gradi giorno [GG]	fascia	ore giornaliere [h]	data inizio	data fine	numero giorni
833	B	8	[1] dicembre	[31] marzo	121

Dal valore dei gradi giorno (GG) relativo alla zona considerata vengono riportati i dati di riferimento dalla tab.12 (B)

Tabella 13.

edificio	tipo di edificio	tipologia	uso	ACH [1/h]	θ_{END} [W/m ²]

Vengono riportati i valori della tab.12 in base al tipo di edificio inserito, ottenendo così per ciascun edificio i dati di ACH e θ_{END}

Tabella 14.

edificio	Sd,fin NORD	Sd,fin SUD	Sd,fin EST	Sd,fin OVEST	Sd,fin TOTALE
	[m ²]				

Si determina la superficie disperdente vetrata dell'edificio sulla base del calcolo sviluppato in tab.8 per ogni orientamento.

Tabella 15.

edificio	Sd,par NORD	Sd,par SUD	Sd,par EST	Sd,par OVEST	Sd,par TOTALE
	[m ²]				

Si ricavano le superfici disperdenti delle pareti verticali di ogni edificio al netto delle vetrate

Tabella 16. Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione

edificio	NORD	SUD	EST	OVEST	BASE	TOTALE
	H _{tr} [W/K]					

Il coefficiente di scambio termico per trasmissione si ottiene applicando la formula $H_t = \sum s_i \times U_i \times b_{tr,i}$ ad ogni superficie verticale e orizzontale disperdente dell'edificio (opaca e vetrata). Il fattore b di correzione esprime lo scambio termico verso ambienti non climatizzati o verso il terreno (adimensionale).

Tabella 17. coefficiente globale di scambio termico per ventilazione

edificio	tasso ricambio aria ACH	volume netto	costante $p_a \cdot C_a$	coeff ventilazione H _v
	[1/h]	[m ³]	[Wh/m ³ K]	[W/K]

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione si ottiene applicando la formula: $H_v = ACH \times V_{netto} \times p_a \times C_a$.

$\rho_a \times C_a$ è il prodotto tra la densità dell'aria e il calore specifico a pressione costante dell'aria

$V(\text{netto})$ in assenza di informazioni del volume riscaldato è supposto pari al 70% del volume lordo dell'edificio.

Tabella 18. Guadagno endogeno

edificio	guadagno endogeno	Superficie orizzontale	ore al giorno	numero giorni	guadagni endog.
	θ_{END}	A_{pav}	h/g	n giorni	Q_{end}
	[W/m ²]	[m ²]	[h/g]	[g]	[KWh]

Gli apporti di calore endogeni (gratuiti interni) si ottengono dalla formula:

$$Q_i = (\theta_{\text{end}} \times A_{\text{pav}} \times h) / 1000.$$

h è il numero di ore della stagione di riscaldamento

Tabella 19. Requisito annuo di riscaldamento

edificio	HTR	HV	QSOL	Q_{end}	$Q_{\text{H,ND}}$
	[W/K]	[W/K]	[KWh]	[KWh]	[KWh]

Si calcola il fabbisogno di riscaldamento per ogni edificio applicando la formula

$$Q_{\text{H,ND}} = 0,024 \times G \times (H_{\text{tr}} + H_{\text{v}}) - \eta_{\text{H,GN}} \times (Q_{\text{SOL}} + Q_{\text{END}})$$

Tabella 20.

età	η_e	η_{rg}	η_{d}	η_{gn}	η_{globale}	codice

η rappresentano i rendimenti di emissione (e), regolazione (rg), distribuzione (d) generazione (gn), globale, ottenuto dal prodotto dei quattro rendimenti descritti (globale), dell'impianto

Tabella 21. Indice di Prestazione Energetica

cod	$Q_{\text{H,ND}}$	A_{pav}	η_{globale}	EPI	CLASSE	uso
	[KWH]	[m ²]		[KWh/m ² anno]		

L'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale attraverso la formula $EPI = Q_{HND} / (A_{pav} \times \eta_{globale})$

Tabella 22.

CLASSE	da	a
	[KWh/m ²]	[KWh/m ²]
A+		
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		

Si ottengono le classi di riferimento dalla norma in base ai valori di EPI e EPI_{lim} (D. Lgs. 192/2005 e sue modifiche). La CLASSE viene associata all'EPI, utilizzando il comando *cerca* sul valore dello stesso Ep nel *range* di tabella 22 e riportando la classe corrispondente nella tabella 21.

Energia Elettrica

L'evoluzione degli usi energetici degli edifici in Italia mostra un evidente aumento dei consumi elettrici, prevalentemente imputabile alla maggior richiesta di condizionamento estivo (ENEA 2012). Il condizionamento, nonostante risulti per sua natura un fabbisogno di tipo termico, viene solitamente associato ad assorbimenti elettrici convenzionali in quanto le macchine delegate a questa funzione sono generalmente alimentate da fonte elettrica (Santini & Fasano, 2009).

Il consumo di energia elettrica viene stimato attraverso l'elaborazione di dati dei censimenti dell'ISTAT, organizzati per sezioni censuarie, di dati relativi ai consumi medi ad abitante per regione relativi forniti da Terna S.p.A, la società italiana responsabile della trasmissione e del dispacciamento dell'energia elettrica sul territorio nazionale, e di dati geometrici, precedentemente sviluppati per il calcolo del fabbisogno di energia termica.

L'esito di questa fase è la costruzione di un indicatore di energia elettrica per gli edifici *Build_Eel* ottenuto mediante operazioni sui software Excel ed Arcmap. Il Database GIS in particolare viene completato con le informazioni spaziali sulle sezioni censuarie, su il numero di abitanti per sezione censuaria, il consumo medio ad abitante selezionato in base all'area geografica e la superficie costruita totale della sezione censuaria esaminata.

L'indicatore di energia elettrica per gli edifici correla i consumi al numero di abitanti e alla superficie residenziale, si ottiene moltiplicando per ogni sezione censuaria il numero di abitanti per il consumo medio e dividendo per l'area costruita residenziale all'interno della sezione censuaria.

$$B_{\text{uild}}E_{\text{el}} = \frac{E_{\text{el}} \cdot ab}{S_{\text{Utot}}} \quad [\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ anno}]$$

Eq. 13: Indicatore di energia elettrica per gli edifici

Il risultato ottenuto, medio ma specifico per sezione censuaria, è stato assegnato a ciascun edificio residenziale che vi ricadesse. Per gli edifici non residenziali, il consumo elettrico può essere calcolato a seconda del tipo di attività condotta nell'edificio. Rapporti ConfCommercio del 2014 forniscono un

set di dati sui consumi medi degli esercizi commerciali. Nel caso di esercizi commerciali non alimentari il dato medio è di 18.000 kWh/anno. Questo valore è stato assegnato agli edifici non residenziali ed è stato normalizzato per la superficie utile. Nel caso di capannoni e magazzini, il dato di consumo medio nazionale è pari a 354 kWh/m² anno (ENEA, 2010).

Descrizione dell'applicazione della procedura sviluppata nel modello.

L'indicatore per il consumo elettrico [kWh/m² anno], degli edifici si ottiene effettuando una serie di operazioni semplici sul software ARCMAP.

In una prima fase, conoscendo il dato di consumo medio per anno per abitante per regione italiana (Dati TERNA) ed il numero di abitanti per sezione censuaria (Dati ISTAT), è possibile calcolare il consumo di energia elettrica totale per sezione censuaria, moltiplicando il consumo medio per abitante al numero di abitanti. Questo dato viene diviso per la superficie totale residenziale (metri quadrati totali), dato ricavabile dal database attraverso il comando *Statistics*. L'indice ottenuto è assegnato a tutti gli edifici residenziali appartenenti alla sezione censuaria relativamente alla quale è stato svolto il calcolo (Query spaziale).

Le semplificazioni e approssimazioni rispetto alla realtà apportate nel sub-modello per gli edifici sono sintetizzate nella figura seguente.

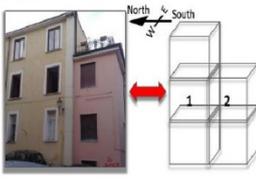
FORMA degli edifici- volumi semplici	1	SUPERFICIE UTILE < 1000 MQ	5
Perfetto ORIENTAMENTO lungo un asse	2	EDIFICI MISTI → USO PREVALENTE	6
COEFFICIENTE DI CONTIGUITÀ adiacenztra gli edifici	3	SUPERFICIE VETRATA DISPENDENTE	7
		$S_{ftot} = 1/8 S_{ult}$ $S_{ftot} = 1/10 S_{ult}$ $S_{fi} = \frac{S_{di}}{S_{dtot}} S_{ftot}$	
DATI GEOMETRICI E DELL'INVOLUCRO DEGLI EDIFICI Progetto TABULA- NORME UNI 11300 Rilievi tecnici, sopralluoghi e Database	4	Consumo di ENERGIA ELETTRICA uniforme per tutti gli edifici residenziali contenuti in una SEZIONE CENSUARIA	8

Figura 30: Sintesi delle semplificazioni apportate nel modello

ii. Settore II. Trasporti

Il sub modello che riguarda il settore dei trasporti è stato strutturato utilizzando una procedura completata nel 2014 dal gruppo di Ingegneria civile - Pianificazione Trasporti composto da: M. Ignaccolo, G. Inturri, M. Le Pira, V. Mancuso e S. Caprì (Inturri et al., 2014). La metodologia valuta il consumo energetico dovuto agli spostamenti casa-lavoro all'interno di una città tenendo conto delle relative caratteristiche di distribuzione di uso del suolo e di infrastrutture di mobilità attraverso l'integrazione di modelli semplici di uso del suolo e di trasporto.

Il fattore che determina la domanda di trasporto, dunque, responsabile della generazione degli spostamenti, è rappresentato dalla "motivazione", intesa come una specifica utilità perseguita nel raggiungimento di un luogo attraverso un mezzo di trasporto (includendo in questo anche la mobilità pedonale). Le diverse motivazioni di spostamento influenzano ulteriori caratteristiche portanti del viaggio, quali la frequenza, la lunghezza, l'orario. I dati del 2011 del "Rapporto sulla mobilità urbana in Italia" (ISFORT, 2012) relativi alla motivazione degli spostamenti mostrano un arretramento del peso della componente del tempo libero nella determinazione della domanda di trasporto nelle aree urbane, da correlare con la contingenza della crisi economica che ha ridotto la condizione di benessere delle famiglie e dunque ne ha comportato una diminuzione della mobilità per occasioni di svago, turismo e tempo libero in generale. Contrariamente, la motivazione di lavoro, che costituisce oltre il 25% del totale degli spostamenti, mantiene nel tempo la stessa incidenza. Infine una quota di domanda di trasporto è da associare alla motivazione della gestione familiare, che consta di attività "di base" della vita quotidiana.

La stima reale del consumo di energia nei trasporti è caratterizzata dall'elevata complessità delle relazioni che legano tra loro i fattori che interagiscono nel sistema urbano. Anche le preferenze degli utenti nella scelta modale sono influenzate dal livello del servizio e di accessibilità dei mezzi di trasporto caratterizzati da un minore consumo energetico, dal tasso di

proprietà delle automobili e dalle misure locali e nazionali per incentivare la riduzione dell'uso del mezzo privato.

Basandosi sull'approccio di *Transport Energy Specification* sviluppato da Saunders (2008), a valle della procedura di modellazione, viene costruito l'indicatore di dipendenza energetica *Transport Energy Dependence* (TED), che rappresenta l'energia minima necessaria in un'area urbana, dato un insieme di usi del suolo, opzioni di trasporto e di variabili energetiche che rappresentano uno scenario di pianificazione (Inturri et al., 2014).

Nel presente sub-modello, il sistema di trasporto è rappresentato in una formulazione matematica dove la scelta modale per lo spostamento segue semplici regole dipendenti dalla distanza tra la residenza e i luoghi di lavoro e dall'accessibilità alla rete di trasporto pubblico. L'interazione tra i modelli di uso del suolo, trasporti ed energia è lo scheletro di base della procedura (figura 31), la quale mira a calcolare il minimo di energia richiesta per gli spostamenti in una determinata area urbana in cui siano fissati le opzioni di trasporto, gli usi del suolo e le variabili energetiche, conformando un determinato scenario di pianificazione. In prima fase si opera una suddivisione del territorio urbano in un numero di sottozone per le quali, attraverso l'applicazione della procedura, viene calcolato l'indicatore specifico di energia dovuta agli spostamenti casa-lavoro (TED).

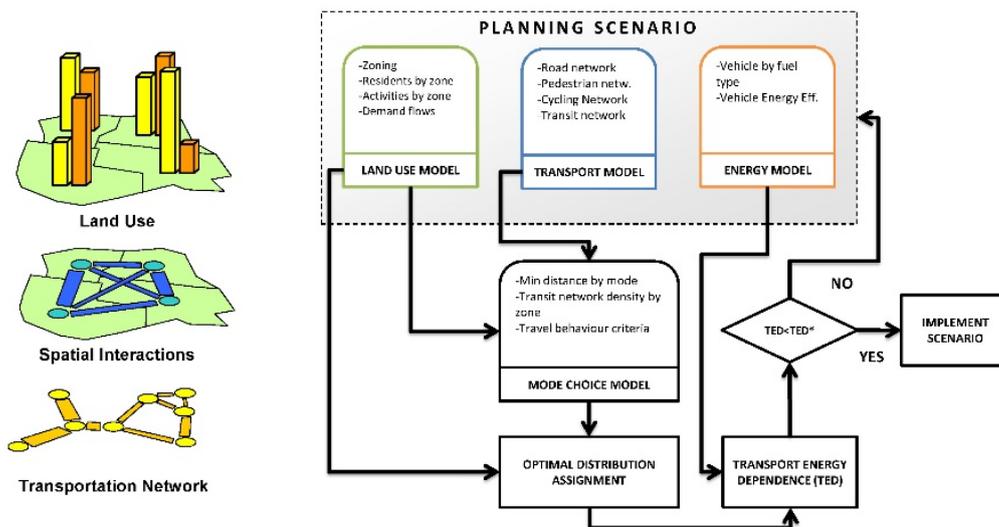


Figura 31: diagramma del sub-modello per il calcolo del TED
Fonte: Inturri et al. (2014)

Il modello di uso del suolo specifica il numero di residenti e di attività presenti in ogni sottozona, la quale genera una domanda di flussi di traffico nei confronti delle altre sottozone in funzione dei residenti, del numero e del tipo di attività presenti.

Il modello di traffico invece dà una caratterizzazione matematica della rete di trasporto e dei flussi pedonali, calcolando le distanze più brevi di ogni coppia origine destinazione (OD) per ogni modalità di trasporto. I flussi sono assegnati mediante la costruzione di un problema standard di trasporto in cui viene minimizzata l'energia necessaria allo spostamento. Infine, per calcolare il minimo di energia richiesta dal settore trasporti in una determinata zona urbana, viene impostato un problema di trasporto standard e calcolata la distribuzione ottimale dei flussi tra le coppie OD. Se Z è l'energia per il trasporto e x_{ij} il numero di lavoratori residenti in una zona i e pendolari verso una zona j , il problema di trasporto consiste nel minimizzare Z :

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Eq. 14: Problema di trasporto

soggetto alle seguenti condizioni

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = o_i \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = d_j \quad \sum_{i=1}^n o_i = \sum_{j=1}^n d_j \quad x_{ij} \geq 0,$$

Dove:

- o_i costituisce il numero di lavoratori che abitano nella zona i ,
- d_j rappresenta il numero di luoghi di lavoro nella zona j ,
- c_{ij} è l'energia consumata per viaggiare dalla zona i alla zona j per la modalità di trasporto selezionata.

La scelta modale, può riguardare le seguenti modalità di trasporto considerate nel modello: pedonale, ciclabile, trasporto pubblico su gomma (regolare e rapido), metropolitana, trasporto privato (automobile).

La distanza più breve tra ciascuna coppia di zone viene determinata misurando tali distanze sulla rete stradale esistente e supponendo che queste siano invariate per le diverse modalità di spostamento.

Per ogni coppia Origine-Destinazione delle diverse zone, viene adottato il seguente metodo di scelta modale basato sul criterio della distanza tra origine e la destinazione, coincidente con il primo posto di lavoro disponibile (figura 32):

- se la distanza è inferiore a 500 m, lo spostamento avviene a piedi
- se la distanza è inferiore a 1000 m, lo spostamento avviene a piedi o in bicicletta
- se le condizioni precedenti non sono verificate e la densità della rete di trasporto delle zone supera un valore "soglia di densità di trasporto", lo spostamento avviene utilizzando i mezzi di trasporto pubblico
- se nessuna delle precedenti condizioni è verificata, si utilizza il mezzo di trasporto privato (auto).

Le condizioni appena descritte possono essere specificate come segue.

Poiché il modello prevede che il numero di lavoratori non possa superare i posti di lavoro disponibili di una zona, si presume che per raggiungere il luogo di lavoro, i lavoratori si muovano a piedi o in bicicletta all'interno della zona di origine, se il raggio equivalente di accessibilità della zona risulta inferiore rispettivamente a 500 o 1000 metri; altrimenti si considera che siano utilizzate le modalità di trasporto motorizzate.

La soglia di densità di trasporto viene definita come quella corrispondente alla massima distanza che un utente è disposto a percorrere a piedi per giungere ad una fermata di trasporto pubblico, supponendo che vi sia una distribuzione uniforme delle linee di trasporto all'interno della zona. La soglia di densità tiene anche in considerazione la proporzionalità tra l'incremento della distanza, da percorrere a piedi, e le migliori prestazioni del sistema di trasporto pubblico stesso. Per ciascuna zona e per ciascun sistema di trasporto, la densità è calcolata come rapporto tra l'estensione totale delle linee di trasporto pubblico che attraversano la zona e la sua area, espresso in km/km^2 .

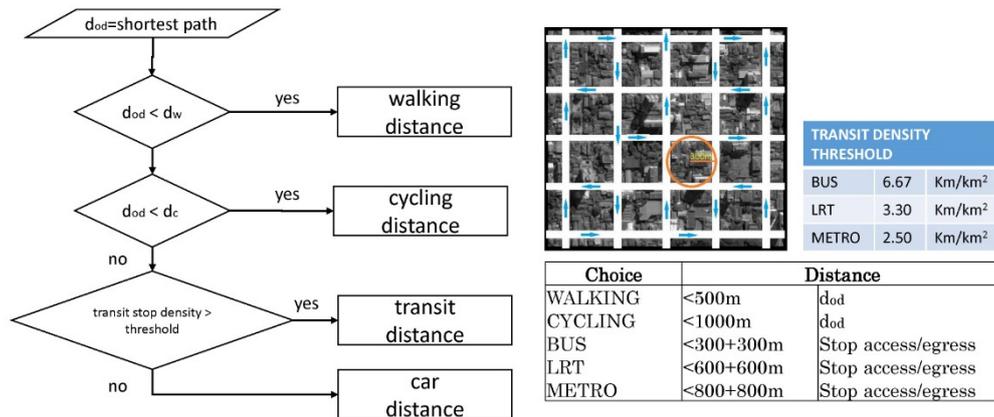


Figura 32: Procedura alla base della scelta modale (criteri di distanza e Soglia di densità del sistema di trasporto pubblico)
Fonte: Inturri et al. (2014). Presentazione ICTTE Belgrado (2014)

Definiti possibili scenari di pianificazione, (tra cui lo stato di fatto - Scenario zero) caratterizzati da una specifica distribuzione degli usi del suolo sul territorio, dal numero di abitanti e di attività lavorative nella zona e dalla configurazione della rete di trasporto, viene calcolato l'indicatore TED, con la seguente espressione:

$$TED = \sum_o \sum_d t_{od} \cdot l_{od} \cdot \frac{e_v}{c_v \cdot LF_v}$$

Dove:

- t_{od}** il numero di spostamenti assegnati tra la zona *o* e la zona *d* per minimizzare il numero di passeggeri *Z*
- l_{od}** la più breve distanza tra la zona *o* e la zona *d* (km)
- e_v** il consumo di energia unitario per la modalità di trasporto selezionata (MJ/km)
- c_v** la capacità del veicolo (spazio)
- LF_v** il fattore di carico (passeggeri/spazio)

Il TED rappresenta la quantità minima di energia consumata in un determinato periodo, in genere coincidente con la settimana lavorativa, se, fissato uno scenario di pianificazione, ogni persona potesse lavorare nel posto più vicino e potesse scegliere il mezzo di trasporto più idoneo. Può essere utilizzato come

valore limite al quale deve tendere il consumo energetico per la mobilità di un'area urbana, rispetto al quale, quindi, confrontare il valore effettivo di energia al fine di intraprendere eventuali misure di riduzione energetica (quali il miglioramento dell'offerta di trasporto pubblico, la sostituzione del parco veicolare, l'indirizzo nelle scelte di localizzazione e distribuzione delle funzioni sul territorio). Il TED può essere, anche applicato al fine di comparare diversi quartieri e zone urbane.

Tuttavia, tale indicatore, quantificando l'energia minima per effettuare spostamenti di tipo casa-lavoro in condizioni ideali, costituisce una rappresentazione parziale dell'effettivo settore dei trasporti. Sono considerati, infatti, in questa fase, esclusivamente gli spostamenti casa-lavoro, che pur rappresentando una quota significativa della mobilità urbana, non ne costituiscono la totalità. Infine lo stato di fatto si discosta dalle condizioni ideali tali per cui ogni lavoratore lavori nel luogo più vicino alla sua residenza. Entrambe le criticità appena descritte inducono ad una parziale sottostima della reale quantità di energia impiegata per la mobilità in una determinata area urbana. Infine, è necessario sottolineare che il modello descritto è in fase di rifinitura e ampliamento per l'inclusione di spostamenti per diverse motivazioni.

iii. Settore III. Illuminazione Pubblica

La stima del contributo del consumo energetico dovuto all'illuminazione pubblica a livello di quartiere, seppur inferiore rispetto a quello dovuto ai settori precedentemente analizzati, rappresenta comunque una quota significativa del consumo finale di energia elettrica pubblica e, dunque, delle spese delle amministrazioni comunali. Il settore dell'illuminazione pubblica è rappresentato da un indicatore che esprime il consumo elettrico per unità di superficie di strade e spazi pubblici.

La metodologia sviluppata per il settore dell'illuminazione pubblica si riallaccia a quella elaborata da Marique & Reiter (2012).

I dati richiesti dalla procedura possono essere ottenuti da database esistenti presso le amministrazioni comunali o attraverso operazioni di rilievo

specificatamente indirizzate a cogliere le tipologie di corpi illuminanti presenti in una determinata area del territorio. Tuttavia, l'adesione al Patto dei Sindaci, ha contribuito nella acquisizione dei dati relativi a questo settore. I *Piani d'azione per l'energia sostenibile* (PAES) contengono, infatti, informazioni sull'illuminazione pubblica molto dettagliate di tipo tecnico associate a quelle relative alla distribuzione sul territorio.

Il consumo viene calcolato in maniera semplificata su base annuale attraverso il prodotto tra la potenza di ogni lampada, il numero di lampade e il numero di ore di funzionamento secondo la seguente espressione:

$$O_i = \sum_i (n_{lamp_i} \cdot P_i \cdot h_{el_i}) \quad [\text{kWh/ anno}]$$

Eq. 15: Consumo energetico per l'illuminazione Pubblica (outdoor lighting)

Dove:

per ciascuna categoria di lampade i

n_{lamp} indica il numero di lampade

P indica la potenza di ciascuna lampada e

h_{el} sono il numero di ore di funzionamento in un anno

Il consumo di energia elettrica così calcolato, viene correlato con l'estensione degli spazi pubblici (piazze, strade e giardini) su cui i corpi illuminanti sono installati attraverso l'indicatore complesso *Lighting Index (LI)*, formulato come segue:

$$I_i = \frac{O_i}{S_p} \quad [\text{kWh/m}^2\text{anno}]$$

Eq. 16: Formulazione per il calcolo del Lighting Index

Si intende specificare che tale computazione esprime un dato relativo al consumo energetico per unità di superficie stradale che nulla ha a che vedere con l'illuminamento, con il progetto illuminotecnico e con il comfort visivo. Tuttavia, potrebbe risultare di un certo interesse correlare il consumo energetico con il comfort visivo attraverso il calcolo dell'efficienza luminosa, al fine di integrare le considerazioni energetiche alla progettazione urbana che,

secondo gli orientamenti più recenti, possa rispondere anche alle esigenze di uso degli spazi ventiquattro ore al giorno (Henckel et al., 2013).

Nello schema che segue sono sintetizzati gli indicatori sviluppati nel primo step per ciascun settore.

<p>Fabbisogno ideale di energia termica degli edifici calcolato attraverso un bilancio energetico in regime stazionario. Dati specifici degli edifici.</p> <p>Sviluppo di leggi di correlazione tra E_p e S/V</p>	$EP_i = \frac{Q_{H,ND}}{A_{tot}\eta}$ <p>ENERGY PERFORMANCE</p>	<p>Settore I edifici</p>
<p>Consumo di energia elettrica degli edifici calcolato come valor medio per gli edifici appartenenti alla stessa sezione censuaria. Dati statistici e dati specifici</p>	$BuildEl_i = \frac{E_{el} \cdot ab}{A_{tot}}$ <p>BUILD ELECTRIC CONSUMPTION</p>	<p>Settore I edifici</p>
<p>Esprime il minimo di energia richiesto per effettuare uno spostamento casa-lavoro in condizioni ideali, fissate le opzioni di trasporto, gli usi del suolo e le variabili energetiche.</p>	$TED_s = \sum_o \sum_d t_{od} \cdot l_{od} \cdot \frac{e_v}{c_v \cdot LF_v}$ <p>TRANSPORT ENERGY DEPENDANCE</p>	<p>Settore II trasporti</p>
<p>Consumo dovuto all'illuminazione pubblica normalizzato per superficie stradale. Dati specifici relativi alle lampade presenti nel territorio e alle relative caratteristiche (PAES)</p>	$I_l = \frac{O_l}{Sup\ road}$ <p>LIGHTING INDEX</p>	<p>Settore III illuminazione</p>

Figura 33: Indicatori della componente analitica del modello

3.4.2 Step 2 – Calcolo della performance energetica globale di un quartiere

I risultati allo Step 1 - Analisi della prestazione energetica specifica dei tre settori - vengono aggregati consentendo di ottenere una previsione della prestazione energetica globale (edifici + trasporti + illuminazione) dell'area urbana su cui il modello è stato applicato, fornendo un valore complessivo in Tonnellate Equivalenti di Petrolio.

Tale performance energetica può essere rappresentata sotto forma di mappa e viene determinata attraverso la somma dei contributi di ciascun sub-modello, opportunamente valorizzati in TEP, secondo la seguente formulazione:

$$E_j = \sum_{(i=1)}^n (E_{(th_B)})_{ij} + \sum_{(i=1)}^n (E_{(el_B)})_{ij} + (O_i)_j + TED_j \quad [TEP]$$

Eq. 17: Espressione per il calcolo dell'indicatore di performance energetica globale E_{ij}

Dove:

gli indici di sommatoria indicano con (i) gli edifici compresi nell'area di studio (j).
 $(E_{th_B})_j$ è il fabbisogno di energia termico complessivo per gli edifici dell'area urbana in esame in TEP calcolato con l'espressione seguente:

$$(E_{th_B})_j = (E_{pi} \cdot S_u) \text{ [kWh/anno]}$$

Eq. 18: Calcolo del fabbisogno termico complessivo per gli edifici

Dove:

$(E_{elB})_j$ è il consumo elettrico complessivo degli edifici appartenenti all'area in esame

$(O)_j$ è il consumo derivante dall'illuminazione pubblica sulle strade e sugli spazi pubblici contenuti nell'area oggetto di studio in TEP.

TEDI è l'indicatore "Transport Energy Dependence" calcolato per l'area di studio.

Attraverso la ripetuta applicazione del modello sulle zone ottenute dalla suddivisione preliminare, è possibile stimare il fabbisogno energetico dei diversi quartieri in una città e la redazione di mappature energetiche complessive che hanno come unità minima il quartiere.

La procedura che costituisce il modello per la valutazione dei consumi energetici urbani, strutturata su leggi matematiche e indicatori specifici, offre un'approfondita analisi dello stato di fatto, rappresentativa della complessa realtà urbana. L'integrazione tra i sub-modelli nella fase finale, esclude un approccio settoriale limitativo, dando piuttosto, a tale forma analitica, il ruolo di scenario zero di riferimento per futuri scenari di progetto. Questi, monotematici o complessivi (se esprimono le relazioni tra i parametri in gioco nei diversi settori), sono rappresentativi di scelte politiche e urbane e supportano la selezione di strategie di pianificazione *site specific* che comprendano e correlino opzioni di tipo energetico e urbanistico.

3.4.3 Considerazioni

Attraverso l'uso dei sistemi territoriali informatici, nel modello è possibile elaborare una vasta quantità e tipologia di dati afferenti anche a livelli diversi consentendo la formulazione di risultati alla scala di quartiere. Il database in GIS è stato sviluppato progressivamente e contiene dati territoriali specifici che permettono di calcolare gli indicatori e presentare i risultati sotto forma di mappe energetiche. Il modello nella sua struttura risulta essere particolarmente versatile. Infatti a seconda di quali siano gli obiettivi, può essere utilizzato in maniera aggregata, fornendo indicazioni complessive o in via disaggregata, cioè settore per settore, restituendo informazioni sui consumi energetici dovuti agli edifici, all'illuminazione stradale e agli spostamenti casa-lavoro per le porzioni di territorio oggetto di interesse. Il modello offre la possibilità di mettere a confronto interi quartieri e comprendere, dunque, quali siano le aree all'interno della città più energivore e quale sia la ripartizione di tali consumi mettendo in evidenza eventuali priorità di intervento.

L'utilizzo di numerosi approcci all'interno di modelli integrati è una condizione condivisa e quasi obbligata dalla necessità di descrivere dinamiche multisettoriali con scale temporali differenti e dall'aver a che fare con parametri di tipo molto diverso. Il modello si basa su diversi approcci per ciascun sub-modello. La componente *Bottom – UP* è prevalente. Vengono utilizzati principalmente dati tecnici e disaggregati, la componente economica è totalmente esogena. Tuttavia, il modello, spaziando ampiamente nel tipo di dati usati e nelle procedure costruite, non può rientrare strettamente in una delle rigide classificazioni illustrate, configurandosi come "ibrido" secondo quanto denotato da Kavgic et. al (2010), tendenza peraltro molto diffusa tra i modelli energetici che condividono l'obiettivo identificato del presente studio. Nel calcolo del fabbisogno di energia termica si utilizzano dati disaggregati di tipo tecnico, adoperando i dati statistici per eventuali controlli a posteriori; il calcolo dei consumi elettrici prevede invece l'uso di dati statistici, relativi ai consumi medi annuali per area geografica e settore. L'impiego di tali dati

risulta estremamente conveniente perché, seppur implicitamente, permette di tenere in considerazione gli aspetti del comportamento degli utenti. Attraverso la procedura sviluppata si raggiungono risultati specifici, nonostante l'approssimazione per gli edifici appartenenti alla stessa sezione censuaria. Attraverso la normalizzazione di tali risultati è stato reso possibile il confronto dei consumi elettrici tra gli edifici e il confronto tra il consumo elettrico e termico per ciascun edificio. In questo quadro, si vuole evidenziare come per il settore degli edifici, l'energia termica venga computata in termini di *demand*, mentre l'energia elettrica è stimata in termini di consumi. Questa scelta, dettata dalla disponibilità di dati e di metodologie, viene motivata dall'assunzione dell'ipotesi secondo cui venga trascurata la componente di energia elettrica per soddisfare il fabbisogno termico degli edifici, per il quale, invece, viene considerato il metano come principale vettore energetico. L'energia elettrica viene associata principalmente alla risposta del fabbisogno per il raffrescamento estivo, specialmente nei contesti del sud Italia (Ascione et al., 2013).

Le semplificazioni descritte nei paragrafi precedenti e il valore sovrastimato di alcuni parametri termo-fisici rispetto alla realtà, vengono accettate e giustificate in considerazione della scala geografica su cui opera il modello, il cui fine è una valutazione complessiva del consumo energetico a livello urbano. La metodologia usata per sub-modello del settore trasporti fornisce, a differenza di quelli per il settore edilizio e per l'illuminazione pubblica, un indicatore alla scala di quartiere o di sottozona. Di conseguenza il sub-modello ha una scala di azione di livello superiore, rispetto agli altri due. I valori dell'indicatore di Dipendenza Energetica sono relativi a ciascuna sottozona, che costituisce l'unità minima di mappa. Non è, cioè possibile, attraverso il presente modello, scendere alla scala dell'isolato o dell'intorno dell'edificio per analizzare le caratteristiche del sistema di trasporto e dell'infrastruttura in maniera puntuale (larghezza dei marciapiedi, ombreggiatura, dispositivi di *traffic calm...*). Tuttavia, non soltanto le caratteristiche del sistema di trasporto dipendono necessariamente dalle relazioni che si hanno con le altre zone della città, in particolar modo con quelle che offrono maggiori servizi e

infrastrutture, ma tali caratteristiche più puntuali sono intrinsecamente comprese nella procedura di calcolo dell'accessibilità.

Infine, è evidente il grado di semplificazione della realtà che viene apportato dalla metodologia per tale sub-modello dei trasporti in particolare, e dal modello complessivo in generale. Nel settore degli edifici, le semplificazioni hanno riguardato principalmente la descrizione degli edifici (nella forma, nelle superfici disperdenti, nell'orientamento) e l'assegnazione dei parametri termofisici (effettuata secondo valori mediati in base alle caratteristiche costruttive dell'epoca di realizzazione degli immobili). Nel settore dei trasporti viene quantificata l'energia minima per effettuare spostamenti di tipo casa-lavoro in condizioni ideali. Nell'indicatore TED, caratteristico del modello, sono esclusi gli spostamenti diversi da quelli casa-lavoro, che rappresentano in ogni caso una porzione sostanziale della totalità degli spostamenti urbani (25%). Inoltre lo stato di fatto si discosta notevolmente dalle condizioni ideali tali per cui ogni lavoratore lavori nel luogo più vicino alla sua residenza. Entrambe le criticità appena descritte inducono ad una sottostima della reale quantità di energia impiegata per la mobilità in una determinata area urbana.

Seppur la costruzione del modello ha richiesto sforzi in termini di scientificità e correttezza del metodo, le procedure sviluppate, i calcoli e le operazioni condotte sui sistemi informativi geografici e sui fogli di calcolo sono state appositamente mantenute semplici, rapide e accessibili al fine di poter garantire un'agevole implementazione del modello e una sua facile condivisione e diffusione. Inoltre, la disponibilità dei dati relativi agli edifici (geometrici, termofisici), al sistema di trasporto, e ai corpi illuminanti, consente l'esportabilità del modello ad ambiti urbani con diverse caratteristiche. Tale esportabilità è esito della metodologia costruita su procedure analitiche, di applicazione generale, che in alcuni casi si rifanno a quelle disposte dall'ente nazionale di normazione. In tal senso, ad esempio, il fabbisogno energetico degli edifici può essere ottenuto inserendo nel modello i valori specifici all'ambito di studio dei parametri coinvolti (la fascia climatica e i gradi giorno; le trasmittanze degli elementi di fabbrica degli oggetti edilizi secondo le caratteristiche costruttive della zona in esame).

Infine, lo sviluppo di indicatori e leggi analitiche che li descrivano soddisfa l'esigenza di monitorare i risultati dell'attuazione di interventi urbani rispondenti a strategie orientate all'efficienza energetica, ma in generale a politiche di trasformazione urbana. Tale occorrenza è sorta in concomitanza alle difficoltà di gestire le istanze moderne e contemporanee con approcci analitici lineari tipici della pianificazione tradizionale (Wong, 2006) e ha incoraggiato l'utilizzo di indicatori quantitativi proprio allo scopo di supportare i processi di *policy-making* a partite dagli anni '90. La costruzione metodologica e concettuale degli indicatori è condizionata dalle esigenze degli orientamenti politici contestuali, che possono influenzare l'interpretazione dei risultati a valle, e la scelta stessa del tipo di indicatore a monte. Nonostante il grado di incertezza dovuto alla variabilità interpretativa, gli indicatori sono considerati un valido strumento politico, applicato e modellato in diversi contesti, che si pone in una relazione biunivoca con la pianificazione spaziale: da un lato l'uno è capace di informare la disciplina urbanistica, dall'altro, questa può svolgere un ruolo di supporto alle decisioni politiche.

3.5 La componente valutativo-progettuale

L'esito di trasformazioni urbane, dell'applicazione di politiche e misure specifiche o generali sul territorio, in una prospettiva energetica, può essere indagato mediante la procedura che configura la componente valutativo-progettuale del modello.

Attraverso una valutazione integrata delle prestazioni energetiche dei quartieri in diversi scenari, emerge il ruolo chiave della scala locale nel percorso verso configurazioni urbane *low-carbon* e della pianificazione urbana incentrata su principi di sostenibilità ed efficienza energetica nel contribuire ad affrontare i cambiamenti climatici.

I flussi energetici che si configurano nei diversi settori urbani sono influenzati da una pluralità di fattori che caratterizzano il territorio e ne esprimono la peculiarità. Possono attenersi all'ambito prettamente fisico, a quello socio-politico, alla tradizione culturale di un luogo. La performance energetica dei settori analizzati, dunque, si dimostra estremamente variabile con i cambiamenti che coinvolgono tali fattori. Questi vanno combinati con gradi e opzioni diverse nella configurazione di azioni derivanti dalle strategie progettate per raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica urbana. Ai fini di una appropriata selezione della strategia più idonea in termini di costi e benefici, la disciplina urbanistica è solita utilizzare un approccio comparativo tra potenziali visioni urbane e scenari. Questi delineano gli esiti dell'applicazione di azioni che sintetizzano la variazione dei parametri rappresentativi dei fattori stessi.

Le analisi di scenario, sono state sviluppate e utilizzate inizialmente nel campo dell'economia e della gestione aziendale per supportare le imprese nella verifica della loro strategia (Hiltunen, 2009); tuttavia negli ultimi anni si sono diffuse in una vasta gamma di discipline di pianificazione (Zegras et al., 2004) permeando anche la pratica urbanistica. In particolare, le tecniche di configurazione di scenari vengono impiegate con l'obiettivo di stare al passo con le dinamiche di trasformazione urbana e di sopperire a un approccio urbanistico tradizionalmente privo di orientamenti futuri (Stojanović et al.,

2014). Inoltre, gli scenari, rivestendo un ruolo di fondamentale importanza per una completa valutazione dei sistemi urbani sono considerati uno *step* determinante nella costruzione di approcci integrati per la sostenibilità urbana (Stojanović et al., 2014). Dalla letteratura si evince che non esiste una metodologia univoca per la configurazione di scenari. Al contrario, sono riscontrabili numerose tipologie e tecniche che vengono scelte in base agli obiettivi determinati e agli specifici contesti territoriali (Stojanović et al., 2014) pur mostrando, tuttavia, caratteristiche comuni (Amer et al., 2013; Joseph, 2000; Chermack et al., 2001).

Il modello prevede lo sviluppo di scenari urbanistici alla scala locale, costruiti attraverso un approccio esplorativo e multisetoriale, per indagare la sostenibilità e le prestazioni energetiche dei quartieri. Seppur il termine più appropriato al tipo di studio e alla metodologia costruita in questo lavoro, sia "visione" (dall'inglese *Vision*) attribuibile alle *sensitivity analysis*, i due termini (scenario e visione) nel corso della trattazione verranno utilizzati alternativamente, assegnando a "scenario" la connotazione di visione futura del sistema urbano in seguito alla modifica di una o più variabili.

Attraverso la modellazione su GIS, vengono configurati scenari urbani di tipo energetico a supporto della definizione di misure integrate *site-specific* rappresentative di scelte di governo del territorio indirizzate alle aree urbane consolidate.

Anche nella strutturazione della procedura per questa componente dello strumento possono essere identificati diversi *step*. Il primo consiste nell'identificazione, attraverso una scomposizione della componente analitica, dei parametri e dei driver che hanno la potenzialità di influenzare il cambiamento. Questi, dunque, possono costituire le variabili di input per l'analisi ed il confronto e la struttura portante degli scenari, definiti come un insieme di previsioni condizionate da diverse ipotesi. Tuttavia, la mera selezione dei parametri alla base degli scenari, di per sé non è sufficiente a esprimere potenziali configurazioni urbane, necessitando una parallela definizione delle relazioni che intercorrono tra i parametri stessi all'interno di un unico settore

o trasversalmente tra i vari sub-modelli. La selezione dei parametri è una fase delicata e decisiva, in quanto determina le leggi matematiche e le relazioni intercorrenti, e rappresenta gli orientamenti politici scelti, indirizzando gli esiti finali degli scenari stessi.

Il secondo *step* consiste nella identificazione delle condizioni che determinano la formulazione degli scenari, ottenuti variando i valori dei parametri coinvolti al fine di valutare le modifiche del sistema urbano stesso sottoposto alle diverse condizioni e confrontarne, dunque, la prestazione energetica urbana che si ottiene nei diversi scenari. Modificati i parametri secondo le condizioni individuate, viene rilanciata la componente analitica per determinare gli esiti delle potenziali visioni urbane. Quello che può essere identificato come terzo *step*, ha uno status esogeno alla procedura della componente stessa in quanto attiene alla valutazione degli scenari configurati, da parte dei soggetti interessati, e all'identificazione dell'insieme delle soluzioni adottabili per indirizzare la trasformazione del territorio ai fini del miglioramento energetico urbano, elementi che esprimono la connotazione strumentale del modello stesso.

3.5.1 Step 1 – Individuazione dei driver di cambiamento

Relativamente al primo step, si considera l'impatto che alcuni potenziali fattori esogeni possano avere sul consumo energetico territoriale dei tre settori individuati (edifici, trasporti e illuminazione pubblica), intervenendo sui parametri che li rappresentano. Tali fattori esogeni derivano da istanze specifiche, riconosciute come driver di cambiamento per le comunità urbane, che, nel presente modello, coincidono con la connotazione demografica e le caratteristiche economiche degli abitanti. Parametri statistici, spesso forniti dai database e censimenti dell'ISTAT, quali età, sesso, formazione e lavoro, possono essere utilizzati per rappresentarli. Inoltre, anche le politiche di governo del territorio a scala superiore rispetto a quella di quartiere ed il comportamento degli utenti, sono stati individuati quali ulteriori driver esogeni,

che mostrano un elevato potenziale di influenza pur agendo su una scala più ampia di quella di quartiere.

I *driver* identificati possono incidere sulle seguenti specifiche categorie di cambiamento: uso del suolo, morfologia, tecnologia, progettazione e stato delle infrastrutture (figura 34). Dalle considerazioni seguenti risultano chiare le ragioni per cui tali categorie siano stati selezionate.

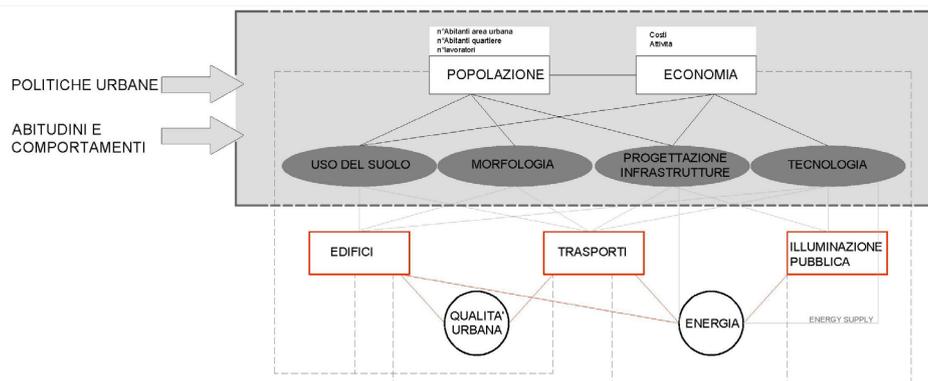


Figura 34: Driver e categorie di cambiamento e correlazione con i settori coinvolti

La morfologia, intesa come lo studio della forma degli insediamenti urbani, ha assunto un ruolo indiscutibile nella lotta ai cambiamenti climatici da diversi punti di vista. In particolare, la configurazione spaziale dei tessuti urbani impatta in modo significativo sulla domanda di energia e sull'efficienza energetica (Rode et al., 2014; Ratti et al., 2005) sul comfort termico esterno (Kruger et al., 2011) e sulla qualità dell'aria dovuta a usi intensivi dei mezzi di trasporto privati (Naess, 2005; Dulal et al., 2011; Rode et al., 2014).

Le innovazioni tecnologiche hanno ritmi e tassi di attuazione e diffusione diversi e differenziati nei diversi ambiti. Nel settore dei trasporti i progressi si verificano principalmente nell'efficienza dei veicoli, sviluppando motori più efficienti, tecnologie ibride ed elettriche e nella produzione di biocarburanti (http://ec.europa.eu/-clima/policies/strategies/2050/index_it.htm).

Nel settore dell'edilizia, il miglioramento del rendimento energetico può essere ottenuto con l'adozione del modello di casa passiva relativamente agli edifici di nuova costruzione, o con il rinnovamento del patrimonio edilizio esistente attraverso misure indirizzate a migliorare le caratteristiche degli involucri, a

incrementare il rendimento degli impianti. In questi processi, è contemplato l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile e la progressiva sostituzione dei combustibili fossili nella produzione energetica per soddisfare i bisogni di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici (http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050/index_it.htm).

Nell'illuminazione, le migliori tecnologie attualmente disponibili per le sorgenti riguardano i LED e le lampade a scarica. La selezione della sorgente luminosa è, tuttavia, soltanto uno degli aspetti tecnologici da considerare ai fini del risparmio energetico. Per raggiungere tale scopo, va valutato anche il parallelo utilizzo di alimentatori e sistemi di controllo basati su elementi quali: alimentatori elettronici controllabili, regolatori di flusso luminoso; regolatore di flusso individuale; regolatore di flusso centralizzato (ENEA, 2014b).

La progettazione e la riqualificazione delle infrastrutture energetiche e di trasporto costituiscono un elemento chiave nella mitigazione e adattamento dei cambiamenti climatici a livello urbano. Una carenza nella previsione di opportune reti energetiche e di trasporto può aggravare gli effetti del cambiamento climatico nelle aree urbane. Analogamente, un'adeguata valutazione e scelta del vettore energetico e dell'infrastruttura di trasporto possono ridurre le emissioni di anidride carbonica ed i relativi impatti sulle aree urbane (Bulkeley et al., 2011). Infine, le infrastrutture costituiscono un fattore emblematico nel rappresentare la profonda relazione intercorrente tra i driver e i fattori individuati, determinando la performance energetica dei quartieri. Le scelte relative alle infrastrutture hanno infatti la forza di influenzare le tendenze comportamentali e di riorganizzare le dinamiche economiche.

3.5.2 Step 2 – Condizioni e scenari

Sulla base delle categorie di cambiamento “tecnologia”, “infrastrutture” e “uso del suolo”, la procedura prevede la configurazione di tre gruppi di scenari urbani, predisponendo set di misure specifiche che rispondano a determinate condizioni per ogni categoria. Tali misure, infatti, concernono le categorie di cambiamento identificate (uso del suolo, tecnologia e design delle

infrastrutture) e sono progettate per i tre settori coinvolti (edifici, trasporti ed illuminazione pubblica). Pertanto, gli scenari risultano in una combinazione di misure, che possono appartenere ad una o più categorie, da applicare nei tre settori e sono ottenuti imponendo un cambiamento di una delle categorie su ciascun settore, mediante la variazione dei parametri che le caratterizzano. Alla base della procedura, infatti, è stato costruito, per ciascuna categoria di cambiamento, un set di parametri su cui è possibile agire variandone il valore, determinando impatti di diverso grado e specie nei tre settori. I parametri interessati dalla procedura sono elencati in figura 37, suddivisi per categoria e settore associato.

Il secondo step della procedura prevede la configurazione di diversi scenari urbani con un criterio di tipo comparativo determinando preliminarmente le condizioni che li caratterizzano. Tali condizioni possono tendere verso un approccio conservativo, compatibili con la conservazione della configurazione esistente del sistema urbano, e possono essere orientate a una riqualificazione del patrimonio edilizio esistente. Un secondo approccio possibile è orientato alla rigenerazione, prevedendo la demolizione e ricostruzione degli edifici e una riconfigurazione delle infrastrutture. In tale approccio, è, invece, la morfologia a giocare un ruolo primario, pur in parallelo alle altre categorie individuate (figura 35).

In questo quadro, gli sforzi sono stati concentrati sul primo approccio, cogliendo la sfida di un miglioramento delle prestazioni energetiche urbane sviluppando condizioni che mantengano la struttura del sistema urbano. Gli aspetti morfologici vengono quindi considerati costanti, variando invece gli aspetti relativi alle categorie di "uso del suolo", "infrastruttura e tecnologia", di cui sono confrontati gli esiti, rappresentativi di varie opzioni di intervento.

In particolare, nel modello, le categorie di cambiamento selezionate attraverso i parametri individuati, hanno influenza specifica su uno o due settori del modello e mai sui tre contemporaneamente, come evidente nelle figure 35 e 36, 37, 38.

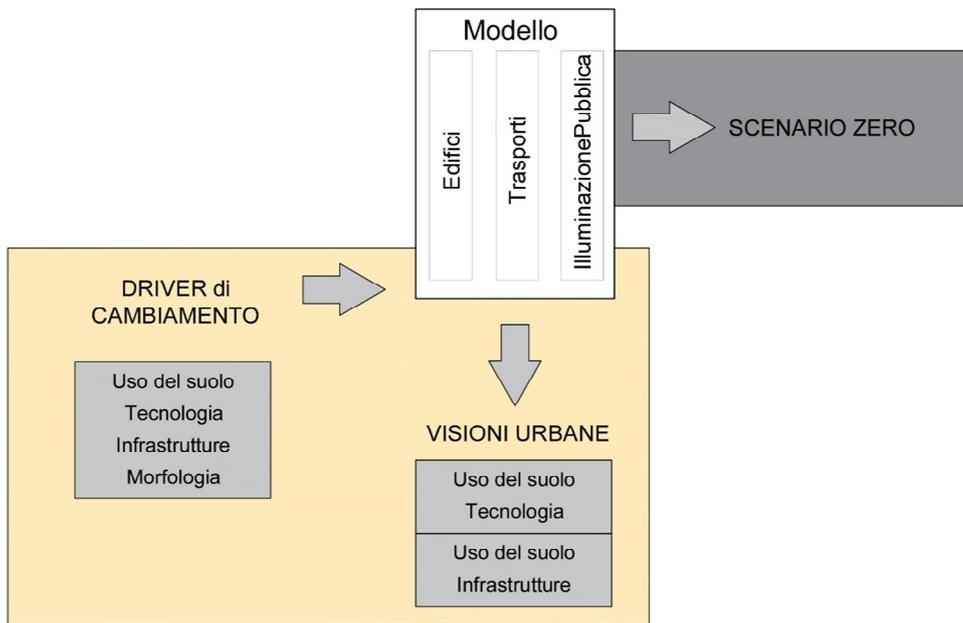


Figura 35: Diagramma del processo concettuale della procedura per la configurazione degli scenari. Dallo scenario zero ottenuto nella componente analitica gli scenari sono ottenuti imponendo alcuni driver di cambiamento sui settori inclusi nel modello.



Figura 36: schema rappresentativo delle categorie di cambiamento e dei settori corrispondenti

Relativamente all'uso del suolo vengono sviluppate delle configurazioni estreme ottenute radicalizzando le ipotesi di destinazione d'uso degli edifici, al fine di comprendere la sensibilità del modello e di valutare il gap tra la condizione estrema e quella corrente e di progettare strategie idonee a far tendere lo scenario zero a quello estremo più opportuno. I cambiamenti nella configurazione dell'uso del suolo possono influenzare i consumi energetici dei

settori degli edifici e dei trasporti, imponendo una variazione nel numero di posti di lavoro e dei lavoratori. Questi parametri sono determinanti nella valutazione dei cambiamenti indotti dall'uso del suolo e coincidono con quelli alla base della procedura finalizzata a valutare il consumo energetico del settore dei trasporti nella componente analitica.

Poiché tale settore risulta molto sensibile ai cambiamenti nell'uso del suolo, sono identificati due configurazioni limite che prevedono condizioni estreme relative alla destinazione d'uso degli edifici: a prevalenza residenziale (1) e a prevalenza non residenziale (2). La configurazione prevalentemente residenziale ha un tasso di edifici residenziali molto elevato mostrando i profili relativi ai consumi di energia termica ed elettrica tipici degli usi residenziali. Il numero di spostamenti pendolari risulta crescente a causa di un aumento del numero di persone che lavora fuori zona. Viceversa, un utilizzo misto del territorio indica un diverso profilo di consumo di energia termica ed elettrica e una quantità minore di spostamenti casa-lavoro in quanto la zona offre varietà e un alto numero di attività lavorative.

Seppur l'aspetto tecnologico trovi spazio di azione sui tre settori individuati, la sua influenza sul sub-modello dei trasporti viene trascurata nel modello, in quanto questa è indirizzata in maniera diretta sul veicolo, lasciando poco spazio alla componente urbanistica. Si assume, dunque, che la categoria tecnologica incida sul settore degli edifici e dell'illuminazione pubblica, ai fini di un miglioramento energetico urbano riconducibile a strategie urbanistiche.

Per gli edifici è stato supposto che il miglioramento delle prestazioni energetiche dipenda principalmente dalle caratteristiche dell'involucro limitando la conducibilità termica dei principali elementi costruttivi, basandosi sui requisiti del valore di trasmittanza U (espressa in W/m^2K) (BPIE 2011) e dell'impianto. Di conseguenza le variabili coinvolte in questo campo sono i parametri termo-fisici relativi all'involucro edilizio, in particolare i valori di trasmittanza delle superfici opache (verticali e orizzontali) e trasparenti ed il rendimento globale del sistema di riscaldamento.

		USO DEL SUOLO			
		BASE	FONTE	DERIVATI	FONTE
TRASPORTI		Popolazione attiva	Dati censuari	Distanza OD	Elaborazione VISUM
		Attività	Dati censuari		
		Frequenza degli spostamenti	Assegnata		
EDIFICI		BASE	FONTE		
		Popolazione: N° abitanti	Dati censuari e normativa		
		Destinazione d'uso	Dati censuari e sopralluoghi		
INFRASTRUTTURE					
TRASPORTI		BASE	FONTE	DERIVATI	FONTE
		Frequenza spostamenti	assegnato	Distanza OD	Elaborazione VISUM
		Consumi energetici unitari	Dati di letteratura	Rete stradale	Modello matematico
		Capacità del veicolo		Rete trasporto pubblico	Modello matematico
		Fattore carico (pax/space)			
TECNOLOGIA					
EDIFICI		BASE	FONTE	DERIVATI	FONTE
		Dimensioni in pianta	Cartografia	Trasmittanza chiusure vert.	Specifiche normative
		Altezza/ N° piani	Sopralluoghi e Database	Trasmittanza Sup. Trasparenti	Specifiche normative
		Orientamento	Cartografia	Trasmittanza chiusure orizz.	Specifiche normative
		Caratteristiche dell'involucro	Sopralluoghi e Database	Superficie finestrata	Specifiche normative
		Clima	Specifiche normative	Coefficiente di ventilazione	Specifiche normative
		Popolazione: N° abitanti	Dati censuari e normativa	Prestazione energetica	Procedura di calcolo
		Efficienza del sistema	Specifiche normative		
		Dati dei consumi elettrici	Database fornito da TERNA spa		
ILLUMINAZIONE PUBBLICA		BASI	FONTE		
		Tipi di lampade	Sopralluoghi e Database		
		Potenza delle lampade	Sopralluoghi e Database		
		Superficie spazi pubblici	Sopralluoghi e Cartografia		

Figura 37: Parametri in gioco per ogni settore e categoria di cambiamento. I parametri sono stati classificati in: base, quando i dati vengono utilizzati senza essere trasformati, e derivati, se invece sono ottenuti da rielaborazioni. La colonna "Source" esplica l'origine dei dati utilizzati nel modello, mentre "END" indica lo scopo per il quale sono stati utilizzati i parametri.

A differenza del caso dell'uso del suolo in cui sono ipotizzate due configurazioni estreme, per la presente categoria di cambiamento sono state predisposte tre ipotesi corrispondenti ad un crescente livello raggiungibile di miglioramento energetico. Le tre ipotesi riguardano l'involucro e gli impianti organizzate come segue:

Misure lievi - A: Miglioramento parziale dell'involucro e miglioramento dell'impianto. Misure medie - B: Miglioramento estensivo parziale dell'involucro e miglioramento dell'impianto. Misure estese - C: miglioramento complessivo dell'involucro e miglioramento dell'impianto.

L'evoluzione dei consumi energetici degli edifici mostra un evidente aumento dei consumi elettrici, prevalentemente imputabile alla maggior richiesta di condizionamento estivo (ENEA, 2012). Tuttavia anche l'impiego di sistemi di illuminazione artificiale poco efficienti ha un considerevole impatto sui consumi energetici. La maggior parte delle lampade installate per l'illuminazione domestica è ad incandescenza o ad alogeni, di efficienza molto bassa e solo il 4,4% è rappresentato da lampade ad alta efficienza (Rizzo, 2009). Nel caso di intervento sull'esistente è difficile modificare il comportamento nei confronti della luce naturale per cui si opera ai fini del miglioramento delle prestazioni dell'impianto di illuminazione artificiale. In tal senso la sostituzione delle sorgenti luminose con altre con caratteristiche analoghe ma con maggiore efficienza luminosa è l'operazione più immediata per attuare interventi rapidi e con costi limitati. È pur vero che tale intervento di sostituzione non è totalmente soddisfacente, contribuendo in maniera poco rilevante alle emissioni di CO₂ nell'atmosfera e ad una riduzione di consumi minima che a livello nazionale è equiparabile al 29% del consumo per l'illuminazione residenziale, e al 3,4% del totale dei consumi residenziali (Rizzo, 2009).

Le caratteristiche delle lampade costituiscono la variabile determinante anche per il settore dell'illuminazione esterna. Si considera dunque una congiunta e omogenea sostituzione dei corpi illuminanti con tecnologie più performanti tipo led.

In un quadro di *retrofitting* dei sistemi urbani, la categoria infrastrutturale attiene principalmente al settore dei trasporti. I parametri coinvolti in questa

categoria sono le caratteristiche di tutte le reti di trasporto (pubblico privato e pedonale) e le distanze calcolate alla scala dell'intera città. Anche in questo caso, come nel precedente, è possibile procedere attraverso un miglioramento graduale del sistema infrastrutturale attraverso una progressiva attuazione delle misure, che può essere descritto mediante due diverse configurazioni. Il primo set di misure (I) costituisce l'esito di una politica di trasporto a breve termine, in cui sia incrementata l'accessibilità al sistema di trasporto pubblico su gomma con l'adozione di misure di *traffic calming* e di sicurezza per i pedoni, orientate a favorire l'abbandono dell'automobile. Una migliore accessibilità ha, infatti, l'effetto di aumentare la distanza che un utente è disposto a percorrere per raggiungere la fermata e dunque aumenta l'area di influenza di ogni fermata. Il secondo gruppo corrisponde a una politica di trasporti a medio-lungo termine, in cui si prevede un ampliamento della rete di trasporto pubblico con l'introduzione di nuove linee sulle reti esistenti e di nuovi sistemi di trasporto (II).

Affinché vengano espresse le relazioni che intercorrono all'interno dei sistemi urbani in una prospettiva olistica, gli scenari possono venire configurati combinando le categorie di cambiamento in base alla coincidenza dei settori su cui queste hanno influenza. In altre parole, due categorie di cambiamento vengono combinate in uno stesso scenario se agiscono almeno su un settore comune. Di conseguenza, secondo tale logica, nel modello così costituito l'uso del suolo può essere associato sia con la tecnologia, portando alla configurazione di 12 scenari complessivi urbani, sia con le infrastrutture, determinando 9 scenari complessivi urbani (figura 38).

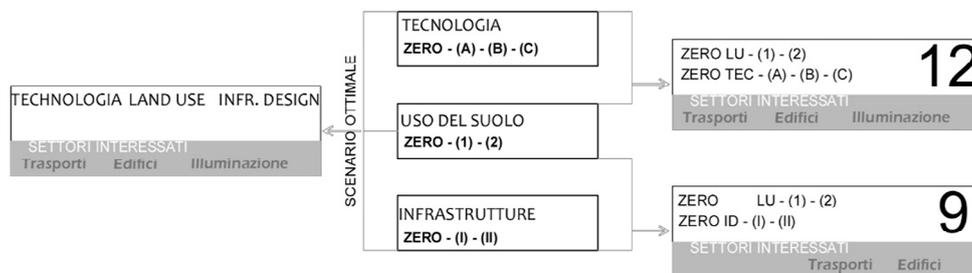


Figura 38: Possibili combinazioni nella configurazione degli scenari

Il modello consente anche di ottenere scenari complessivi che mettono insieme tutte le categorie di cambiamento e tutti i settori. In tal senso potrebbe essere costruito uno scenario di massima efficienza conseguibile mediante la combinazione delle diverse condizioni e misure più efficienti per ogni categoria di cambiamento in ciascun settore (figura 38).

Il modello permette di calcolare il consumo di energia e di sviluppare la mappatura energetica delle aree urbane per settore e nel complesso per ogni scenario configurato attraverso l'elaborazione dei parametri individuati nella combinazione di categorie di cambiamento e settori (tabelle 3 e 4).

USO DEL SUOLO (1) – (2) + TECNOLOGIA (A) – (B) – (C)			
EDIFICI		TRASPORTI	ILLUMINAZIONE
Dimensioni	Struttura	Popolazione attiva	Tipi di lampade
Volume	Involucro	Attività lavorative	Potenza delle lampade
Orientamento	Trasmittanza	Frequenza degli spostamenti	
Clima	Ventilazione	Distanze nelle coppie Origine-destinazione	
Energia elettrica	Prestazione energetica		
Efficienza dell'impianto	Abitanti		
	Destinazione d'uso		

Tabella 3: Parametri interessati nella configurazione degli scenari ottenuti dalla combinazione di USO del SUOLO e TECNOLOGIA

USO DEL SUOLO (1) – (2) + INFRASTRUTTURE (I) – (II)		
EDIFICI	TRASPORTI	
Abitanti	Popolazione attiva	Capacità del veicolo
Destinazione d'uso	Attività lavorative	Fattore di carico (pax/spaces)
	Frequenza degli spostamenti	Rete di trasporto pubblico
	Distanze nelle coppie Origine-destinazione	Rete di trasporto pedonale
	Unità di consumo energetico per modalità	Rete di trasporto privato

Tabella 4: Parametri interessati nella configurazione degli scenari ottenuti dalla combinazione di USO del SUOLO e INFRASTRUTTURE

Dai risultati e dalle mappe rappresentative dei diversi scenari è possibile confrontare le configurazioni energetiche ottenute nelle aree urbane dall'applicazione delle condizioni alla base degli scenari. Qualora attraverso il modello si voglia valutare l'esito sulle prestazioni energetiche di operazioni di rigenerazione urbana, in cui, come illustrato il fattore della morfologia gioca un ruolo determinante, insieme a quello tecnologico e di uso del suolo, la configurazione degli scenari e la procedura stessa di modellazione globale, seguono un approccio diverso. In questo caso, infatti dopo avere completato la fase analitica relativa alla condizione attuale, la fase valutativa-progettuale consiste nel determinare la conformazione ideale dell'insediamento urbano di nuova progettazione mantenendo fisse le altre categorie di cambiamento, consentendo, in questo caso, il confronto tra diversi progetti urbani. Le scelte morfologiche generano forti impatti sul settore degli edifici, per via diretta, e per via, indiretta su quello dei trasporti. Ad esempio, la scelta di tipi edilizi a torre o a villa, incide sensibilmente sui parametri relativi al settore degli edifici, (abitanti, volume...) ma genera nuove opzioni di spostamento, tempi di percorrenza e distanze diverse. Infine, nel caso in cui l'opzione di disegno urbano fosse già progettata, il modello si configura esclusivamente come uno strumento di verifica, attraverso cui valutare se il progetto considerato comporti eventuali miglioramenti di tipo energetico. In tal caso le considerazioni morfologiche sono mantenute esogene, e dunque ai fini del modello, costanti, determinando uno scenario futuro da comparare con lo stato di fatto. Qualora il progetto urbano non comprenda prescrizioni relative agli aspetti tecnologici ed infrastrutturali, la morfologia resta la *costante*, mentre le altre categorie di cambiamento costituiscono le *variabili*. Attraverso la variazione dei parametri interessati, si ricadrebbe, in termini procedurali, in quello che è stato considerato l'approccio di *retrofitting*, confrontando diverse opzioni tecnologiche e infrastrutturali ma relative a varie configurazioni urbane di progetto, diverse da quelle esistenti.

Da queste considerazioni risulta evidente che il modello si presta a varie opzioni di valutazione. Oltre alle possibili alternative descritte possono essere selezionati altri parametri ed elaborate nuove relazioni tra i settori e le

categorie di cambiamento selezionate. Il modello stesso può essere ampliato con l'aggiunta di ulteriori "moduli" relativi ad altre categorie di cambiamento volti a includere alcune dinamiche necessariamente assenti in questa fase e ad estendere, dunque, le potenzialità di valutazione e confronto dello strumento.

Descrizione delle procedure per la configurazione delle condizioni di previsione.

Nel caso della categoria di uso del suolo, le due condizioni estreme (1) *A prevalenza residenziale* e (2) *A prevalenza non residenziale* identificate sono state configurate come l'esito di trasformazioni indotte da politiche lievi che non hanno interessato aspetti morfologici, escludendo l'ipotesi della demolizione. La procedura vede una fase preliminare di cernita per individuare gli edifici idonei ad una conversione della propria destinazione d'uso, mediante un incremento o decremento della percentuale residenziale in ogni edificio, secondo opportuni criteri. La procedura si basa sull'uso e l'elaborazione dei dati censuari relativi alla popolazione per l'area geografica selezionata per l'applicazione del modello.

I criteri riguardano la destinazione d'uso nella condizione di stato di fatto, e la tipologia edilizia. Garage e capannoni sono stati esclusi, edifici a villa e a schiera sono stati considerati con destinazione d'uso immutabile.

È stato inoltre introdotto un fattore b il cui valore, compreso tra 0 e 1, indica il grado di uso residenziale di ciascun edificio. Se b è pari a zero, l'edificio è interamente residenziale, se b è pari a 1 l'edificio ha una destinazione d'uso non residenziale. I valori intermedi di b indicano differenti gradi di mix funzionale. Oltre al fattore b sono stati calcolati altri due indici che descrivono il numero di attività lavorative ed il numero di abitanti per edificio nel quartiere considerato allo stato di fatto, secondo le seguenti relazioni matematiche:

$$I = \frac{(\text{numero di posti di lavoro})}{(b \cdot (\text{numero di edifici non residenziali}))}$$

Eq. 19: Indice rappresentativo del rato di destinazione d'uso non residenziale

$$R = \frac{(\text{numero di abitanti})}{(b \cdot (\text{numero di abitazioni}))}$$

Eq. 20: Indice rappresentativo del rato di destinazione d'uso residenziale

La condizione di uso del suolo a prevalenza residenziale (1) è stata ottenuta considerando totalmente residenziali tutti gli edifici misti, censiti come idonei e inattivi gli edifici commerciali. Il numero di attività lavorative si ottiene

moltiplicando l'indice I calcolato per lo scenario zero per il numero di edifici non residenziali:

$$N. \text{ attività lavorative}_{(1)} = N. \text{ edifici non residenziali} \cdot I$$

Eq. 21: Formulazione del numero di attività lavorative per la condizione di uso del suolo a prevalenza residenziale (1)

Il numero di attività lavorative per tale condizione (1) subisce una riduzione rispetto allo scenario zero. A contrario, il numero di abitanti subisce un incremento, dovuto alla crescita del numero di edifici residenziali. Questo si ottiene dalla somma del numero di edifici residenziali allo stato di fatto e degli edifici non residenziali allo scenario zero, convertiti in residenziali.

$$N. \text{ edifici residenziali} = ((Er)_{\text{scen zero}} \cdot b) + ((Enr)_{\text{scen zero}} \cdot b)$$

Eq. 22: Formulazione del numero di edifici residenziali per la condizione di uso del suolo a prevalenza residenziale (1)

Dove:

- (Er)_{scen zero}** rappresenta gli edifici residenziali dello scenario di stato di fatto che sono rimasti tali
- (Enr)_{scen zero}** rappresenta gli edifici non residenziali dello scenario zero, convertiti in residenziali nella condizione di uso del suolo (1)
- b** è pari a 1 indicando che la conversione riguarda l'edificio nel suo complesso

Infine il numero di abitanti viene calcolato moltiplicando il numero di abitazioni ottenute per l'indice R:

$$N. \text{ abitanti} = N. \text{ edifici residenziali}_{(1)} \cdot R$$

Eq. 23: Numero di abitanti per la condizioni di uso del suolo a prevalenza residenziale (1)

La condizione di uso del suolo *a prevalenza non residenziale (2)* prevede una trasformazione di tutti gli edifici censiti come idonei alla trasformazione da uso residenziale a uso misto, ipotizzando un tasso pari al 75% di cambiamento nell'uso finale di ogni edificio selezionato. Per gli edifici con una destinazione d'uso mista allo stato di fatto, è stato considerato un aumento della percentuale di non residenziale.

Il numero di attività lavorative per la condizione (2) si ottiene moltiplicando l'indice I per il numero di edifici ad uso misto ottenuto secondo la seguente formulazione:

$$N. \text{ attività lavorative }_{(2)} = N. \text{ edifici non residenziali} \cdot I$$

Eq. 24: Formulazione del numero di attività lavorative per la condizione di uso del suolo a prevalenza non residenziale (2)

Il numero di attività lavorative per tale condizione (2) viene incrementato rispetto allo scenario zero. A contrario, il numero di abitanti subisce una riduzione, dovuta alla crescita del numero di edifici non residenziali.

Il numero di edifici residenziali in questo caso si ottiene dalla somma del numero di edifici residenziali non sottoposti a cambiamento di destinazione d'uso rispetto allo scenario zero e di edifici residenziali trasformati ad uso misto secondo il grado di conversione rappresentato dal fattore b.

$$N. \text{ edifici residenziali }_{(2)} = ((Er)_{\text{scen zero}} \cdot b) + \sum((Er)_{\text{scen (2)}} \cdot b)$$

Eq. 25: Formulazione del numero di edifici residenziali per la condizione di uso del suolo a prevalenza non residenziale (2)

Dove:

- | | |
|---------------------------------|--|
| (Er)_{scen zero} | rappresenta gli edifici residenziali dello scenario di stato di fatto che sono rimasti tali |
| (Er)_{scen (2)} | rappresenta gli edifici residenziali dello scenario zero, convertiti in edifici misti nella condizione di uso del suolo (2) in cui si ha una percentuale di residenziale espressa dal fattore b. |
| b | varia a seconda della percentuale di residenziale in ogni edificio considerato. |

Infine il numero di abitanti viene calcolato moltiplicando il numero di abitazioni ottenute per l'indice R.

$$N. \text{ abitanti }_{(2)} = N. \text{ edifici residenziali }_{(2)} \cdot R$$

Eq. 26: Numero di abitanti per la condizioni di uso del suolo a prevalenza residenziale (2)

Attraverso tale procedura vengono ottenuti i valori dei parametri da inserire nel modello per delineare gli scenari in cui viene inclusa la condizione di cambiamento dell'uso del suolo. Lo sviluppo della procedura descritta su GIS consente di spazializzare, per ogni condizione individuata, i risultati ottenuti.

Dal punto di vista tecnologico i valori dei parametri da inserire nel modello per la configurazione degli scenari vengono determinati attraverso l'imposizione del soddisfacimento dei nuovi requisiti di trasmittanza imposti dalla recente normativa nazionale: Decreto interministeriale 26 giugno 2015: *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*. I parametri interessati in questa categoria sono, come precedentemente descritto, le variabili termo-fisiche degli edifici e le caratteristiche delle lampade nel settore dell'illuminazione. È riconosciuto, infatti, che i principali campi per ottenere un valido miglioramento dell'efficienza energetica negli edifici consistono nell'involucro, nel sistema impianto e nelle chiusure trasparenti (BPIE, 2011).

I consumi dovuti all'illuminazione artificiale sono stati calcolati secondo la procedura seguente, operando una differenziazione secondo le diverse destinazioni d'uso degli edifici (tabella 5).

Destinazione d'uso degli edifici	Consumo energetico dovuto all'illuminazione
Residenziale	10% -11%
Uffici	20%
Scuole	10% -15%
Artigianale e altro	15%

Tabella 5: Valori medi di distribuzione percentuale dei consumi elettrici dovuti all'illuminazione nel settore degli edifici.
Fonte: Rizzo (2009)

Nel caso di edifici residenziali si è supposto che allo stato di fatto le lampade siano tutte incandescenti e che in media le lampade ad alta efficienza abbiano un consumo inferiore di un quinto. Attraverso un'elaborazione dei dati relativi alle sezioni censuarie e ai consumi medi ad abitante, sono stati ricavati il numero di edifici per sezione censuaria e il numero di appartamenti medio per edificio. Il consumo energetico per famiglia, viene ottenuto dividendo il consumo energetico totale per sezione censuaria (kWh/anno) per il numero di appartamenti contenuti nella stessa sezione censuaria. Tale valore

rappresenta il totale di energia elettrica, il cui 10% è attribuibile all'illuminazione. Per gli edifici non residenziali il valore di partenza di stato di fatto dei consumi energetici elettrici è quello utilizzato nella procedura per la componente analitica del modello. Anche il valore percentuale dei consumi dovuti all'illuminazione varia in base alla destinazione d'uso degli edifici secondo quanto riportato in tabella 5. Il risparmio conseguibile con l'utilizzo di lampade ad alta efficienza è pari all'80%, ottenuto considerando un quinto del valore, secondo l'equazione seguente:

$$E_{\text{ill}} = 0.1 (E_{\text{el tot}}) / 5 \quad (\text{kWh/app-anno})$$

Eq. 27: Consumi elettrici dovuti all'illuminazione per ciascuna abitazione

Dove:

E_{ill} è il consumo dovuto all'illuminazione dopo la sostituzione dei corpi illuminanti

$E_{\text{el tot}}$ è il consumo elettrico totale delle abitazioni

Per ciascuna sezione censuaria il consumo di energia elettrica dovuto all'illuminazione è ottenuto moltiplicando il valore E_{ill} per ciascuna destinazione d'uso per il numero di occorrenze nella sezione stessa. Infine il consumo totale di energia elettrica per ciascuna sezione censuaria può essere calcolato con la seguente equazione:

$$E_{\text{el tot f}} = E_{\text{el tot i}} - E_{\text{ill i}} + E_{\text{ill f}} \quad (\text{kWh/anno})$$

Eq. 28: Consumi elettrici totali ottenuti dopo la sostituzione dei corpi illuminanti

Dove:

$E_{\text{el tot f}}$ è il consumo elettrico totale finale, ottenuto dopo l'intervento di sostituzione

$E_{\text{el tot i}}$ è il consumo elettrico totale iniziale prima dell'intervento di sostituzione

$E_{\text{ill i}}$ è il consumo dovuto all'illuminazione prima dell'intervento di sostituzione

$E_{\text{ill f}}$ è il consumo dovuto all'illuminazione dopo l'intervento di sostituzione

Tale dato può essere normalizzato rispetto alla superficie per ottenere l'indicatore $B_{\text{uid}} _ E_{\text{el}}$ oppure può essere valorizzato per ottenere il valore in TEP.

3.5.3 Considerazioni

Come ampiamente trattato nelle sezioni precedenti, le trasformazioni e le condizioni imposte nelle categorie di cambiamento vanno considerate nel quadro delle politiche di pianificazione urbana che, rappresentando un driver di cambiamento, possono influenzare e indurre trasformazioni del territorio con impatti e orizzonti temporali differenziati. Le misure e le condizioni che caratterizzano le performance dei tre settori negli scenari possono essere considerate come l'esito dell'attuazione graduale di politiche di governo del territorio differenziate.

A titolo di esempio, i cambiamenti nell'uso del suolo possono essere l'esito di misure lievi economiche, demografiche e urbane, quali incentivi offerti per incoraggiare giovani imprenditori e startup, la scelta della localizzazione di nuove polarità, il trasferimento della sede di un'azienda... Al contrario, le misure tecnologiche possono essere i risultati delle politiche volte soprattutto al rinnovamento degli edifici esistenti che hanno un impatto sulle aree urbane in generale. È frequente la recente tendenza nella pratica urbanistica di inserire queste considerazioni sotto forma di requisiti (minimi o massimi) all'interno delle norme tecniche di attuazione e dei regolamenti edilizi dello strumento di piano. In particolare, tali requisiti possono essere imposti come standard necessari alla cessione di un diritto di trasformazione (approccio regolativo) o come attributo cui tendere per ottenere premi economici o volumetrici (approccio incentivante). Le scelte inerenti alla pianificazione dei trasporti sono ben rappresentate dall'introduzione e dalla modifica dei sistemi di trasporto in risposta a una trasformazione della domanda di trasporto, che può essere generata da cambiamenti alle condizioni al contorno (economici, demografici, sociali).

Gli scenari ottenuti dalle condizioni estreme possono essere considerati rappresentativi dei valori limite del consumo energetico potenziale dell'area oggetto di studio. In tal senso, se i risultati ottenuti dagli scenari fossero rappresentati in una forma grafica sintetica, quale un grafico o una matrice, si genererebbe un *tool* a supporto delle scelte di governo del territorio per

ciascuna area urbana studiata, da annoverarsi tra quelli identificati nella terza componente del modello stesso (divulgativa). Tale elaborazione grafica vedrebbe il dominio della prestazione energetica urbana delimitato dalle condizioni estreme, che rappresentano appunto limiti cui difficilmente la condizione reale può trasformarsi anche mediante l'attuazione delle politiche. Infine, gli interventi ipotizzati in linea con le politiche di governo del territorio orientate sia alla riduzione dei consumi energetici sia al miglioramento della sostenibilità, possono incorrere in barriere di implementazione, che variano in modo significativo a scala nazionale, e, in particolar modo, alla scala locale, anche tra le diverse zone della città. In questa direzione, il settore edilizio è soggetto a varie forme di complessità nella gestione finanziaria e regolamentare dovuto anche all'elevato numero di attori coinvolti. La figura del proprietario delle unità immobiliari e degli edifici, inserisce una variabile di complessità al problema. Infatti, queste figure, hanno un ruolo decisionale che non è sempre prevedibile ed influenzabile. Al contrario, nei settori in cui lo stampo pubblico è prevalente, quali l'illuminazione pubblica e i trasporti, e in cui la figura del privato è praticamente assente, pur avendo un numero di attori minore, manifestano barriere di tipo finanziario, legate agli alti costi di investimento. Il superamento di tali barriere, passa frequentemente attraverso il coinvolgimento del privato, attraverso cofinanziamenti e *project financing*, annullando di fatto le barriere finanziarie e creando piuttosto problematicità di tipo gestionali. Le difficoltà esposte sono palesate nel basso tasso di ristrutturazione edilizia nazionale, pari all'1,5%. Mantenendo invariato tale valore, una completa ristrutturazione del patrimonio edilizio richiederebbe più di 70 anni. Non è superfluo sottolineare come tale condizione implicherebbe il raggiungimento dei requisiti energetici per tutti gli edifici in un intervallo temporale che supera quello relativo alla vita media degli oggetti edilizi stessi. La necessità di predisporre politiche di trasformazione urgenti che accelerino il processo di rinnovamento è, evidentemente, imprescindibile ed indifferibile. L'auspicio è quello di riuscire a sviluppare strategie, anche mediante l'uso di modelli e strumenti analoghi a quello presentato in questo lavoro, che vadano oltre la frammentarietà e la lacunosità che le ha caratterizzate sino a questo

momento, sposando piuttosto un approccio sistemico che consenta di raggiungere risultati efficienti e complessivi, che includano la presa di coscienza delle interrelazioni tra i settori e i sistemi in gioco nelle aree urbane.

3.6 Ulteriori potenzialità dello strumento. Un'integrazione con le reti complesse

L'approccio modellistico dello strumento sviluppato e descritto nelle sezioni precedenti, lega elementi energetici e spaziali tenendo in considerazione le relazioni tra i diversi sistemi urbani. La struttura in forma di moduli e componenti indipendenti ma facilmente integrabili, è stata progettata per garantire ampia flessibilità di utilizzo come strumento trasversale della scienza urbana. Da quanto delineato, l'applicazione dello strumento può spaziare tra esclusive riflessioni analitiche, valutazioni di progetti urbani, performance energetica di nuovi insediamenti e stima dell'impatto di politiche di trasformazione del territorio su aggregati urbani esistenti. Oltre a ciò, la versatilità del modello si rivela anche nella predisposizione ad essere integrato, nella sua complessità e nei singoli sub-modelli, ad altri modelli compatibili nei temi e negli obiettivi.

In tale direzione, la componente analitica relativa al settore degli edifici è stata adoperata ai fini dell'elaborazione di un modello finalizzato alla comprensione e valutazione delle interazioni energetiche che si verificano nel caso di installazione di sistemi di generazione di energia distribuita sul territorio. Tale modello si struttura associando la metodologia derivante dall'approccio energetico-spaziale sin qui sviluppato, ad una applicazione metodologica della teoria delle reti complesse, che ben si presta all'analisi degli scambi energetici che caratterizzano una rete di distribuzione decentralizzata. In particolare, la domanda e la generazione di energia sul territorio vengono calcolate attraverso il sub-modello relativo agli edifici, gli scambi energetici sono invece ottenuti mediante la modellizzazione della rete di distribuzione urbana secondo la teoria delle reti complesse.

I modelli basati sulle reti complesse permettono la descrizione del sistema urbano incorporando la natura eterogenea delle interconnessioni e i diversi livelli in cui si verificano. Le reti complesse sono costituite da nodi e archi. I nodi rappresentano le parti di un sistema, mentre gli archi definiscono le eventuali connessioni tra le parti. Astraendo dal mero significato matematico, è possibile traslare questa topologia al contesto urbano (Batty, 2012) in cui i

nodi rappresentano unità energetiche e gli archi le possibili interazioni tra esse (Volpe et al., 2016). I singoli nodi possono poi essere indicativi delle singole utenze, di un edificio, di un quartiere e via via cambiando di scala in base al livello di dettaglio con cui si desidera caratterizzare la rete. In tal modo la teoria delle reti complesse consente di studiare come si organizzano le interazioni energetiche tra soggetti produttori e soggetti consumatori di energia, al fine di elaborare strategie di pianificazione urbana per l'inserimento dei sistemi di distribuzione decentralizzata di energia elettrica sul territorio. Il sistema che regola attualmente la distribuzione di energia elettrica prevede la presenza di un nodo centrale di produzione cui sono connessi tutti i nodi della rete, mostrando una struttura stellata. La diffusione dell'energia da fonti rinnovabili, sta modificando lo scenario tecnologico e normativo, come descritto nella sezione precedente. La struttura centralizzata della rete è, dunque, soggetta a modifiche sostanziali legate alla progressiva introduzione dei sistemi distribuiti in cui si verificano scambi energetici tra soggetti produttori e soggetti consumatori bypassando il nodo centrale.

La procedura relativa alla modellazione di una rete siffatta, secondo la teoria delle reti complesse, è stata sviluppata da Volpe et al. (2016) indirizzata ad indagare la potenzialità dell'integrazione dei DES nei sistemi energetici urbani. Al fine della modellizzazione della rete di distribuzione urbana, N nodi vengono distribuiti sul territorio, la posizione è univocamente determinata dalle coordinate spaziali. Il numero di nodi varia in base al livello di dettaglio che caratterizza lo studio, cioè, se si assume che i nodi siano le singole utenze o singoli edifici o si ragioni in termini di scale più ampie. I flussi energetici tra i nodi sono rappresentati attraverso gli archi, secondo la comune rappresentazione matematica dei grafi, che rappresentano le connessioni fisiche. In particolare, nel modello elaborato, si assume un criterio di prossimità secondo il quale due nodi risultano connessi tra di loro da un arco se si trovano entro una determinata soglia di distanza.

Dato un insieme di nodi N , due nodi i e j con $i \neq j$ possono connettersi se

$$x < d < y,$$

dove d rappresenta la distanza.

Solo nel caso di connessione tra i nodi, questi scambiano energia. Le connessioni che si stabiliscono tra i nodi vengono traslate in una matrice $N \times N$, definita *Matrice di adiacenza (A)*. Ogni elemento della matrice a_{ij} può assumere il valore (0) o (1). Nel primo caso, i due nodi i e j non stabiliscono una connessione, nel secondo caso, al contrario, i due nodi risultano connessi. La diagonale della matrice di adiacenza contiene elementi nulli, in quanto nessun nodo può generare una connessione con sé stesso.

Ogni nodo i -esimo è caratterizzato da una domanda energetica E_{di} e da una generica produzione energetica E_{gi} derivante dalla configurazione del sistema decentralizzato. All'interno del modello viene inserito un ulteriore nodo, chiamato nodo centrale, che si differenzia rispetto agli altri per due principi:

- Il nodo centrale è rappresentativo della centrale energetica e come tale non ha una domanda energetica;
- Il nodo centrale produce l'energia necessaria a soddisfare l'eventuale eccesso di domanda energetica dei nodi non soddisfatto dalla rete di distribuzione decentralizzata.

Di conseguenza il numero di nodi finale sarà $N+1$ dove il nodo centrale corrisponde al primo nodo, $i=1$.

La rete così costruita costituisce la rete di partenza per l'analisi degli scambi energetici sul territorio a seguito dell'installazione di DES da parte di privati.

Ad eccezione del nodo centrale, ogni nodo si comporta come un nodo produttore o un nodo consumatore. Tale ruolo del nodo viene rappresentato da un parametro di surplus, S_i definito come la differenza tra la produzione e il fabbisogno di energia per ogni nodo i -esimo:

$$S_i = E_{gi} - E_{di}$$

Eq. 29: Parametro di Surplus per la rete

Nello specifico, il segno algebrico di tale parametro definisce la configurazione dei nodi come nodi sorgente o nodi destinatari. Un nodo viene definito sorgente quando la produzione energetica eccede la sua domanda (segno positivo). In questo caso, infatti, il nodo è in grado di distribuire ai nodi vicini la propria produzione energetica residua. Al contrario, un nodo è definito destinatario

quando la sua produzione energetica non è sufficiente a coprire la domanda (segno negativo) ed è obbligato a ricevere energia dai nodi limitrofi. Inoltre, il segno del parametro di surplus S_i definisce il verso dello scambio energetico, che va esclusivamente secondo la direzione nodo sorgente \rightarrow nodo consumatore, dunque da un nodo caratterizzato da Surplus positivo a un nodo caratterizzato da Surplus negativo.

Il flusso energetico viene indicato con $X_{ij} = -X_{ji}$, essendo i e j due generici nodi appartenenti al set di nodi $N+1$.

Esiste la possibilità, infine, che un nodo possa avere un surplus pari a zero. Questo caso si ottiene quando la domanda energetica del nodo viene esattamente soddisfatta dalla propria produzione ed esso non richiede né distribuisce ulteriore energia.

Per ogni nodo è possibile stabilire la seguente equazione di equilibrio:

$$S_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N+1} a_{ij} \cdot X_{ij} \quad \forall i=1, \dots, (N+1)$$

Eq. 30: Equazione di equilibrio

Dove:

a_{ij} rappresentano i coefficienti della matrice di adiacenza.

L'obiettivo del modello è quello di determinare il set di variabili X , rappresentative dei flussi energetici scambiati tra i nodi connessi attraverso un arco, minimizzando il flusso di energia in uscita dal nodo centrale. Pertanto, il problema viene formulato secondo un modello di programmazione lineare la cui funzione obiettivo è:

$$\min \sum_{a_{1h} > 0} a_{1h} \cdot X_{1h} \quad h=2, \dots, (N+1)$$

Eq. 31: Funzione obiettivo

Il vincolo imposto nel modello impone che i flussi energetici scambiati siano non negativi: $X_{ij} \geq 0$.

Nella topologia di rete definita nella fase iniziale i nodi risultano connessi in base ad un mero criterio di vicinanza. La topologia della rete ottimizzata, invece,

viene caratterizzata dalle connessioni che rispondono sia al criterio di vicinanza sia alla condizione che esprime la capacità di scambiare energia. In base ai segni dei surplus. In particolare, per via della minimizzazione, dal set di archi definito mediante la distanza di connessione restano attivi solamente quelli che hanno la potenzialità di trasmettere energia. Vengono, dunque, mantenute solo le connessioni effettivamente attive, ovvero quelle caratterizzate da uno scambio energetico tra nodi.

Al fine di studiare il tasso di connessioni effettivamente attivate per lo scambio energetico rispetto al numero di connessioni possibili in base al criterio di vicinato, viene introdotto l'indice di rete (Network Index) I_N , espresso come:

$$I_N = \frac{I_{activated}}{I_{neighbourhood}}$$

Eq. 32: Formulazione per l'indice di rete

L'indice di rete può assumere valori all'interno dell'intervallo [0,1]

Se $I_N = 0$, nessuna delle connessioni della topologia iniziale scambia energia e dunque il soddisfacimento della domanda è garantito solamente attraverso il nodo centrale (rete completamente centralizzata). Per la condizione $I_N = 1$, la rete viene completamente utilizzata per lo scambio energetico (rete completamente decentralizzata), tutte le connessioni della rete sono utilizzate per scambiare energia. Valori intermedi dell'indice indicano diverse percentuali di utilizzazione degli archi. Chiaramente, maggiore è il valore dell'indice maggiore risulta il grado di decentralizzazione della rete.

L'analisi delle connessioni attive nella rete energetica permette di identificare il numero esatto di connessioni attivabili per ciascun nodo. In tal senso, è possibile determinare la presenza di nodi che abbiano la tendenza a costituire un numero di connessioni più elevato rispetto agli altri nodi appartenenti alla stessa rete. Un nodo che presenta tali caratteristiche viene identificato come *HUB* e viene introdotto nello studio al fine di individuarne le eventuali potenzialità nella distribuzione energetica della rete.

Se nella stesura teorica iniziale del modello teorico, i nodi sono posizionati in maniera casuale ed uniforme nello spazio, lo studio correlato ad un approccio

territoriale prevede la considerazione dei vincoli spaziali, legati alla struttura urbana, e tecnologici, derivanti dalla reale potenzialità ed efficienza dei sistemi installati. L'integrazione con il sub-modello degli edifici del presente studio è attuabile nel caso in cui i nodi vengano fatti coincidere con gli edifici. Dunque, in prima istanza, nella procedura integrata ai fini dell'elaborazione su *Matlab*, i nodi sono stati identificati da una coppia di coordinate rappresentative del centroide della sagoma della pianta su GIS. Attraverso i parametri che concernono le caratteristiche degli edifici (volume, numero di abitanti e destinazione d'uso di ciascun edificio) e del consumo energetico, è stata introdotta una metodologia per il calcolo della generazione potenziale di energia elettrica di ciascun edificio. Questa viene configurata imponendo la condizione che la produzione di energia sia da fonte solare, mediante l'installazione di pannelli fotovoltaici sulle coperture degli edifici. Di conseguenza, sono stati ritenuti decisivi, ai fini della contabilizzazione della generazione di energia, tre parametri: la superficie (dimensioni) e il tipo di tetto (se a falde o piano) dal momento che la massima generazione si ha in corrispondenza dell'orientamento sud, e, infine, la percentuale di energia prodotta rispetto al potenziale massimo di generazione. L'energia elettrica che ogni edificio è in grado di generare è stata calcolata in base alla geometria del tetto e al tasso di produzione energetica dei moduli per ogni edificio. Sono stati selezionati quattro possibili ipotesi di generazione dei sistemi fotovoltaici:

- C1: Se il tetto è piano è stato considerato il 50% della superficie/o della potenzialità massima
Se il tetto è a falde è stato considerato il 25% della superficie/o della potenzialità massima
- C2: Se il tetto è piano è stato considerato il 90% della superficie/o della potenzialità massima
Se il tetto è a falde è stato considerato il 25% della superficie/o della potenzialità massima
- C3: Se il tetto è piano è stato considerato il 90% della superficie/o della potenzialità massima
Se il tetto è a falde è stato considerato il 30% della superficie/o della potenzialità massima
- C4: Se il tetto è piano è stato considerato il 70% della superficie/o della potenzialità massima
Se il tetto è a falde è stato considerato il 25% della superficie/o della potenzialità massima

La rete degli scambi energetici viene dunque analizzata nei quattro casi sulla base della variazione di due parametri significativi all'interno del modello: la percentuale di generazione di energia mantenendo fissa la distanza di connessione e la distanza di connessione mantenendo fissa la percentuale di generazione di energia. In tal modo, può essere determinata la configurazione reale più conveniente, la quale rappresenta quella in cui siano minimizzati i flussi di energia prodotti dal nodo centrale.

Il modello dunque permette di analizzare la performance della rete, evidenziandone limiti e potenzialità, supportando la valutazione di possibili strategie che sono, tuttavia, basate sui valori medi di energia elettrica prodotta da moduli fotovoltaici attualmente sul mercato.

Lo studio della performance della rete (modellata tramite l'applicazione della teoria delle *complex network*) associato alle analisi spaziali in prospettiva energetica (condotte attraverso la componente analitica del presente modello relativa al sub-modello degli edifici), si configura come strumento indispensabile per un aggiornamento del sistema energetico tradizionale. Affinché sia plausibile un'integrazione dei DES alla scala del quartiere, infatti, è necessario uno studio approfondito della rete relativamente alla sua configurazione, funzionamento, dimensionamento e ricaduta fisica spaziale.

Dai risultati ottenuti dalla modellazione possono essere ricavate importanti informazioni sul ruolo che particolari aree ed edifici assumono nella produzione e nel consumo energetico, venendosi a destrutturare totalmente l'approccio urbanistico classico alle infrastrutture energetiche e ai processi di produzione e distribuzione di energia. In tal senso, le aree urbane che necessitano di riqualificazione possono considerarsi un'occasione per l'attuazione e la sperimentazione di tali sistemi energetici innovativi. Gli esiti dello studio della rete, combinati con le altre analisi alla scala urbana possono, così, diventare strumenti che delineano le linee progettuali, sia in termini strategici sia in termini di disegno urbano per queste aree, veri laboratori dell'innovazione territoriale per il raggiungimento degli obiettivi di efficienza energetica e di sostenibilità.

4. LA PRESTAZIONE ENERGETICA PER UN AMBITO URBANO DI CATANIA

Energy policy at the urban scale needs to focus above all on demand management with a focus on energy efficient buildings, structuring urban form and density conducive to energy efficient housing forms, high-quality public transport services and to urban energy systems integration.

GEA, (2012)

4.1 La scelta del quartiere di Nesima Superiore a Catania

La presente ricerca è indirizzata all'approfondimento del contesto della città di Catania, allineandosi con la solida tradizione disciplinare tracciata dagli studi sui rischi urbani. La decisione di confrontarsi con ambiti del territorio catanese deriva da considerazioni in merito alla condizione urbanistica della città. Catania ha, infatti, mostrato nel lungo periodo una carente attenzione alla dimensione urbana ed è sostanzialmente sprovvista di forme di pianificazione del territorio. Il perdurare di queste condizioni ha comportato forme di degrado diffuso e un disinteresse generale nelle problematiche connesse ai rischi climatici e nelle potenzialità di efficientamento energetico urbano, evidente sia nelle politiche sia nelle pratiche. Le recenti vicende di pianificazione urbana hanno fornito, inoltre, un ulteriore elemento di riflessione, consentendo di svolgere analisi e di applicare metodologie di studio allo scenario attuale e a quello conseguente all'attuazione del Piano Regolatore Generale. Tale occasione di confronto, risponde anche ad esigenze di valutazione delle scelte progettuali e strategiche dello strumento urbanistico. In particolare, alla scala di quartiere la scelta è ricaduta sull'area di Nesima Superiore, esito

dell'attuazione della legge L. 43/1949 "Piano Fanfani". La riqualificazione delle periferie urbane del secondo dopoguerra può rappresentare, infatti, uno strumento prioritario per garantire la possibilità di ottenere risultati apprezzabili in relazione al controllo degli sprechi energetici prodotti in ambito urbano (Giacchetta, 2012). La città pubblica generata dai quattordici anni di azione dell'INA-CASA, si è rapportata con quella esistente secondo diverse strategie, completandolo o indicando nuove direttrici di espansione (Di Biagi, 2003) e rappresenta un'eredità del Novecento, con un peso rilevante nel definire l'ambiente urbano che caratterizza le città contemporanee (di Cristina, nd su <http://www.recuperoperiferie.unina.it>). Gli insediamenti e i quartieri costruiti in questo contesto rappresentano una percentuale rilevante dell'intero patrimonio edilizio italiano (355.000 alloggi) (Di Biagi, 2001), con caratteristiche comuni e diffuse nelle diverse realtà nazionali, presentando, in particolare, basse prestazioni energetiche.

La condizione del sistema urbano catanese riflette molte delle caratteristiche delle città italiane e contraddizioni tipiche delle città del Mezzogiorno. Il parco edilizio residenziale catanese (circa 29.000 edifici) è per oltre il 58% antecedente al 1970 (ISTAT, 2011) di cui un terzo è riconducibile all'edilizia residenziale post bellica. Le periferie si distribuiscono in maniera quasi indifferenziata nel territorio urbanizzato interessando sia il tessuto consolidato che le parti più recenti della diffusione urbana.

La città di Catania si configura come il centro urbano principale di una vasta conurbazione sulla fascia ionica che va da Messina a Siracusa, con un'estensione territoriale pari a 180 km quadrati che raggiunge i 400 se si considerano i comuni limitrofi a nord, che gravitano sul territorio comunale della città, costituendo un *continuum urbanizzato* (La Greca, 2015). L'espansione edilizia avvenuta a partire dagli anni del boom economico ha ridisegnato, infatti, gli assetti insediativi e di accessibilità del sistema territoriale, trasformando i territori contigui alla città e dando vita a un processo di diffusione urbana caratterizzato in prevalenza da edifici residenziali. I comuni posti a nord della città hanno così incrementato i loro

insediamenti residenziali, ampliando i loro nuclei urbani storici, fino a saldarsi reciprocamente e a congiungersi con la periferia nord della città di Catania, generando un unico sistema urbano che va ben oltre i confini comunali della città (Comune di Catania, 2012). La popolazione, dunque, pari a 293.458 abitanti (ISTAT, 2011) raddoppia se vengono considerati i territori direttamente conurbati che gravitano sul sistema territoriale catanese. In particolare, i comuni della prima fascia pedemontana sono i maggiori responsabili del flusso intercomunale, che in Sicilia costituisce il 74% degli spostamenti di tipo pendolare, valore di molto superiore alla media italiana, nonostante il pendolarismo rappresenti solo il 39% del complesso degli spostamenti, che è, tuttavia, inferiore alla media delle altre regioni (ISTAT, 2005). La città di Catania è, infatti, sede di funzioni strategiche (culturali, amministrative, commerciali) per la Sicilia orientale, condizionando la domanda di trasporto e determinando flussi di spostamento verso il centro urbano, dove si verifica la più alta concentrazione di attività e servizi.

Se i collegamenti con i vari centri del territorio in cui la città stessa estende il suo raggio di influenza, sono presenti e garantiti da infrastrutture viarie e ferroviarie abbastanza diffuse, l'accessibilità alle aree interne urbane in cui sono localizzate le principali funzioni di attrazione della città risulta, viceversa, carente e di difficile gestione.

Si è in presenza di un forte squilibrio modale, sbilanciato verso l'utilizzo quasi esclusivo del trasporto su gomma con auto privata, condizione incompatibile con il funzionamento della città contemporanea. Il tasso di motorizzazione della città di Catania è uno dei più alti in Italia, gli spostamenti avvengono principalmente con mezzo privato, che rappresenta il 75% della ripartizione modale (Inturri in <http://www.slideshare.net/cittainsieme/la-viabilit-a-catania-mobilit-e-trasporto-pubblico-a-catania>). La rete stradale comprende due grandi direttrici e una fitta rete di strade interne per le quali manca una consistente organizzazione gerarchica (Inturri et al., 2014; Comune di Catania, 2012b). La rete del trasporto pubblico è organizzata principalmente su un servizio regolare di autobus integrato a una linea metropolitana in espansione. L'attuale condizione della mobilità catanese deriva dalla parziale e

frammentata attuazione delle scelte infrastrutturali del piano degli anni '60 e da una storica e tradizionale tendenza, ravvisabile sin dal piano dell'800, a prediligere lo spazio privato e la volumetria edilizia rispetto allo spazio pubblico. Si configura uno scenario in cui le condizioni indirizzate alla sostenibilità ambientale si allontanano, nell'evidenza di una elevata congestione veicolare e dell'inefficienza della rete di trasporto pubblico locale.

I temi della mobilità e dell'accessibilità hanno costituito le direttrici della revisione del PRG del 2012, al fine di un miglioramento dell'assetto territoriale che comportasse una riduzione dei consumi, delle emissioni in atmosfera e una razionalizzazione delle risorse (La Greca, 2015). Si è dato luogo, in questa fase della pianificazione urbana della città di Catania, ad una contestualità delle previsioni urbane e dei trasporti, basate sulla consapevolezza che il rapporto tra mobilità, usi del suolo e conseguente livello di accessibilità fosse determinante ai fini del risparmio delle risorse e della creazione di un ambiente sostenibile e di qualità. Le strategie si sono concentrate sulle modalità di trasporto urbano, con interventi orientati al decongestionamento e all'integrazione tra usi e mobilità nelle scelte localizzative, ispirandosi all'approccio TOD (La Greca, 2015; La Greca & Barbarossa, 2014; Comune di Catania, 2012a; Comune di Catania, 2012b).

La scelta forte a vantaggio del trasporto pubblico, che da un lato va coordinato con le destinazioni urbanistiche, dall'altro contribuisce all'orientamento del nuovo assetto localizzativo, soprattutto per le attività maggiormente attrattive, costituisce uno dei fondamenti strategici del Piano Generale del Traffico Urbano (PGTU) per la città di Catania (Comune di Catania, 2012b). Tra le altre, le indicazioni di tale strumento prevedono:

- la concentrazione di nuove funzioni in corrispondenza dei nodi del nuovo sistema del trasporto attraverso l'applicazione del concetto di *Transit Oriented Development* (TOD);
- la valutazione delle proposte di funzioni/volumetrie da realizzare nelle aree risorsa in stretta connessione con le ipotesi di assetto del sistema del trasporto pubblico;

- l'introduzione del sistema del *Bus Rapid Transit* (BRT) consistente nell'individuazione di corsie preferenziali o di tratti stradali dedicati al trasporto con autobus, inteso come sistema, a basso costo e di rapida realizzazione, alternativo e integrativo del trasporto pubblico su ferro;
- l'integrazione degli aspetti della mobilità dolce (pedonale e ciclabile) nello schema della mobilità pubblica;
- La priorità alla localizzazione di funzioni attorno alle stazioni della metropolitana in corso di realizzazione e delle fermate BRT.

Nel rispetto del concetto di mobilità sostenibile nelle sue accezioni di sostenibilità economica, ambientale e sociale con riferimento all'area catanese, le proposte di intervento sul trasporto pubblico locale sono state classificate, sulla base della potenzialità di attuazione, in breve, medio e lungo periodo. Gli interventi di breve periodo sulla rete di trasporto urbano prevedono essenzialmente una riorganizzazione delle linee, con dei cambi di percorso e/o di denominazione, la soppressione di linee esistenti e l'istituzione di nuove e la realizzazione e l'esercizio di una delle linee di BRT previste. Tale sistema di trasporto collettivo di superficie si sta affermando come una delle soluzioni più efficaci per fornire servizi di trasporto con un elevato livello di servizio, in grado di combinare la qualità del trasporto ferroviario e la flessibilità dell'autobus. Il sistema BRT consiste nella integrazione tra autobus specifici e una infrastruttura separata, la quale assicura l'assenza di interferenza con traffico di altro tipo. Le fermate in tale sistema sono collocate ad una distanza media compresa tra 300 e 600 metri nelle aree urbane centrali e maggiore in quelle suburbane, i veicoli hanno un design distintivo e godono di sistemi di priorità nelle intersezioni principali.

In un orizzonte temporale di medio periodo, si prevede la realizzazione complessiva del sistema di BRT, costituito da quattro linee che innervano radialmente i nodi della linea metropolitana FCE in esercizio (linea Borgo-Porto). Il sistema di BRT per la città di Catania, è stato progettato, infatti, in maniera integrata con la configurazione del trasporto collettivo su ferro (Figura 38). Infine, le proposte di intervento che per la complessità e per il costo, richiedono tempi di attuazione lunghi, riguardano il prolungamento della linea

metropolitana esistente (a sud verso Stesicoro e ad ovest verso Nesima). Nella fase analitica di progettazione del PGTU, il territorio comunale è stato suddiviso in 50 zone di traffico (Figura 39), caratterizzate da diverse condizioni urbane e demografiche. Le zone generano flussi di spostamento verso le altre zone di traffico, in funzione del numero di residenti e della frequenza settimanale degli spostamenti stessi.

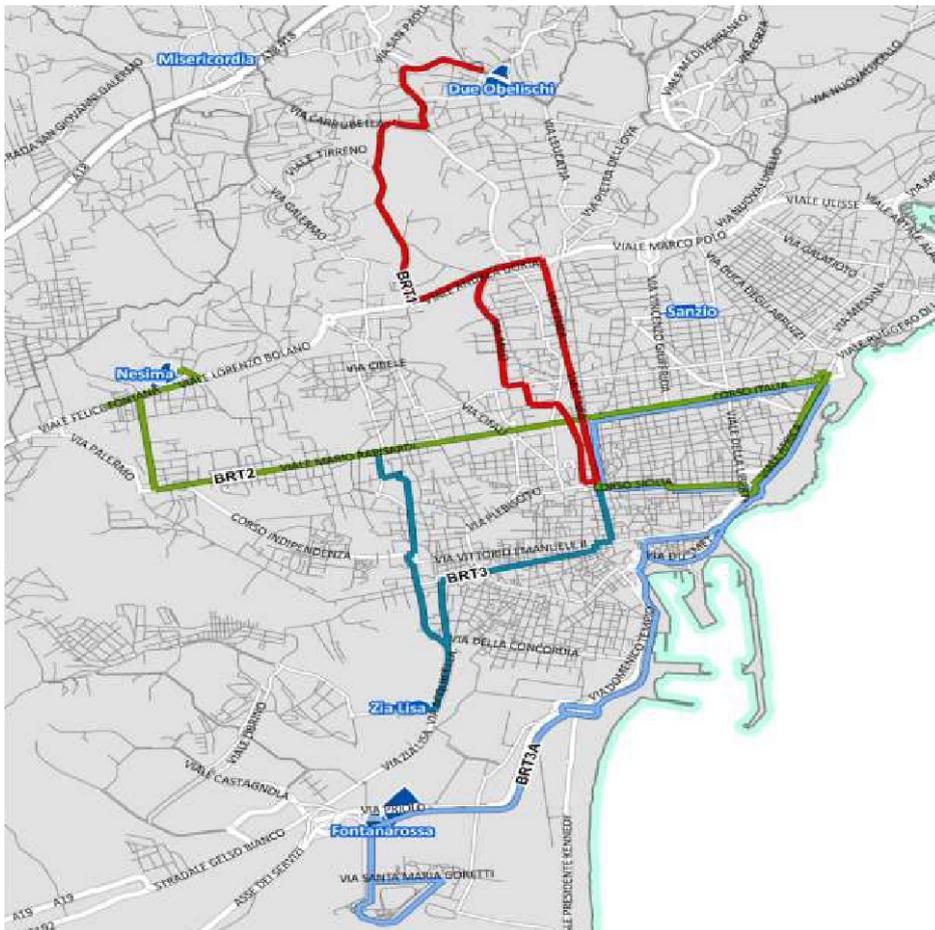


Figura 39: Percorsi delle Linee BRT per la città di Catania: BRT 1: Due Obelischi – Stesicoro; BRT 2: Nesima – Stazione; BRT 3: Zia Lisa – Centro; BRT 3a: Fontanarossa – Centro.
Fonte: Comune di Catania (2012b)

La stessa suddivisione è stata assunta nel presente studio per l'applicazione del modello sviluppato alla città di Catania. In particolare, è stata selezionata la zona di traffico numero 29: "Viale F. Fontana – Nesima Superiore" (Figura 40). L'ambito selezionato comprende il quartiere di Nesima Superiore e parte

della zona di Lineri, caratterizzata da una compresenza di fabbricati, anche abusivi, a destinazione residenziale frammista ad attività produttive.

Il quartiere di Nesima Superiore, appartenente alla settima municipalità fino al febbraio 2013, fa parte oggi della quinta circoscrizione comunale. L'area ha rappresentato uno dei primi esempi di quartiere di edilizia popolare della città, inserito nel primo settennio del Piano INA-CASA (1949-1955), costituisce una delle periferie moderne catanesi, distinte da quelle definite storiche, secondo un criterio basato sull'età di formazione, necessario per evidenziarne le diverse caratteristiche morfologiche. Nesima Superiore può essere considerato una delle forme di espressione del processo che ha accomunato Catania a molte altre città del territorio nazionale, guidate dal "Piano Fanfani", nell'incentivare e regolamentare la costruzione della città pubblica nella fase di ricostruzione postbellica.



Figura 40: Suddivisione del territorio in zone di traffico con l'identificazione della zona n°29 e relativa vista dall'alto della zona di Nesima Superiore, area oggetto di studio.

Il quartiere di Nesima Superiore fu realizzato, come in molti altri casi, su aree non ancora urbanizzate lontano dai centri abitati (Padrenostro, 2013), in particolare lungo la direttrice di espansione a nord-ovest della città, avviando la definitiva saturazione del territorio comunale occidentale al confine con il comune di Misterbianco (Mannino, 2010). Gli edifici vennero costruiti su un'alternanza di terreni argillosi e sabbiosi frammisti a quelli lavici, derivanti dalla colata lavica che colpì Catania nel 1669 (Comune di Catania; 2012). A partire dal 1949, nell'area si susseguirono diversi interventi a partire dagli

edifici a schiera, progettati dall'Ing. Priolo e Platania, seguiti dall'ampliamento su Via Eredia ad opera dell'Ing. Marletta consistente in edifici multipiano in linea, fino al complesso religioso gestito dai salesiani e dedicato a San Pio X, (realizzato nel secondo settennio) progettato dall'Arch. Condorelli (figura 41). Quest'ultimo intervento nasceva anche al fine di sopperire alla quasi totale assenza di servizi all'interno del quartiere, in contrasto con le previsioni progettuali. Infatti, pur essendo realizzati al di fuori dei centri urbanizzati, le aree oggetto di tali interventi di edilizia pubblica, sarebbero dovute essere provviste di tutti i servizi collettivi necessari, configurandosi come delle "città-satellite" autosufficienti (Padrenostro, 2013).



Figura 41: Vista del quartiere di Nesima Superiore, in particolare la chiesa di San Pio X e il caratteristico campanile in mattoni rossi

Fonte: Scatto degli studenti Calì, Consolo, Pappalardo, Raccuia (2015)

Di fatto, la mancata capacità di coordinamento degli interventi edilizi, dei quali la costruzione degli alloggi si dimostrò molto più rapida di quella dei servizi, ha dato vita a quartieri dormitorio, causando problematiche che perdurano nel tempo e generando forme di malcontento e insoddisfazione tra gli abitanti. I diversi tentativi di rivitalizzazione dell'area fallirono per l'insufficienza e l'inadeguatezza della distribuzione dei servizi e la difficoltà di inserire nuove funzioni in un'area già urbanizzata, poco flessibile al cambiamento. Tale

Gli scatti alle figure successive mostrano lo stato di fatto di alcuni i solati all'interno del quartiere (figure 43 e 44).



Figura 43 e Figura 44: Viste del quartiere di Nesima Superiore

Le mancanze previsionali e progettuali susseguitesesi hanno determinato la conseguenza, ancora tangibile, di carenza di qualità urbana e di attrezzature pubbliche nel quartiere, le quali sono localizzate principalmente nel centro

maggior varietà nelle opzioni di interscambio modale, anche in corrispondenza dei parcheggi scambiatori, e in particolare di quello presente a ridosso della zona oggetto di studio, il quale potrebbe dare impulso all'accessibilità ed attrattività dell'area.

Tale parcheggio, infatti, è stato, sinora, sottoutilizzato e ad esclusivo servizio della rete Circumetnea che costituisce un sistema di trasporto extraurbano per l'intero comprensorio etneo. Divenuto parte integrante del sistema di scambio intermodale tra Circumetnea, BRT e Metropolitana, ne verrà incrementato l'uso. La tratta "Borgo-Nesima" ha una lunghezza complessiva di circa 3,1 km e prevede, tra le stazioni Borgo e Nesima, tre stazioni intermedie Milo, Cibali e San Nullo (Figura 45). Da Nesima il progetto per la linea metropolitana prevede il raggiungimento del Comune di Misterbianco attraverso la tratta "Nesima-Misterbianco Centro", che ha una lunghezza complessiva di circa 3,9 km e prevede, tra le stazioni di Nesima e Misterbianco Centro, le stazioni intermedie Fontana, Monte Po e Misterbianco Zona Industriale (Comune di Catania; 2012b). L'incremento dei flussi e del livello di accessibilità alla zona, legati ad un utilizzo più intensivo dell'infrastruttura e dei servizi, configurano alcuni presupposti idonei all'avvio di un processo di trasformazione dell'area di Nesima verso condizioni di maggiore vivibilità e dinamicità.

Da quanto delineato, è evidente il potenziale di trasformazione delle aree rispondendo alle logiche TOD, concentrando nuove funzioni e rafforzando quelle esistenti in corrispondenza dei nodi del trasporto pubblico locale e integrando queste con servizi e funzioni residenziali. L'applicazione dei principi TOD nella città consolidata è una delle strategie del PRG 2012 per la città di Catania. Tale strumento individua alcuni ambiti urbani di trasformazione su cui è possibile intervenire con progetti urbani finalizzati alla riorganizzazione degli ambiti stessi, che divengono la concreta espressione delle strategie di piano (La Greca, 2015). Tra questi ambiti vi è una categoria che riguarda specificamente la prossimità territoriale alle linee e ai nodi di trasporto su ferro, denominate "Aree a elevata concentrazione funzionale in prossimità dei nodi di trasporto su ferro" (Comune di Catania, 2012a). All'interno di questi

ambiti possono ricadere dei comparti che per le loro caratteristiche sono differenziati in Aree Risorsa ed Aree di Rigenerazione, le quali costituiscono le componenti di due dei meccanismi di attuazione indiretta del Piano. Le prime sono aree totalmente o parzialmente non edificate caratterizzate da elevate potenzialità di trasformazione, in cui viene applicata la perequazione urbanistica. Le seconde, consistono in porzioni di tessuti urbani consolidati che, per le caratteristiche di degrado o di rischio, necessitano di essere trasformati radicalmente attraverso interventi di rigenerazione urbana. Al fine di garantire la fattibilità dell'intervento il piano prevedeva incentivi alla demolizione pari al 100% e requisiti minimi di mix funzionale. Le aree di rigenerazione trovano la loro ragion d'essere nella riduzione del rischio sismico e nel miglioramento potenziale delle condizioni di vivibilità di parti consistenti del tessuto urbano, attraverso la possibilità di demolire e ricostruire porzioni urbane di scarsa qualità (Comune di Catania, 2012a; La Greca, 2015). L'area oggetto di studio è inserita in due aree di rigenerazione nel quadro del PRG 2012: Rp 7.1 (per il recupero di edilizia pubblica) e R.a. 7.2 (per il recupero di ambiti artigianali degradati), entrambe contenute all'interno dell'Area Strategica "ad elevata concentrazione funzionale in prossimità dei nodi del trasporto su ferro" n°6 (figura 46).



Figura 46: AS 6. Sottozone Nesima – Susanna. Schema progettuale
Fonte: Comune di Catania, PRG 2012

Diverse sono le ragioni che hanno condotto alla scelta dell'area coincidente con la zona di traffico n°29 nel contesto catanese come applicazione pilota del modello sviluppato, rispondendo a una pluralità di logiche argomentative. In primo luogo, l'attenzione è stata concentrata sull'importanza che gli esiti del Piano Fanfani rivestono nella configurazione urbana attuale della città di Catania, vista la considerevole quantità di edifici, complessi edilizi e quartieri realizzati nei 14 anni dei piani INA-CASA. Si è scelto di analizzare e valutare in una prospettiva urbanistico-energetica, a distanza di 60 – 70 anni, il prodotto di una pianificazione urbana, priva, richiamando Giovanni Astengo, di vere e valide scelte di pianificazione, risultante in un patrimonio edilizio ghettizzato, monofunzionale e di scarsa qualità.

Se in generale, le aree urbane che versano in condizioni di degrado risultano maggiormente vulnerabili ai rischi e devono costituire una priorità nello studio di strumenti idonei alla gestione del patrimonio edilizio nel quadro della pratica urbanistica, ciò è valido, in particolare, per l'edilizia sociale del dopoguerra, le cui caratteristiche qualitative non avevano mostrato profili di eccellenza, subendo, inoltre, nel corso dell'attuazione un progressivo declino (Rispoli & Signorelli, 2001). Allo stesso tempo, tale azione prioritaria viene consolidata dal fatto che le basse caratteristiche dell'apparato costruttivo degli edifici realizzati in tali aree, fanno sì che intervenire su queste consenta di ottenere risultati molto più efficaci dal punto di vista dell'efficienza energetica al pari degli sforzi, rispetto ad ambiti urbani con caratteristiche prestazionali migliori. Infatti, gli edifici risalenti a un'epoca di costruzione superiore a 50 anni, proprio per le basse caratteristiche tecnico-funzionali, mostrano, un enorme potenziale di miglioramento (Evola et al., 2016), rimettendo, così, in gioco un grande patrimonio immobiliare dotandolo di qualità prestazionali migliorate, riducendo le spese energetiche e incrementando anche la vivibilità dell'area.

Il caso di Nesima Superiore, sul quale non è stata condotta negli anni alcuna operazione di ristrutturazione del patrimonio edilizio, si inserisce appropriatamente in questo quadro. Le periferie caratterizzate da un profondo degrado diffuso sono, infatti, ormai ampiamente riconosciute come un'occasione progettuale urbanistica in una prospettiva integrata. Vista

l'ampia rappresentatività e l'immediata riconoscibilità che contraddistingue tali ambiti nelle caratteristiche di localizzazione, di scala, di tipologie edilizie e tecniche costruttive su tutto il territorio nazionale, la loro riqualificazione ha un alto grado di riproducibilità e offre sensibili potenzialità di riduzione dei consumi intervenendo su un comparto estremamente energivoro.

In aggiunta alle argomentazioni legate all'edilizia pubblica, le profonde potenzialità legate all'aggiornamento e alla progettazione dei sistemi di trasporto e infrastrutturali per quest'area, in una logica TOD, legittimano la valutazione di quale possa essere l'esito di tali scelte strategiche per il quartiere in particolare e per il territorio comunale in generale.

Infine, le aree di rigenerazione urbana e il retrofitting energetico degli edifici esteso in maniera omogenea a un quartiere, rappresentano un'occasione per l'installazione di sistemi energetici distribuiti e la loro integrazione a livello urbano (Orehounig et al., 2015).

Il complesso e la concatenazione degli aspetti descritti, insieme con la configurazione di scenari di pianificazione ricavabili dalle schede norma dei comparti di rigenerazione previsti dalla revisione di PRG del 2012, hanno indirizzato la scelta del caso studio all'area di Nesima Superiore progettata come avveniristica periferia moderna, vetusto quartiere urbano oggi.

4.2 Applicazione dello strumento per la prestazione energetica

L'area in esame, collocata a nord-ovest del Comune di Catania al confine con il Comune di Misterbianco, ha un'estensione di 0,67 chilometri quadrati, presenta consistenti residui della colata lavica del 1669, importante testimonianza geologica e ambientale. Da quanto delineato, gli edifici hanno prevalentemente una destinazione residenziale; le occorrenze non residenziali si concentrano, in particolare, al confine ovest. L'area è attraversata dall'asse di percorrenza est-ovest principale del tratto di Via L. Bolano della Circonvallazione e presenta al confine ad est due attrezzature sportive di interesse generale, un palasport e una piscina, ed il parcheggio scambiatore in corrispondenza dell'attuale stazione Ferrovia Circumetnea (FCE) di Nesima e della nuova stazione della metropolitana. A sud dell'ambito di studio si trova un'ulteriore attrezzatura di livello superiore: l'Ospedale "Garibaldi – Nesima". L'area è situata nella zona climatica B, caratterizzata da 833 Gradi Giorno, da un periodo di riscaldamento compreso tra il 1 dicembre e il 31 marzo per un totale di 121 giorni di riscaldamento (Tabella 6).

gradi giorno[GG]	fascia	ore giornaliere	inizio	fine	n. giorni
833	B	8	[1] dicembre	[31] marzo	121

Tabella 6: Parametri climatici per la città di Catania

Da quanto descritto nelle sezioni precedenti, la metodologia per l'applicazione dello strumento prevede in prima istanza la costruzione di una robusta base analitica. La lettura dei processi di trasformazione del territorio è stata compiuta attraverso analisi cartografiche, iconografiche e rilievi diretti, al fine di comprendere il sistema territoriale in esame. Le analisi sono state condotte con l'ausilio dei seguenti supporti cartografici: Carta IGM (scala 1:25.000), Carta STR¹⁰ (1964), CTR 1985 (scala 1:10.000), Cartografia Comune di Catania 2002 (scala 1:2.000), Ortofoto ATA (2007/2008). Le analisi dei processi di crescita urbana descrivono nitidamente la dinamica di

¹⁰ Cartografia commissionata dalla Provincia Regionale di Catania e prodotta dalla STR (Società Topografica Rilievi aerofotogrammetrici, Napoli) con Levata giugno 1964

urbanizzazione dell'area, evidenziando il processo di formazione descritto nel capitolo precedente. Il più elevato tasso di crescita si registra tra il 1924 ed il 1964, periodo di attuazione dei piani INA-CASA. Nel ventennio tra il 1964 e il 1985 si verifica la formazione dell'area a ovest a confine con il comune di Misterbianco, caratterizzata da insediamenti artigianali di carattere spesso informale. È evidente che oltre l'80% del tessuto urbano si consolida prima del 1991 (Figura 47) anno in cui attraverso la L.N. 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" (L.N. 10/91), il tema energetico entra con forza nella progettazione edilizia ed urbana e sposta la gestione energetica a livello locale. La realizzazione delle infrastrutture viarie è avvenuta in parallelo alla costruzione degli edifici.

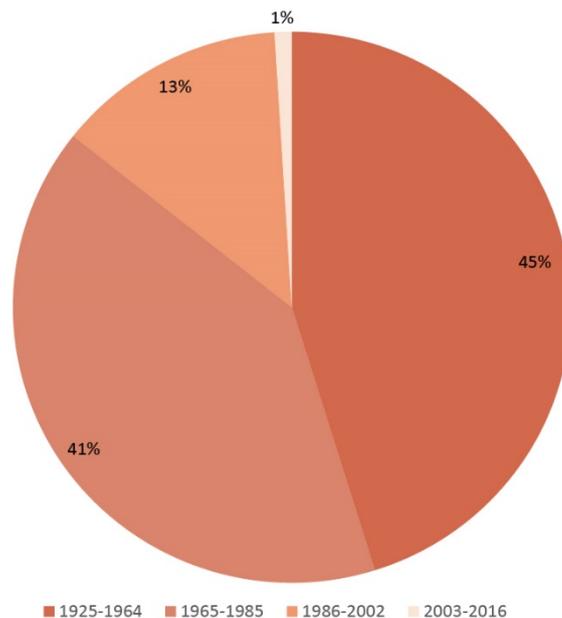


Figura 47: Distribuzione percentuale dell'epoca di costruzione dei tessuti urbani per l'area oggetto di studio

Dal confronto tra l'analisi di crescita urbana e quella di uso del suolo (si confrontino in proposito le tavole in allegato) si rende, inoltre, evidente che il quartiere di Nesima è stato completato nel tempo con box auto per ogni edificio nell'area a nord (l'ampliamento progettato dall'Ing. Marletta) e da alcuni

servizi di quartiere, in particolare, oltre al complesso religioso, da scuole dell'obbligo ed uffici comunali.

La ricognizione dell'uso del suolo e della crescita urbana costituiscono analisi preliminari indispensabili per la comprensione della performance energetica urbana. L'analisi di uso del suolo costituisce una forma conoscitiva fondamentale per cogliere i processi in atto sul territorio collocandoli spazialmente. Tale analisi, in particolare se incrociata con altre forme analitiche, consente di localizzare eventuali interventi di trasformazione complessiva dell'area derivanti dall'applicazione di diverse politiche.

Dall'elaborazione si evince che l'area è bilanciata tra spazi aperti e spazi costruiti (Figura 48). Gli spazi aperti sono destinati principalmente ad attività estrattive e infrastrutture per la mobilità, includendo in tale categoria anche il verde di arredo stradale. Gli spazi adibiti a parcheggio e l'area ferroviaria rappresentano il 3% dell'ambito di studio, percentuale derivante dalla presenza nel territorio del cantiere per la metropolitana e dell'ampio parcheggio scambiatore. Una quota del 15% è rappresentata dall'emergenza rocciosa, banchi e speroni lavici che caratterizzano paesaggisticamente l'area. Gli spazi costruiti hanno destinazione prevalentemente residenziale (oltre il 30%), collocata nella zona est dell'area oggetto di studio e artigianale e mista nella zona a nord ovest. I tessuti misti vengono considerati tali nel caso in cui vi sia una compresenza di residenziale e commerciale o artigianale. Il caso tipico è costituito da edifici in linea in cui i piani terra siano destinati a botteghe e i piani superiori ad abitazioni.

Lo studio della morfologia dei tessuti ha messo in evidenza che le aree residenziali sono costituite da tessuti ad isolati regolari a sud e irregolari a nord. Il tessuto artigianale è stato considerato come "specialistico" (Figura 49).

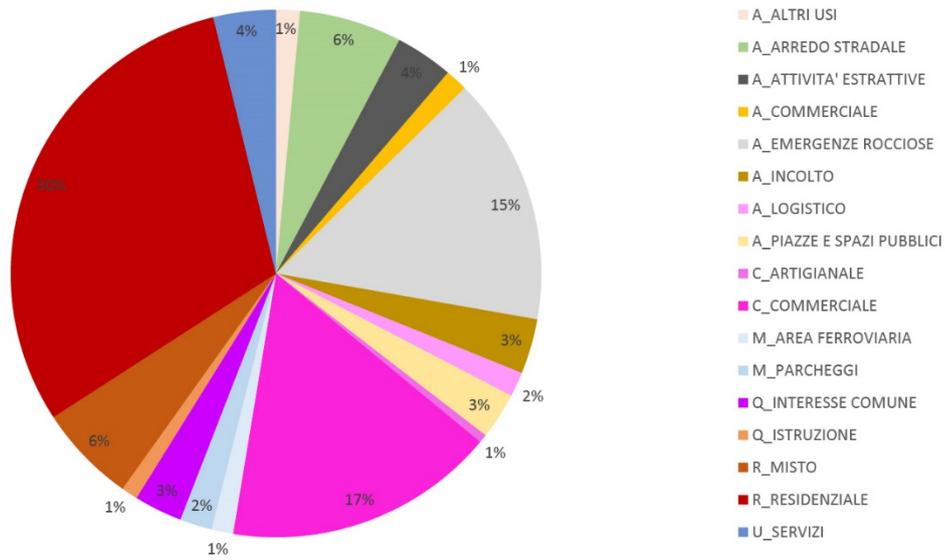


Figura 48: Distribuzione percentuale delle superfici degli usi del suolo del tessuto urbano per l'area oggetto di studio

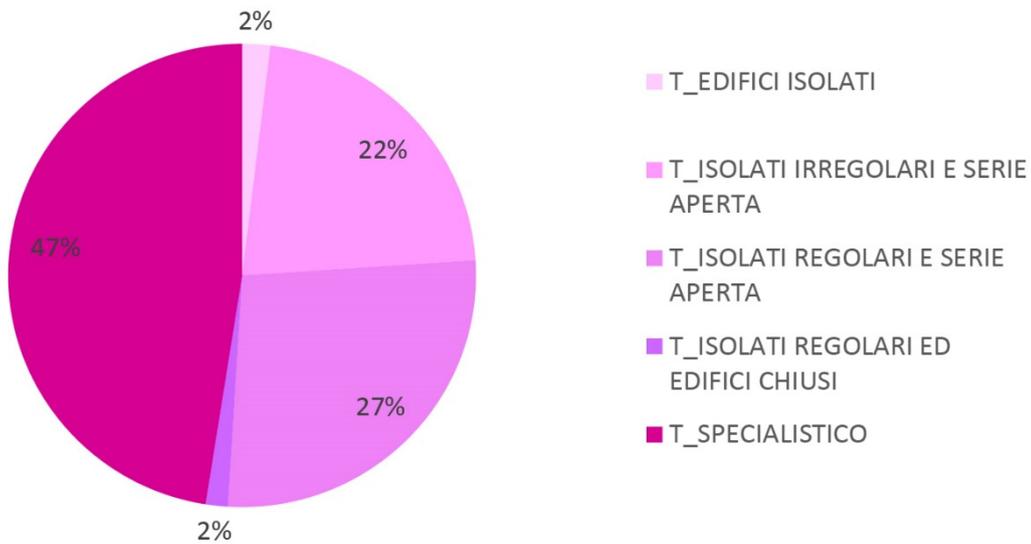


Figura 49: Distribuzione percentuale delle superfici per tipo morfologico di tessuto urbano per l'area oggetto di studio

4.2.1 Componente Analitica – Analisi della prestazione energetica specifica dei tre settori e globale per il quartiere

Ai fini dell'applicazione della prima componente del modello, i dati geometrici sono stati in parte ottenuti attraverso operazioni di rilievo diretto e in parte sono stati derivati da un database del Comune di Catania basato su un rilievo fotogrammetrico analitico del territorio comunale riportato dalla Siciltecnica Aerorilievi Srl. Sulla base dei risultati delle analisi descritte e dei dati ottenuti, a ciascun edificio sono stati assegnati i valori dei parametri termo-fisici (tabella 1, parte III), corrispondenti alle caratteristiche strutturali dello scheletro e dall'epoca di costruzione. Come esposto, i valori dei parametri sono stati ottenuti con riferimento alle tabelle allegate alle norme UNI-TS 11300 e al Progetto TABULA (Corrado et al., 2012). Le tabelle in allegato alle norme sono relative alle zone climatiche C/D o E/F, sono stati selezionati i valori per la zona C, ritenuti validi in quanto vengono selezionati esclusivamente i parametri di trasmittanza tipici delle costruzioni e in tal senso non si ha uno scostamento significativo tra edifici appartenenti alla zona C o B.

Sulla base dell'epoca di costruzione degli edifici e dell'evoluzione normativa nazionale sul risparmio energetico, sono stati assegnati i valori di trasmittanza per ciascun elemento di fabbrica negli edifici come riportato nella tabella 7.

Epoca di costruzione	Superfici vetrate [W m ⁻² K ⁻¹]	Chiusure verticali [W m ⁻² K ⁻¹]	Chiusure orizzontali base [W m ⁻² K ⁻¹]	Chiusure orizzontali copertura [W m ⁻² K ⁻¹]	Rendimento globale η _g
1924/1960	5	2	2	1,3	0,5
1961/1964	5	1,15	2	1,3	0,5
1965/1976	5,7	1,15	2	1,3	0,5
1976/1985	5,7	0,78	1,24	0,98	0,6
1986/1991	5,7	0,78	1,24	0,98	0,6
1992/2001	3,7	0,78	1,24	0,98	0,7
2002/2007	2,7	0,6	0,9	0,7	0,75

Tabella 7: Caratteristiche termiche degli elementi costruttivi degli edifici per la città di Catania

I valori di trasmittanza sono molto superiori ai requisiti di prestazione previsti dall'attuale normativa, indicando una mancanza di isolamento termico e una

bassa qualità nell'involucro edilizio. Anche l'impianto termico mostra valori che esprimono una bassa efficienza.

Poiché gli intervalli temporali ottenuti dall'analisi della crescita urbana, sulla base delle fonti cartografiche, sono più ampi, i valori dei parametri termici relativi agli edifici sono stati accorpati come riportato nella tabella 8:

Epoca di costruzione	Superfici vetrate [W m ⁻² K ⁻¹]	Chiusure verticali [W m ⁻² K ⁻¹]	Chiusure orizzontali base [W m ⁻² K ⁻¹]	Chiusure orizzontali copertura [W m ⁻² K ⁻¹]	Rendimento globale η _g
1924-1964	5	1,57	2	1,3	0,50
1964-1985	5,7	0,965	1,62	1,14	0,55
1985-2002	4,7	0,78	1,24	0,98	0,65
2002-2013	2,7	0,6	0,9	0,77	0,75

Tabella 8: Caratteristiche termiche degli elementi costruttivi degli edifici per l'area oggetto di studio

Vista la distribuzione degli edifici nelle fasce temporali 1925-1964 e 1964-1985 i valori di trasmittanza che caratterizzano gli edifici sono tra i più alti, dando un'indicazione di tipo previsionale di quella che può essere la performance energetica del quartiere, il quale è stato caratterizzato da un tasso di ristrutturazione nullo degli edifici. Nel computo energetico sono stati esclusi i garage e i magazzini in quanto non sono considerati riscaldati, come peraltro suggerito dalla norma UNI.

Allineandosi con i dati a livello nazionale forniti da ENEA (ENEA, 2013), secondo i quali il metano è il vettore energetico utilizzato per il riscaldamento domestico per il 70%, nella valutazione dei consumi energetici dello stato di fatto (che equivale allo SCENARIO ZERO) nella componente analitica, il riscaldamento degli edifici è ritenuto conseguibile attraverso l'utilizzo del metano. L'area oggetto di studio è dotata di rete di distribuzione del metano gestita dalla società ASEC Spa (Figure 50 e 51) e gli edifici sono attualmente in una fase di allaccio. La stima del fabbisogno di energia termica degli edifici condotta nel presente modello è rappresentativa della configurazione in cui tutti gli edifici siano connessi a tale rete di distribuzione, non essendo in grado di determinare il numero di edifici attualmente realmente allacciati.

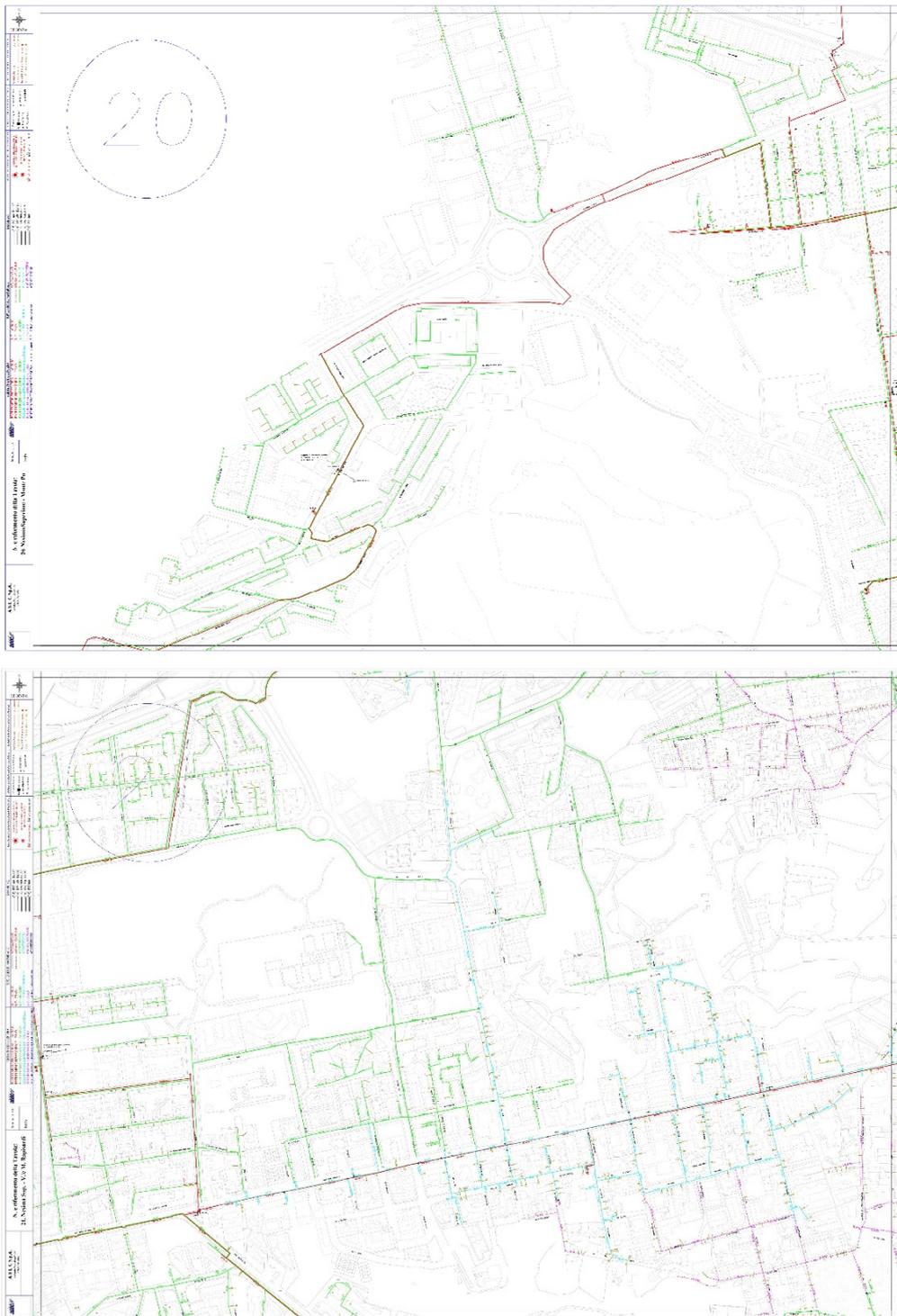


Figura 50 e Figura 51: Tavole della rete di distribuzione del Gas per l'area oggetto di studio
Fonte: ASEC SPA (2016)

Nella fase di calcolo della performance globale del quartiere, è conseguibile la scelta di considerare solo il 70% (dati ENEA) del totale del consumo energetico per riscaldamento da metano e la restante percentuale da energia elettrica. Tuttavia, in questo lavoro, come dichiarato, si è optato per la considerazione del 100% di utilizzo del metano come vettore energetico per il riscaldamento, scelta che è rappresentativa di una condizione prossima del quartiere.

L'indice di prestazione energetica è stato calcolato per ogni edificio applicando la procedura descritta nella parte terza del presente lavoro. Tale valore è stato mappato e dai risultati si evince che il 96% degli edifici ha valori molto elevati di Epi. In particolare, gli edifici più antichi, risalenti a prima del 1964, hanno un fabbisogno maggiore rispetto agli edifici più recenti. Gli edifici più antichi, costruiti tra il 1924 e il 1964, mostrano un rapporto di forma S/V compreso tra $0,3 \div 0,6$, con poche eccezioni in cui S/V è prossimo a $0,8$. L'indice di prestazione energetica è per lo più concentrato tra i valori 90 kWh/m^2 e 170 kWh/m^2 . Al contrario, gli edifici appartenenti al periodo 1965-1985 mostrano valori più ampi per il rapporto S/V , e l'indicatore di prestazione energetica è invece inferiore di circa il 30%. Infine, nel quartiere i pochi edifici recenti (costruiti dopo 1986), sono caratterizzati da fattori di forma più elevati ($S/V > 0,8$) e consumi energetici relativamente bassi, almeno se confrontati con gli altri edifici meno recenti aventi lo stesso rapporto di forma.

Quanto detto risulta evidente dall'elaborazione ottenuta mediante la costruzione di leggi lineari di correlazione tra i valori dell'indice di prestazione energetica e il fattore di forma per ogni categoria temporale individuata (Figura 52). Dunque, i valori più elevati di Epi si registrano per gli edifici appartenenti alle fasce temporali più remote (1924-1964 e 1965-1985). I coefficienti angolari delle rette si riducono progressivamente con le fasce temporali: la retta (a) [1924-1964] ha il coefficiente angolare più alto, mentre la retta (c) [1985-2002] mostra un coefficiente angolare inferiore rispetto a quello delle rette (a) e (b) [1964-1985]. I valori di Epi relativi a edifici più recenti (c) sono molto più bassi se confrontati con quelli delle altre due rette.

Nel complesso, dunque, il quartiere, essendo costituito principalmente da tessuti risalenti alla prima metà del XX secolo, mostra una performance energivora per ciò che concerne il fabbisogno termico degli edifici. La mappa energetica relativa al fabbisogno termico per riscaldamento degli edifici del quartiere è riportata in allegato.

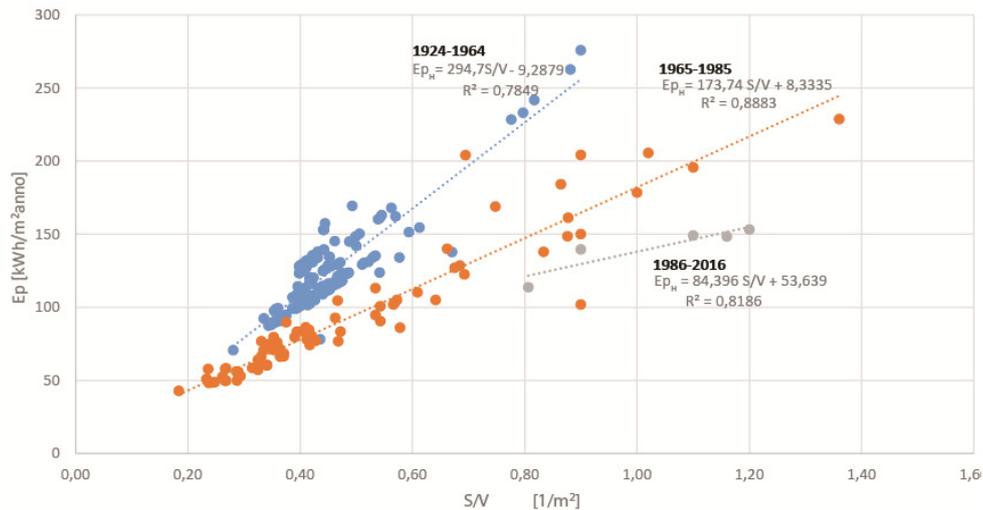


Figura 52: Leggi di correlazione tra il rapporto di forma S/V e la prestazione degli edifici (i punti nel grafico corrispondono agli edifici reali nell'area oggetto di studio)

Il consumo di energia elettrica è stato valutato correlando i dati per la popolazione relativi alle sezioni censuarie ricadenti all'interno della zona oggetto di studio, riportate nella tabella 8, con i dati forniti da Terna SPA.

Secondo i dati statistici elaborati dalla società italiana, l'ammontare del consumo elettrico nel 2013 per il settore residenziale per la Regione Sicilia è di 1.135 kWh ad abitante l'anno (Figura 53).

I dati censuari derivanti dall'ISTAT sono stati elaborati e processati in GIS in tabelle derivate attraverso relazioni di tipo *Join* e aggregazione tabellare in funzione delle sezioni censuarie. Sono stati, in tal modo, "sovrapposti" i *layer* spaziali degli edifici, contenenti i relativi dati geometrici, e delle sezioni censuarie, in modo da conoscere biunivocamente quanti e quali edifici ricadessero in ciascuna sezione censuaria.

Il numero di abitanti derivato dai dati statistici è stato confrontato con quello calcolato con la procedura prevista dall'art. 3 del Decreto Interministeriale

1444/68 (n° abitanti teorici pari a 25mq/ab). Tale procedura è stata sviluppata in GIS operando un'aggregazione dati (*Summarize*) rispetto al campo delle sezioni censuarie (figura 54), includendo nella tabella di output il dato relativo alla somma dei volumi degli edifici (Tabella 9).

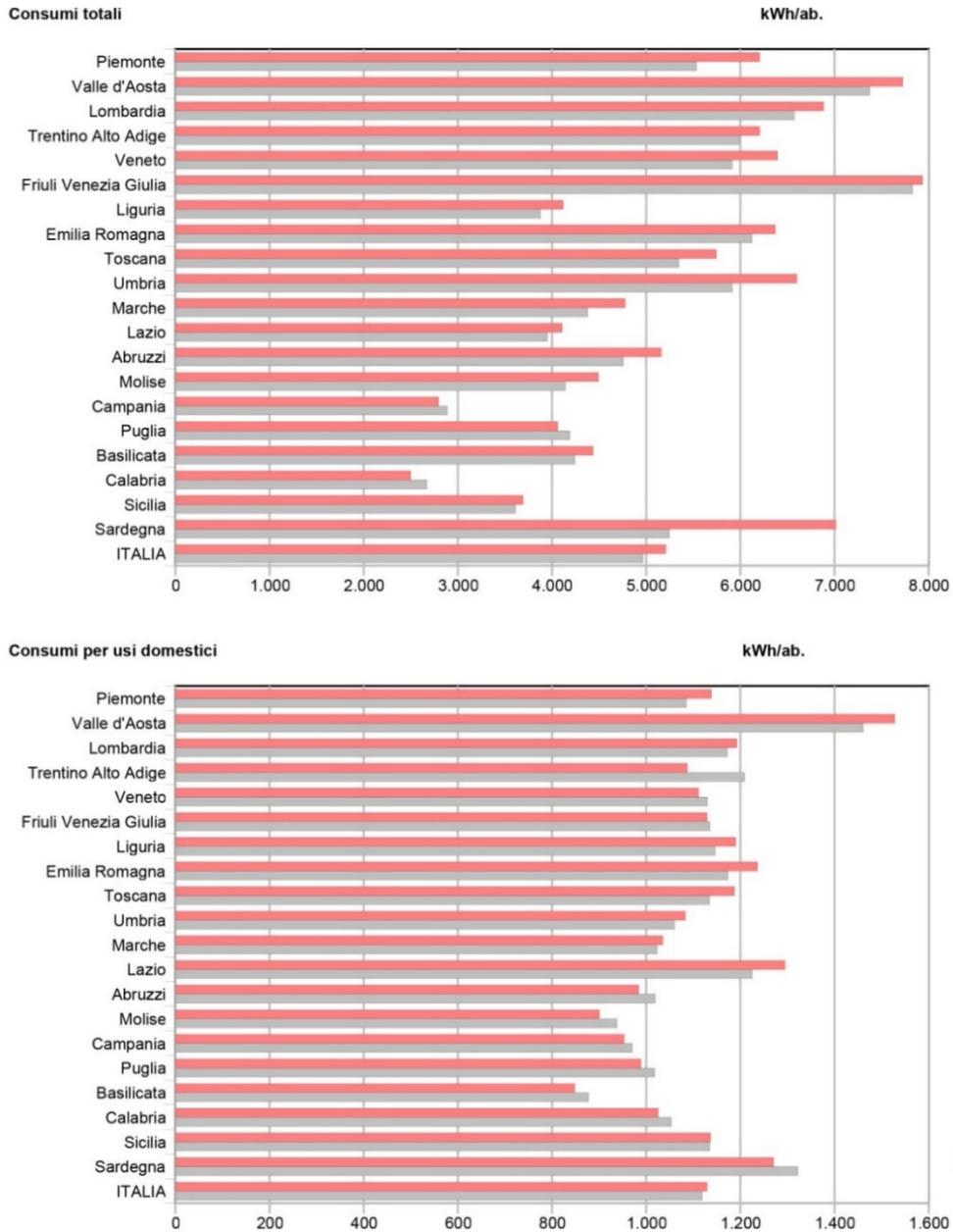


Figura 53: Consumi di energia elettrica per abitante in Italia per Regione 2012 e 2013
Fonte: Terna Spa (2013)

COD_ISTAT	COD_REG	PRO_COM	REGIONE	PROV	COMUNE	NSEZ	POPTOT
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2016	104
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2017	0
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2018	281
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2019	381
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2020	0
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2021	661
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2022	8
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2023	61
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2024	77
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2025	6
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2026	335
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2027	7
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2028	94
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2029	86
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2030	0
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2031	228
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2032	348
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2033	432
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2034	293
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2040	86
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2053	112
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2054	253
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2058	76
19087015	19	87015	Sicilia	CT	Catania	2059	56

Tabella 9: Dati ISTAT 2011

Sez2011	SUM_VOLUME	AB_TEORICI	Sez2011	SUM_VOLUME	AB_TEORICI
2016	10174,78	102	2028	11592,25	116
2017	11286,00	113	2029	13546,88	135
2018	51188,14	512	2030	0	0
2019	46843,62	468	2031	35733,36	357
2020	0	0	2032	42907,97	429
2021	90669,06	907	2033	45059,14	451
2022	3311,65	33	2034	34055,61	341
2023	20232,82	202	2053	19526,23	195
2024	25611,95	256	2054	42949,62	429
2025	1646,40	16	2058	10733,96	107
2026	25375,14	254	2059	12236,15	122
2027	424,86	4	2028	11592,25	116
TOTALE 5665 Abitanti					

Tabella 10: Numero di abitanti teorico secondo il D.M. 1444/68

La scelta di assumere nel computo energetico anche valori ricavati dai dati statistici deriva dal forte scostamento rispetto ai dati teorici, che può notarsi dal confronto dei risultati sugli abitanti (tabelle 9 e 10). I calcoli teorici restituiscono, infatti, dati sovrastimati rispetto a quelli statistici, che oltretutto rispecchiano le dinamiche demografiche che hanno interessato il quartiere negli ultimi anni.

Tuttavia, la procedura per il calcolo degli abitanti teorici si è rivelata molto importante nel caso di tre sezioni censuarie, n° 2017, 2020 e 2030, per le quali, come si evince dalla tabella, il dato relativo al numero di abitanti è nullo. Tale circostanza può verificarsi in una delle seguenti condizioni: il valore del dato rappresenta effettivamente l'assenza di abitanti per il territorio; non sono pervenuti all'istituto censimenti compilati; il dato non è stato valorizzato almeno una volta. Poiché solo le sezioni n°2020 e 2030 non presentano edifici residenziali al loro interno, per la sezione 2017 il dato statistico non è rappresentativo della situazione reale e dunque si è utilizzata la procedura per il calcolo degli abitanti teorici descritta.

La tabella 11 fornisce i valori definitivi assunti nel calcolo del consumo elettrico degli edifici.

COMUNE	NSEZ	POPTOT	COMUNE	NSEZ	POPTOT
Catania	2016	104	Catania	2028	94
Catania	2017	113	Catania	2029	86
Catania	2018	281	Catania	2030	0
Catania	2019	381	Catania	2031	228
Catania	2020	0	Catania	2032	348
Catania	2021	661	Catania	2033	432
Catania	2022	8	Catania	2034	293
Catania	2023	61	Catania	2040	86
Catania	2024	77	Catania	2053	112
Catania	2025	6	Catania	2054	253
Catania	2026	335	Catania	2058	76
Catania	2027	7	Catania	2059	56
TOTALE 4098 Abitanti					

Tabella 11: Dati definitivi di popolazione assunti nel calcolo

gli edifici con destinazione d'uso a capannone o magazzino, valutando dunque esclusivamente gli edifici residenziali, misti e commerciali, il risultato muta. In quest'ultimo caso, il consumo complessivo degli edifici è pari a 3.099 TEP l'anno, di cui il 33% è imputabile al consumo da energia elettrica. Il consumo complessivo di energia termica dovuto esclusivamente agli edifici è pari 2.070 TEP. Questi ultimi risultati sono stati confrontati con i dati relativi alla fornitura di gas di Catania. Per il 2013, la città ha manifestato un consumo di gas in termini di energia di circa 28.000 TEP che è rappresentativo di una parziale distribuzione di gas all'interno della città. I dati si riferiscono a circa 40.000 clienti (ASEC SPA, n.d.su <http://www.asec.ct.it/>), che corrispondono a circa 80.000 abitanti con una media di 0,35 TEP/ab contro un valore di 0,40 TEP/ab risultante da questo modello. La scissione tra la componente dei consumi dovuta a tessuti a prevalenza residenziale e con destinazione d'uso artigianale viene condotta sia ai fini di una comprensione più approfondita dello stato di fatto e delle cause relative dei consumi, sia in quanto risulta utile nella predisposizione degli scenari, in considerazione del fatto che le politiche di risparmio energetico e di governo del territorio sono differenziate per il settore domestico e per quello non residenziale.



Figura 55: Elaborazione grafica dei consumi complessivi dei singoli edifici inclusi nell'area oggetto di studio

Il modello sviluppato per l'analisi dei consumi energetici dovuti al settore trasporti per la città di Catania prevede un'offerta di trasporto così composta: la rete stradale è formata da 516 nodi e 1.122 archi, il trasporto pubblico consiste in 49 linee di autobus e 4 di BRT e 1 linea metropolitana (figura 56).

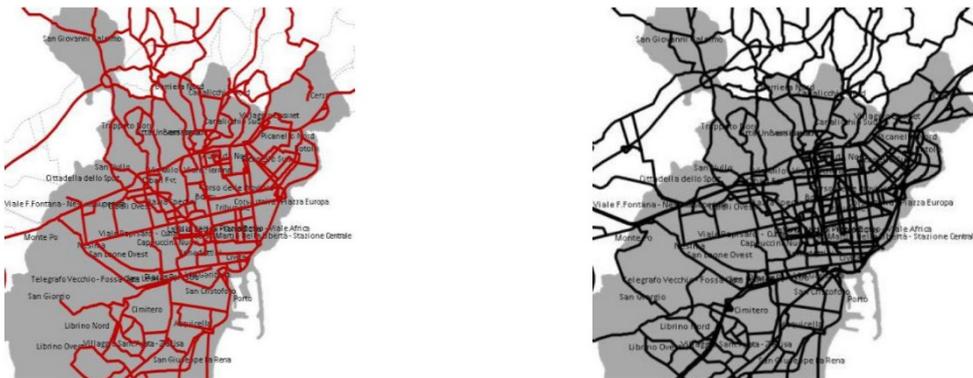


Figura 56: Rete del trasporto pubblico (in rosso) e viaria (in nero) della città di Catania
Fonte: Inturri et al. (2014)

Il calcolo dei percorsi più brevi per ogni coppia origine – destinazione è sviluppato mediante l'utilizzo del software PTV VISUM. Sono considerati solo gli spostamenti casa-lavoro assegnando una frequenza di 5 spostamenti a settimana per tutti i lavoratori. Le modalità di trasporto considerate sono: l'automobile privata, la metropolitana, gli autobus e i BRT e la mobilità lenta (pedonale e ciclabile). La selezione della modalità di trasporto avviene in base alla distanza tra residenza e luogo di lavoro, supponendo che per spostamenti inferiori a 500 m lo spostamento avvenga a piedi. Il consumo energetico unitario per ciascuna modalità di trasporto è assegnato secondo la letteratura, con particolare riferimento allo studio condotto da Kenworthy (2003). L'indicatore di *Transport Energy Dependence* è successivamente calcolato per l'intero territorio comunale per ciascuna zona di traffico, per la zona 29 il valore di TED è pari a 887 kWh/pax annui e 6,39 MJ/pax a settimana.

Attraverso la procedura descritta nel paragrafo precedente è stato stimato il consumo energetico dovuto all'illuminazione pubblica. Dal database del PAES del Comune di Catania sono state ottenute tutte le informazioni necessarie relative ai corpi illuminanti. Per ciascuno di essi, il database fornisce le coordinate geografiche, gli attributi di potenza e di stato di conservazione. Nell'area oggetto di studio, l'85% dell'illuminazione pubblica è formato da lampade a vapori di sodio ad alta pressione nel maggiore dei casi con una potenza pari a 250 W. Il 2% è costituito da lampade Mastercolour e il 13% da lampade a vapori di mercurio ad alta pressione. Per le lampade ad alta pressione, è molto ricorrente una potenza di 250 W. Il valore del *lighting Index* [II] varia da 0,3 kWh_(el)/m²anno a 16,15 kWh_(el)/m²anno con una media pari a 7,7 kWh_(el)/m²anno. La mappa dell'indicatore *lighting Index* è riportata in allegato.

Complessivamente il valore del consumo energetico globale calcolato per l'ambito oggetto di studio con l'equazione 17:

$$E_j = \sum_{(i=1)}^n (E_{(thg)})_j + \sum_{(i=1)}^n (E_{(elg)})_j + (O_j) + TED_j$$

è pari a $E_j = 4369,25$ TEP/anno.

Per il quartiere, i consumi del settore edilizio sono pari a 4170 TEP l'anno (oltre il 90%), il settore dell'illuminazione pubblica consuma 119,75 TEP annui e il valore di TED è di circa 80 TEP l'anno (entrambi i settori circa il 7%).

Dunque, il settore con maggiore incidenza è quello degli edifici, seguito da quelli dei trasporti e dell'illuminazione pubblica (Figura 57). Si sottolinea ancora una volta che il contributo dei trasporti è parziale, essendo rappresentativo di una porzione dell'effettivo consumo energetico per il settore (pendolarismo casa-lavoro). I valori risultanti sono stati confrontati con la media nazionale relativa ai consumi pro capite e ad i consumi medi nelle aree urbane. Nel primo caso il valore ottenuto dal modello risulta inferiore (circa 1 TEP/abitante) a quello del consumo medio nazionale globale è pari a 1,95 TEP/abitante (ENEA, 2015). Tale scostamento è da attribuire a due ordini di fattori. In prima istanza, va detto che il valore medio nazionale risulta appiattare le ampie differenze che si

registrano a livello locale, determinate da fattori reddituali e climatici (De Pascali, 2015). Relativamente all'energia termica, ad esempio, i dati ISTAT relativi ai consumi per il riscaldamento nelle principali città italiane mostrano un campo di variazione molto ampio, dell'ordine di grandezza di 1 a 8, con un *range* di consumo di metano che varia da 100 m³ ad abitante l'anno a 900 m³ ad abitante l'anno. L'energia elettrica mostra una variazione territoriale meno ampia, con un rapporto dell'ordine di 1 a 1,4 e un *range* di consumo che varia da 900 kWh ad abitante l'anno a 1.300 kWh ad abitante l'anno. I dati utilizzati per i consumi di energia elettrica si allineano al valore medio nazionale, pari a 1.200 kWh/ab anno. In secondo luogo, la variazione è dipesa dalla parzialità di valutazione di questo studio confinato allo studio dei tre settori, per quanto tra i maggiori responsabili dei consumi energetici, e alle relative semplificazioni e approssimazioni apportate nella metodologia. In particolar modo, queste sono applicate nel settore dei trasporti (precedentemente descritto) e nel settore degli edifici, in cui oltre le semplificazioni esposte nella Parte III, viene trascurato il contributo energetico della produzione di acqua calda sanitaria, il cui valor medio si attesta intorno ai 20 ÷ 25 kWh/m² l'anno. In ambito urbano, inoltre, si riscontrano grandi differenze sia tra le città, sia all'interno di queste, in particolare nelle grandi aree metropolitane. La densità media di consumo sull'intero territorio italiano è stimata essere pari a 600 TEP per kilometro quadrato l'anno. Occorre tenere presente che tale valore è "spalmato" statisticamente su tutto il territorio nazionale durante un anno, appiattendolo le differenze tra territorio urbanizzato e non urbanizzato che, invece, sono molto ampie. Ciò è evidente se si prendono in considerazione la città di Roma, la quale presenta una densità media di consumo pari a circa 12.000 TEP/km² anno, pari a circa 20 volte il consumo medio nazionale, e la città di Milano in cui si registrano valori di consumo pari a circa 18.000 TEP/km² anno, 30 volte superiori rispetto alla media (De Pascali, 2015), seppur peculiari per le loro caratteristiche. L'ambito di studio, dalla procedura di calcolo descritta, mostra un valore pari a circa 4.000 TEP anno e circa 6.500 TEP/km² anno nel totale, valori convergenti con i dati registrati, essendo compresi nel *range* [600 ÷ 18.000] TEP/km² anno, e considerabili

rappresentativi di città italiane di medie dimensioni, essendo 6-10 volte superiore alla media nazionale e 4 volte inferiore alla media delle due metropoli italiane.

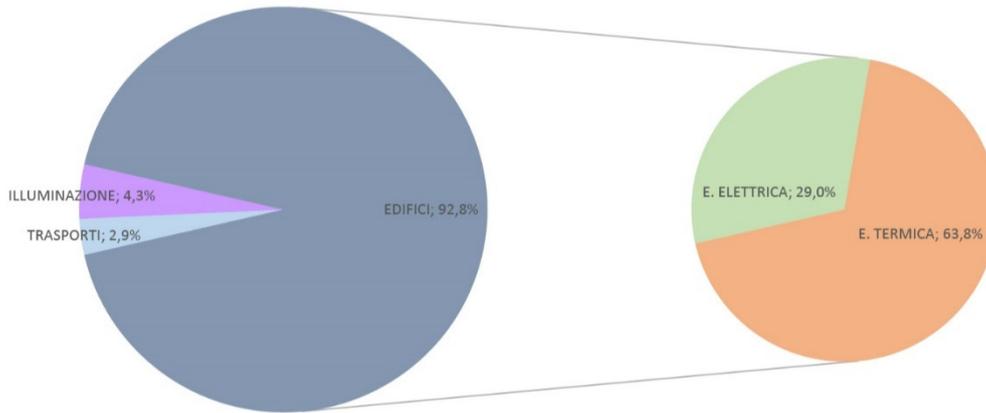


Figura 57: Contributi per settore del consumo energetico complessivo dell'area oggetto di studio

Nel quadro della terza componente costitutiva del modello – divulgativa-di indirizzo- è stato sviluppato un *tool* per favorire la divulgazione dei risultati ottenuti dalla fase analitica e la relativa condivisione online. Il *tool* consiste in una interfaccia grafica che mostra i contenuti relativi ai consumi degli “elementi” del quartiere analizzati nel modello, cliccando sull’oggetto sulla mappa. Attraverso l’inserimento in rete, tale *tool* consente un’agevole diffusione dei risultati, informando l’utenza sia sullo stato di fatto, sia su possibili interventi di miglioramento. Tali finestre, infatti, permettono agli utenti di accedere a contenuti formattati relativi all’oggetto individuato, che possono fare parte del dato informativo all’interno del database o rimandare a contenuti esterni, compresi collegamenti a pagine web e immagini. Il *tool* è stato sviluppato su ARCMAP, come finestre di POP UP, che rimandano, in questa fase esclusivamente a una visualizzazione dei campi presenti nel database, costruito durante la procedura di calcolo del modello (Figura 58). In particolare per il settore degli edifici la finestra mostra una tabella contenente i dati identificativi dell’oggetto (edificio), i dati geometrici e urbanistici, l’indice di prestazione energetica e la relativa classe energetica e il consumo elettrico. Per i consumi derivanti dall’illuminazione pubblica, cliccando su un oggetto

appartenente al *layer* degli spazi pubblici, la finestra mostra i dati relativi alla nomenclatura, alla superficie e ai consumi, e i valori dell'indicatore II. Contenuti e funzionalità del *tool* possono essere incrementati, associando, ad esempio, i dati risultanti dagli scenari.

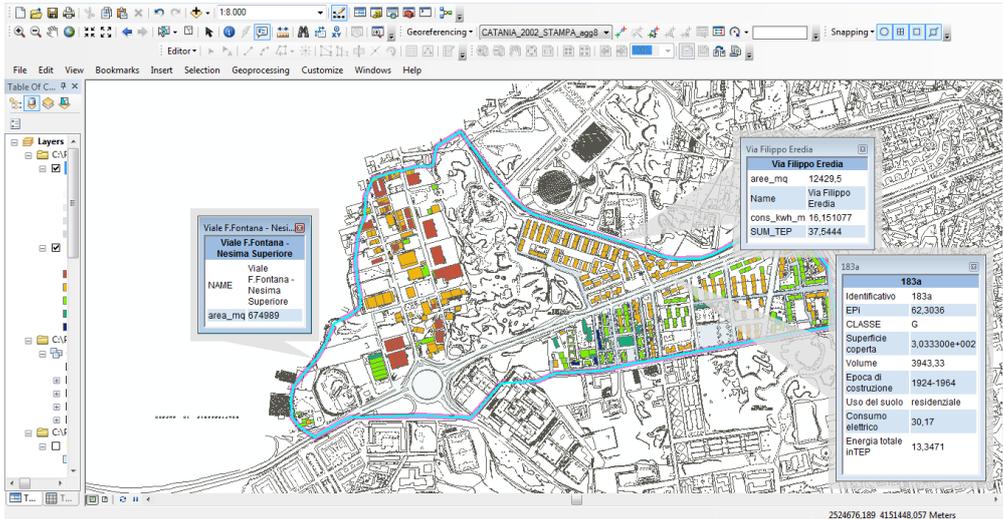


Figura 58: Screenshot del progetto in cui sono attive le finestre di POPUP che visualizzano i contenuti degli oggetti, appartenenti a layer diversi

La procedura di calcolo, come precedentemente descritto, è stata sviluppata su fogli di calcolo e su GIS, con sporadiche elaborazioni in CAD finalizzate all'interfaccia GIS. In particolare, nel caso del settore degli edifici, sono stati redatti 23 fogli di calcolo concatenati per la definizione dell'Indice di prestazione energetica degli edifici, 2 fogli di calcolo per l'energia elettrica. Il file di progetto su GIS è costituito da una serie di *layer* rappresentativa di un processo semplificato organizzato della realtà. I *layer* corrispondono ai tre settori individuati e a questi vengono aggiunti i *layer* relativi alle zone di traffico, alle sezioni censuarie e alla cartografia. I dati relativi agli edifici, ai consumi e i risultati sono stati inseriti nelle tabelle attributi dello *shapefile* relativo agli edifici così da costituire un database completo per illustrare lo stato di fatto, per creare nuove informazioni a partire dai dati esistenti e effettuare operazioni per la predisposizione degli scenari futuri. Entrambe le procedure di mappatura relative agli edifici sono state ottenute attraverso una precedente elaborazione dati con *query* per attributi. La procedura relativa al settore

dell'illuminazione è stata avviata selezionando dal database relativo all'illuminazione del PAES di Catania, i corpi illuminanti che ricadessero all'interno dell'area di studio, mediante il confronto delle coordinate geografiche. Tali dati sono stati inseriti nel database di progetto, calcolando la potenza complessiva delle lampade presenti in ogni strada analizzata. In tal modo ogni poligono rappresentativo di una strada (o spazio pubblico) ha un attributo di superficie e di consumo elettrico, e l'indicatore // che lo caratterizza. Nelle figure seguenti vengono riportati alcuni stralci della procedura descritta applicata al caso di Catania (Figura 59 e 60).

name	EP	CLASSE	Superficie	volume_ed	latosa_est	latob_nord	np_c	altezza_to	Anno di co	uso del su	sezconsuar	C.U	Etotot	el_perc	subile	COMPL_SISTV	COMPL_TEP	ELTEP	E'OTTEP
90	39,276	F	63,460	761,52	16,70	3,80	4	12	1964-1985	residenziale	2021	18,21	72,52	25,11	253,84	9969,70	0,857	0,864	1,722
183c	62,304	G	303,330	3943,33	10,00	30,33	4	13	1924-1964	residenziale	2034	30,17	115,37	26,15	1213,32	7594,20	6,501	6,846	13,347
183b	56,364	G	303,330	3943,33	10,00	30,33	4	13	1924-1964	residenziale	2034	30,17	107,75	26,15	1213,32	6887,40	5,803	6,846	12,727
183a	62,304	G	303,330	3943,33	10,00	30,33	4	13	1924-1964	residenziale	2034	30,17	115,37	26,15	1213,32	7594,20	6,501	6,846	13,347
118b	74,712	G	230,650	2757,15	25,07	10,00	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	137,97	25,95	751,95	56179,10	4,831	5,035	9,866
118a	77,258	G	230,650	2757,15	25,07	10,00	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	141,45	25,31	751,95	58094,20	4,996	5,035	10,031
117a	77,253	G	230,650	2758,80	25,08	10,00	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	141,44	25,31	752,40	58174,30	4,999	5,038	10,036
117b	74,707	G	230,650	2758,80	25,08	10,00	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	137,96	25,95	752,40	56709,60	4,834	5,038	9,877
116a	74,682	G	251,700	2768,70	25,17	10,00	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	137,93	25,95	755,10	58932,80	4,850	5,056	9,905
116b	77,220	G	251,700	2768,70	25,17	10,00	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	141,40	25,32	755,10	58809,20	5,015	5,056	10,070
114b	74,703	G	230,650	2760,63	25,10	10,00	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	137,96	25,95	752,40	56740,70	4,847	5,041	9,877
134a	74,276	G	187,000	2057,00	17,00	11,00	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	137,35	26,07	561,80	41541,00	3,381	3,736	7,337
136a	71,998	G	276,650	3043,15	11,00	25,15	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	134,26	26,67	829,95	59754,80	5,139	5,557	10,696
136b	71,998	G	276,650	3043,15	11,00	25,15	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	134,26	26,67	829,95	59754,80	5,139	5,557	10,696
137b	69,483	G	232,310	2555,30	19,12	12,15	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	118,62	19,90	696,93	48424,80	4,164	3,076	7,241
130a	69,360	G	232,780	2560,54	19,08	12,10	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	118,45	19,92	698,34	48437,00	4,168	3,082	7,248
128a	72,323	G	230,440	2534,89	19,05	12,10	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	123,91	19,95	691,32	50710,70	4,351	3,051	7,412
128b	69,651	G	230,440	2534,89	19,05	12,10	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	118,86	19,85	691,32	48158,40	4,142	3,051	7,193
126a	71,916	G	210,650	2319,50	18,40	11,46	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	121,95	19,35	632,58	45492,90	3,912	2,792	6,704
126b	75,553	G	210,650	2319,50	18,40	11,46	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	126,92	18,59	632,58	47793,30	4,110	2,792	6,502
124a	75,553	G	210,650	2319,50	18,40	11,46	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	126,92	18,59	632,58	47793,30	4,110	2,792	6,502
124b	71,916	G	210,650	2319,50	18,40	11,46	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	121,95	19,35	632,58	45492,90	3,912	2,792	6,704
137a	74,280	G	201,700	2218,65	18,85	10,70	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	137,38	26,06	605,10	44947,10	3,865	4,051	7,917
137a	77,666	G	201,700	2218,65	18,85	10,70	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	142,01	25,11	605,10	46995,70	4,042	4,051	8,093
144b	61,973	G	104,490	1950,54	12,70	12,33	4	13	1924-1964	residenziale	2018	23,60	108,53	21,78	601,77	37950,60	3,207	2,638	5,863
144a	57,304	G	104,490	1950,54	12,70	12,33	4	13	1924-1964	residenziale	2018	23,60	101,90	21,15	601,77	34882,90	2,965	2,654	5,621
132a	73,176	G	232,310	2555,30	19,12	12,15	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	123,67	19,08	696,93	50998,20	4,386	3,076	7,462
127a	75,613	G	232,050	2552,55	19,50	11,90	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	136,47	26,23	696,15	51245,80	4,407	4,661	9,068
126c	74,276	G	227,760	2505,36	19,50	11,68	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	137,30	26,07	683,28	50716,80	4,367	4,575	8,946
130a	70,696	G	227,760	2505,36	19,50	11,68	3	11	1924-1964	residenziale	2019	35,80	132,48	27,02	683,28	48305,30	4,154	4,575	8,725
145a	79,512	G	185,560	2085,18	18,53	10,23	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	132,37	17,83	568,68	45234,10	3,890	2,510	6,400
143b	76,270	G	185,560	2085,18	18,53	10,23	3	11	1924-1964	residenziale	2018	23,60	127,84	18,46	568,68	43350,20	3,728	2,510	6,238
27	97,233	G	669,700	3348,48	32,78	20,43	1	5	1964-1985	non residenziale	2021	76,87	161,33	0,00	669,70	65117,20	5,600	3,385	8,965

Figura 59: Database elaborato per il settore edifici

Layer	area_mq	Name	OID	Cnt_Ubicaz	Sum_Potenz	Sum_Consum	cons_kwh_m	nlampade	SUM	SUM_TEP
stradeD	1283,440	Via Pitagora	24	12	3,000	10950	9	1	10950	2
piazza	1371,870	Piazza Maresciallo Vito Nicolosi	1	5	1,250	4563	5	2	6844	1
piazza	6735,280	Piazza San Pio X	2	44	5,500	20075	4	2	30113	6
stradeE	3350,300	Via Padre Angelo Secchi	22	13	2,650	9673	12	4	38690	7
stradeD	53072,300	Viale Lorenzo Bolano	26	37	9,250	33763	1	2	67525	13
stradeE	1119,400	Via Ibn Hamdis	15	5	0,750	2738	10	4	10950	2
stradeE	1582,540	Via Riccardo Felici	25	6	1,500	5475	14	4	21900	4
stradeE	1863,260	Via Guglielmo Mengarini	14	6	1,500	5475	12	4	21900	4
stradeE	2067,000	Via Antonino Mirone	4	7	1,750	6388	3	1	6388	1
stradeE	3153,430	Via Nicola Dato	21	14	3,500	12775	4	1	12775	2
stradeE	4999,510	Via Francesco Durante	11	11	2,750	10038	2	1	10038	2
stradeE	2478,790	Via Antonio Pacinotti	5	16	4,000	14600	6	1	14600	3
stradeE	1014,790	Via Paolo Orsi	23	17	4,250	15513	15	1	15513	3
stradeE	265,112	Via A. Bassoni	3	1	0,250	913	3	1	913	0
stradeD	2550,650	Via Leopoldo Nobili	16	6	1,500	5475	9	4	21900	4
stradeE	1160,280	Via Luigi Schiapparelli	18	5	1,250	4563	6	4	18250	3
stradeD	1044,860	Via Emanuele Fischella	7	3	0,750	2738	1	1	2738	1
stradeF	660,145	Via Galileo Galilei	12	11	2,750	10038	15	1	10038	2
stradeF	880,831	Via Antonio Salinas	6	12	3,000	10950	12	1	10950	2
stradeE	12429,500	Via Filippo Eredia	10	55	13,750	50188	16	4	200750	38
stradeF	1813,730	Via Ercole Marelli	8	8	2,000	7300	16	4	29200	5
stradeE	4577,660	Via Lineri	17	15	2,250	8213	2	1	8213	2
stradeE	5539,430	Via Monte Palma	20	20	3,000	10950	2	1	10950	2
stradeF	728,829	Via Mezzo Campo	19	3	0,450	1643	2	1	1643	0
stradeE	4150,480	Via Giovanni Mercurio	13	11	2,750	10038	10	4	40150	8
stradeD	53072,300	Via Felice Fontana	9	9	2,250	8213	0	2	16425	3

Figura 60: Database elaborato per il settore dell'illuminazione pubblica

4.2.2 Componente Valutativo Progettuale – Configurazione degli scenari

Determinate le caratteristiche dei consumi dello stato di fatto e individuate le categorie di cambiamento dei settori, è stata condotta la configurazione di diversi scenari urbani, sia in termini complessivi sia specifici per settore.

Il modello permette di calcolare il consumo di energia e di sviluppare la mappatura energetica delle aree urbane, per ogni scenario configurato, intervenendo su parametri selezionati che dipendono dalla combinazione tra le categorie di cambiamento e i settori stessi. Le condizioni e le misure adottate per l'area oggetto di studio per ogni categoria di cambiamento sono schematizzate nella figura seguente (Figura 61). La figura descrive anche le caratteristiche e le condizioni di ciascun settore alla base di ciascuno scenario.

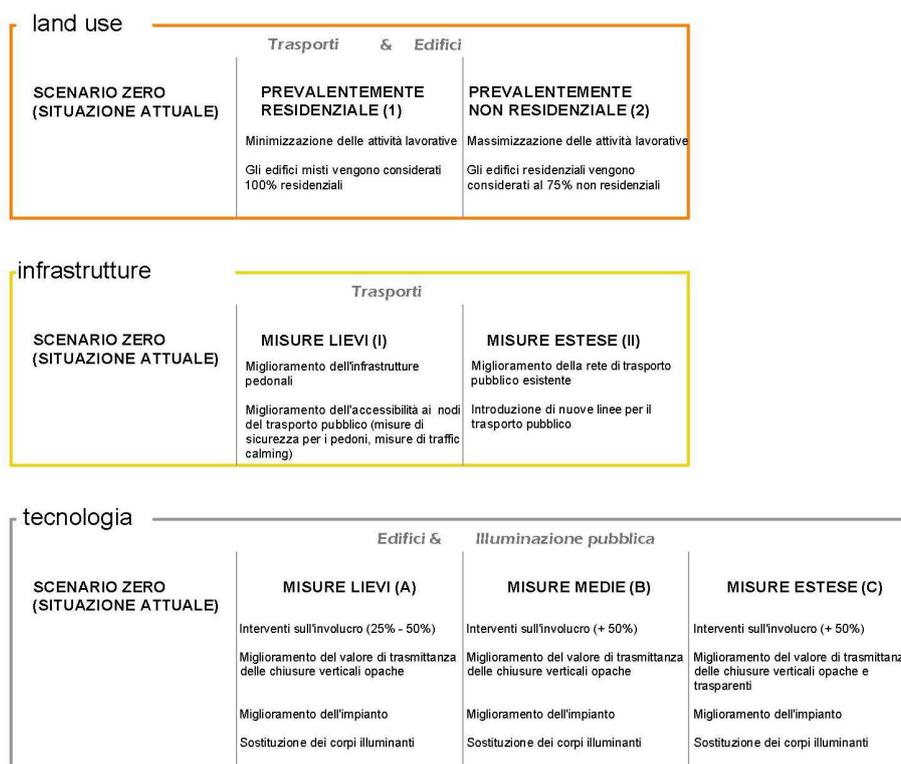


Figura 61: Schema sintetico delle condizioni imposte per ciascuna categoria di cambiamento nei tre settori

Sono stati sviluppati i calcoli necessari ad ottenere i valori dei parametri per i diversi set di misure previsti per le categorie di cambiamento da inserire nella procedura per la stima del consumo energetico degli scenari.

Uso del suolo:

Nel caso della categoria di uso del suolo, le due condizioni estreme *A prevalenza residenziale (1)* e *A prevalenza non residenziale (2)* identificate sono state sviluppate con la procedura di calcolo descritta e i risultati sono riassunti nella tabella successiva (Tabella 12).

	A prevalenza Residenziale (1)	A prevalenza Non Residenziale (2)
N. abitazioni	294	102
N. abitanti	4168	1450
N. posti lavoro	85	1231
N. lavoratori	916	319

Tabella 12: Sintesi dei risultati per le condizioni estreme di uso del suolo.

Nell'ipotesi (1), gli edifici misti sono stati considerati pienamente residenziali, al fine di minimizzare le attività lavorative. Gli edifici artigianali sono stati esclusi dal calcolo. Con questo intervento è stata ottenuta una riduzione del 70% dei posti di lavoro (204) per un totale di 85.

La tabella 13 mostra il numero di edifici considerati nella trasformazione verso l'uso a prevalenza non residenziale (2) per ogni sezione censuaria:

Sezione censuaria	Edifici						
2016	6	2026	11	2031	16	2034	16
2017	4	2028	5	2032	18	2054	22
2018	22	2029	6	2033	21	2058	5
2019	18	2021	41	2023	22		

Tabella 13: numero di edifici trasformati per ogni sezione censuaria

Gli edifici residenziali valutati come idonei alla trasformazione sono stati considerati misti, supponendo che circa il 75% degli edifici cambi l'uso finale, valore che varia da 2 a 4 elevazioni sulla base delle zone censuarie. Per gli edifici con destinazione d'uso mista è stata variata la percentuale di non residenziale.

Con questo intervento nell'area oggetto di studio, si ottiene un incremento del 225% (942) posti di lavoro, per un totale di 1231.

Infrastrutture:

Il primo set di misure (I), che rispecchia scelte con esiti a breve termine, consiste in un miglioramento diffuso delle condizioni di accessibilità al sistema di trasporto pubblico su gomma e di sicurezza per i pedoni, intervenendo sugli elementi che influenzano l'interazione con il traffico, le condizioni di benessere psicologico, quali l'illuminazione e la visibilità, e fisiologico, quale la protezione dagli agenti atmosferici; e le caratteristiche fisiche dei luoghi, quale il dimensionamento dell'area di attesa.

Il secondo gruppo (II), che deriva da scelte a lungo termine, prevede l'inserimento del sistema *Bus Rapid Transit* (4 linee), veloce, su sede propria protetta da cordolo e con capolinea nei parcheggi scambiatori e l'ampliamento della linea metropolitana.

L'indicatore di dipendenza energetica TED è stato calcolato per entrambe le circostanze descritte, i cui valori sono riportati in tabella 14.

	Stato di fatto	Breve termine (I)	Lungo Termine (II)
TED [MJ/pax week]	6,39	5,25	3,07
TED [kWh/y]	797862,9	653472,2	381944,4

Tabella 14: Sintesi dei risultati per il settore dei trasporti (TED) per le condizioni relative alle infrastrutture.

Tecnologia:

Per il settore degli edifici residenziali l'incremento delle prestazioni energetiche deriva dal miglioramento delle caratteristiche del sistema edificio-impianto. Si è, di conseguenza, intervenuti sui valori di trasmittanza U (espressa in W/m^2K) degli elementi di fabbrica degli edifici, combinando gli interventi su ciascun elemento nelle tre ipotesi corrispondenti ad un crescente livello di miglioramento energetico conseguibile. Attraverso l'imposizione delle caratteristiche prestazionali è possibile valutare il grado di risparmio energetico raggiungibile mediante una ristrutturazione ordinaria dell'involucro edilizio e del sistema di riscaldamento. I valori selezionati per i parametri hanno rispettato il valore di trasmittanza imposto dalle recenti normative italiane (Decreto 26/5/2015) in caso di ristrutturazione nella zona climatica B. In particolare, sono state imposte le seguenti soglie massime: $U = 3,00 W/m^2K$

per le superfici finestrate, $U = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le chiusure orizzontali di base, $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le chiusure orizzontali di copertura. Attraverso il rinnovamento dell'involucro, oltre agli obiettivi energetici possono essere migliorati anche altri aspetti relativi agli edifici, quali l'isolamento acustico e la sicurezza antincendio, e al quartiere, quali una riduzione dell'effetto isola di calore. I valori di trasmittanza previsti possono essere ottenuti aggiungendo un adeguato spessore di materiale isolante, quale lana di vetro o lana di roccia ($\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$), che varia in base ai valori di partenza di trasmittanza. Gli spessori massimi, adottati per gli edifici più vecchi, sono pari a 80 millimetri per le chiusure verticali e orizzontali di base, e a 100 mm per le chiusure orizzontali di copertura. I valori di trasmittanza per le superfici vetrate vengono raggiunti attraverso una sostituzione di telai in alluminio a taglio termico e di doppi vetri basso emissivi. Inoltre con gli interventi suddetti i ponti termici si riducono sensibilmente, per cui l'incremento delle perdite di trasmissione viene ridotto da 1,20 a 1,05. Infine attraverso un miglioramento dell'impianto, è possibile ottenere un'efficienza globale (η_g) pari a 0,77. La tabella seguente (tabella 15) mostra i valori U degli elementi costruttivi che possono essere raggiunti adottando le strategie precedentemente menzionate e la relativa combinazione nei set di misure previsti.

	Stato di fatto	Lievi (A)	Medie (B)	Estese (C)
Chiusure verticali	0,6÷1,57	0,9	0,39	0,39
Chiusure Orizzontali di copertura	0,7÷1,3	0,7÷1,3	0,7÷1,3	0,30
Chiusure orizzontali di base	0,9÷2,0	0,9÷2,0	0,9÷2,0	0,39
Superfici Vetrate	2,7÷5,0	2,7÷5,0	2,80	2,80

Tabella 15: Valori di trasmittanza $U \text{ [W/m}^2\text{K]}$ assunti per i set di misure selezionati per la condizione di cambiamento tecnologia per il settore degli edifici.

Oltre agli interventi descritti che contribuiscono al miglioramento delle prestazioni termiche degli edifici, sono state considerate misure finalizzate alla riduzione dei consumi elettrici. Viene considerata una sostituzione delle

lampade esistenti con la tecnologia a LED secondo le diverse destinazioni d'uso degli edifici. Per l'area oggetto di studio, questa condizione induce una riduzione del 6% del consumo di energia elettrica annuo, valore ottenuto mediante la procedura descritta alla Parte III del presente lavoro.

L'attuazione degli interventi descritti conduce a una sensibile riduzione del contributo degli edifici residenziali nei consumi. In particolare, il set di misure estensivo determina un risparmio di oltre il 60%, che arriva ad oltre l'80% se si considera solo la componente termica. I risultati sono riportati in tabella 16 e in figura 62.

	Stato di fatto	Lievi (A)	Medie (B)	Estese (C)
E. Termica [TEP/y]	2070	891,5	712,0	224,0
E. Elettrica [TEP/y]	1029,0	964,2	964,2	964,2
Riduzione %	0%	40%	41,3%	61,6%

Tabella 16: Sintesi dei risultati per il settore degli edifici in TEP per la condizione relativa alla tecnologia

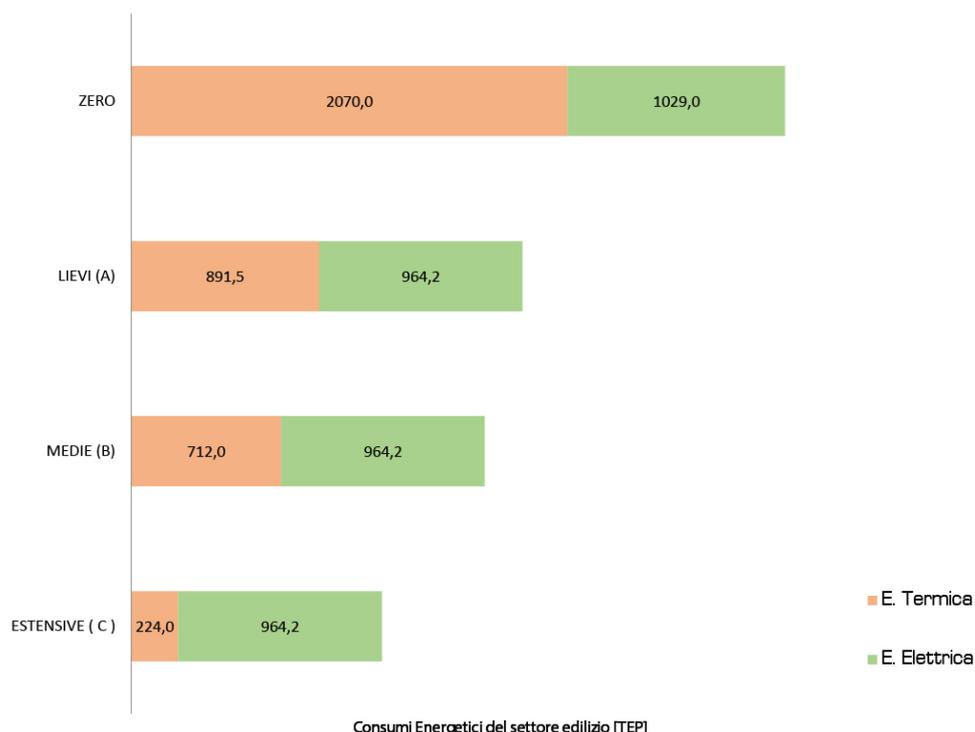


Figura 62: Risultato sul settore degli edifici dell'attuazione dei set di misure afferenti alla categoria di cambiamento "Tecnologia"

In figura 63 viene riportato il consumo complessivo del quartiere dovuto al settore degli edifici per epoca di costruzione. Come anticipato, una riduzione

così intensa viene giustificata anche dall'elevata percentuale di edifici risalenti a più di 50 anni fa, che mostrano un enorme potenziale di miglioramento, a contrario di quelli più recenti che danno un contributo molto più basso.

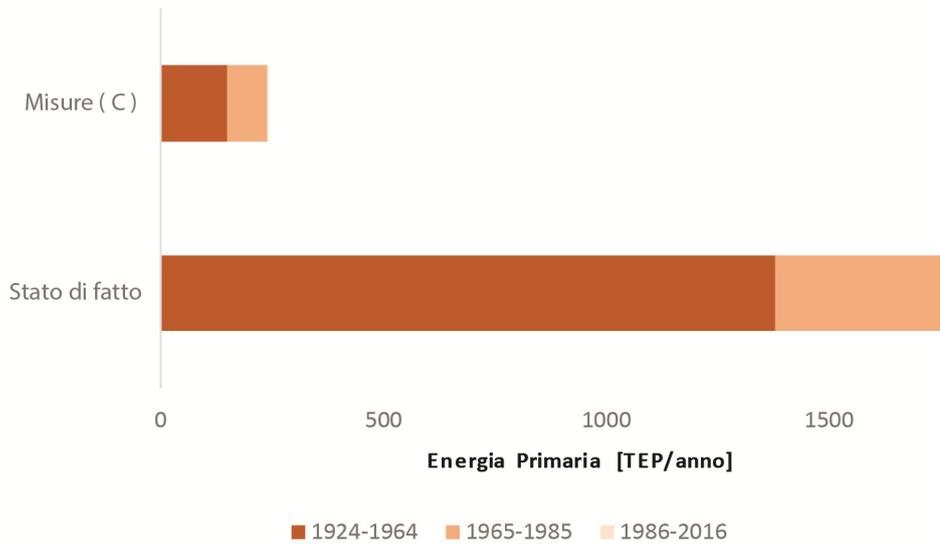


Figura 63: Consumo globale di energia primaria degli edifici del quartiere (prima e dopo il set di interventi C) suddivisi per epoca di costruzione

Le leggi lineari di correlazione tra i valori dell'indice di prestazione energetica e il fattore di forma per ogni categoria temporale costruite per lo stato di fatto, sono state elaborate allo stesso modo nel caso del set di misure estese (Figura 64). La figura mostra come le rette abbassino notevolmente il relativo coefficiente lineare, in quanto attraverso tali misure, si interviene esclusivamente sul parametro E_p , lasciando costante il fattore di forma, variabile nel caso di misure che intervengano, invece, sulla morfologia. Questo strumento, come accennato, permette di fare delle previsioni rapide sul fabbisogno energetico di un quartiere sia allo stato di fatto sia per ipotetici scenari futuri, attraverso l'uso delle equazioni delle rette, basandosi esclusivamente su dati sintetici relativi all'epoca di costruzione, al volume riscaldato e all'involucro edilizio.

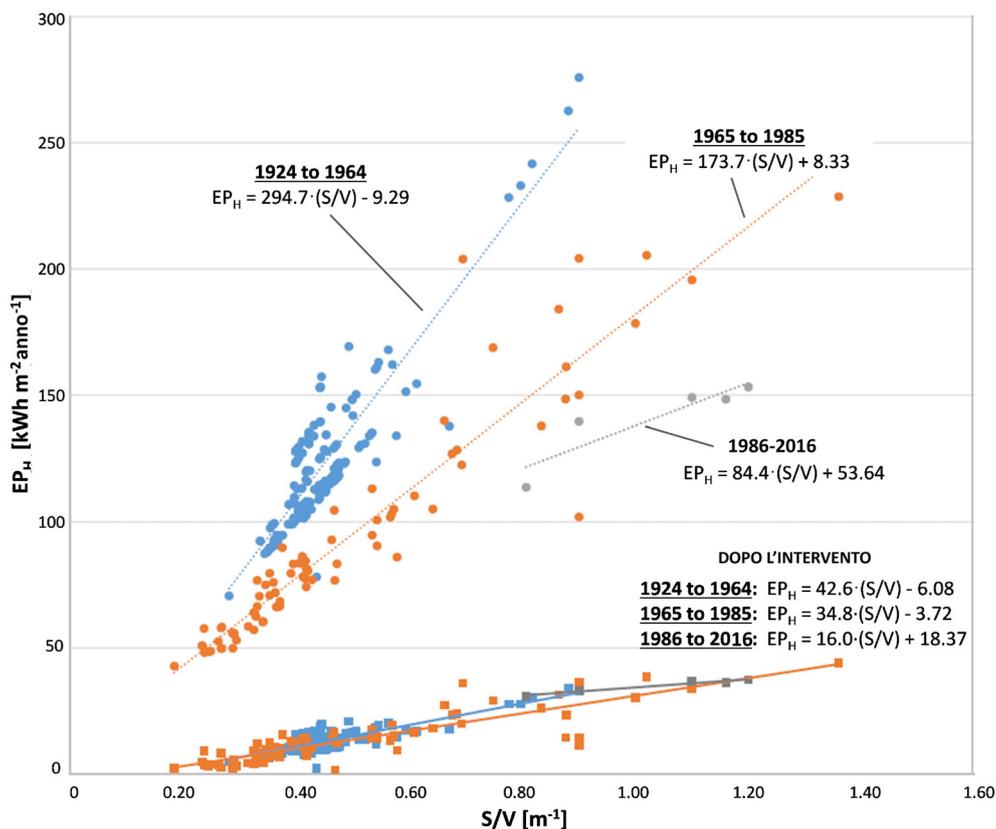


Figura 64: Correlazione tra rapporto di forma S/V e prestazione energetica degli edifici per lo stato di fatto e il set di misure (C)

Infine la condizione di cambiamento relativa alla tecnologia ha impatto anche sul settore dell'illuminazione pubblica. Anche in questo caso viene ipotizzata una sostituzione congiunta ed omogenea dei corpi illuminanti con tecnologie più performanti tipo led. Tale misura permette una riduzione dei consumi pari all'80%, ottenendo un consumo elettrico per l'area oggetto di studio dovuto all'illuminazione pubblica di 23,95 TEP/anno (Figura 65).

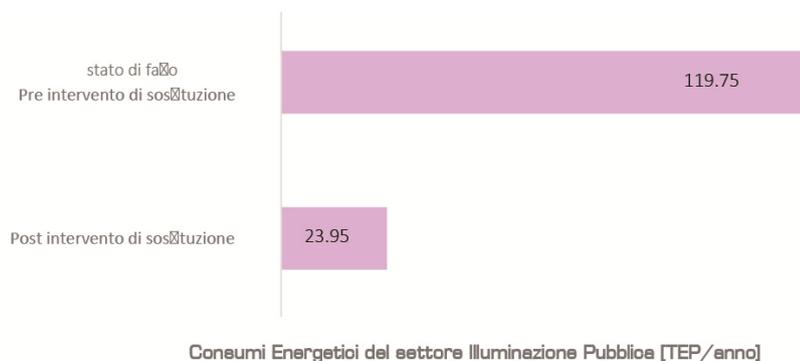


Figura 65: Consumo globale di energia primaria dell'Illuminazione Pubblica (prima e dopo l'intervento)

Dalla combinazione delle condizioni identificate per le diverse categorie di cambiamento e dei settori vengono configurati vari scenari.

La combinazione tra le categorie di uso del suolo e di tecnologia lega i settori degli edifici, dei trasporti e dell'illuminazione pubblica. Le tabelle 17 e 18 e le figure 66 e 67 mostrano i risultati per il settore degli edifici, la tabella 19 e la figura 68 riassumono i risultati per il settore dei trasporti.

Dai risultati si evince che le condizioni estreme di uso del suolo comportano una variazione del consumo energetico nel settore edilizio importante, ma non significativa. La riduzione del consumo di energia termica nel caso di uso del suolo a prevalenza non residenziale varia tra il 3%, nel caso di set di misure tecnologiche medie (B), all'8,6% nelle condizioni di stato di fatto e di set di misure lievi (A). Nelle condizioni a prevalenza residenziale si registra una riduzione più ampia, pari al 14% allo stato di fatto, fino al 6,5% nel caso di set di misure tecnologiche estese (C).

CONSUMI EDIFICI [TEP] (Solo riscaldamento)	Stato di fatto	Lievi (A)	Medie (B)	Estese (C)
Prev. Residenziale (1)	1795 (-14%)	798,7 (-11%)	636,4 (-11%)	210 (-6,5%)
Prev. Non residenziale (2)	1891 (-8,6%)	814 (-8,6%)	696 (-3%)	211,9 (-5,4%)
Stato di fatto	2070	891,49	712	224

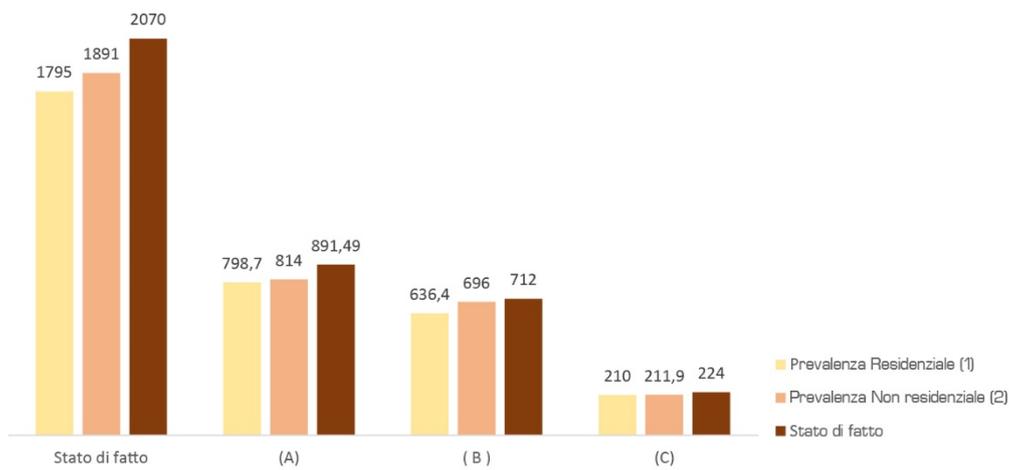


Tabella 17, Figura 66: Risultati della combinazione tra uso del suolo e tecnologia per il settore edifici (solo riscaldamento)

CONSUMI EDIFICI [TEP] (TOTALE)	Stato di fatto	Lievi (A)	Medie (B)	Estese (C)
Prev. Residenziale (1)	2783	1694,82	1106,12	1106,12
Prev. Non residenziale (2)	2933	1821	1703	1218,9
Stato di fatto	3099	1855,49	1676	1188

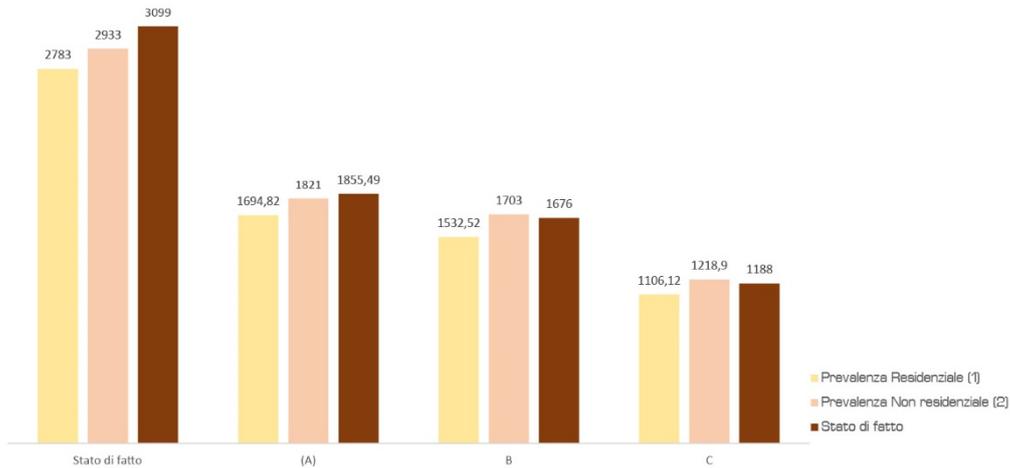


Tabella 18, Figura 67: Risultati della combinazione tra uso del suolo e tecnologia per il settore edifici

È evidente che l'impatto sul settore degli edifici della condizione di cambiamento "tecnologia" è maggiore rispetto a quello di "uso del suolo", inteso senza variazione morfologica. Nondimeno la combinazione del set di misure tecnologiche (C) e della condizione estrema a prevalenza residenziale (2) comportano una riduzione dei consumi pari a quasi il 90%. Tuttavia, tale risultato, estremo, considera esclusivamente i consumi energetici termici. Se l'indagine si allarga anche al contributo elettrico, la configurazione varia leggermente nella condizione (C). Ciò è legato all'elevato contributo dei consumi elettrici nel caso di edifici non residenziali.

Da quanto delineato, è evidente che l'esclusivo focus sugli edifici, farebbe vertere su destinazioni di uso degli edifici residenziali, abbattendo i consumi dovuti agli edifici commerciali e industriali. Tuttavia una concentrazione monofunzionale, comporterebbe, mantenendo il focus solo sul settore edifici, uno sbilanciamento energetico, tra aree a prevalenza artigianale, in cui si verificano consumi più elevati, e aree residenziali.

La categoria di cambiamento di "uso del suolo" impatta energeticamente anche sul settore dei trasporti. Le condizioni estreme progettate per tale

categoria (1) e (2) sono state combinate con le condizioni configurate per la categoria di cambiamento infrastrutture: Misure lievi (I) in risposta a politiche di breve termine e Misure Estese (II) esito di politiche a lungo termine. La Tabella 19 mostra i risultati dell'indicatore TED normalizzati per passeggero e i valori per zona.

	Stato di fatto		Prev. Residenziale (1)		Prev. Non residenziale (2)	
	[MJ/pax week]	[kWh/y]	[MJ/pax week]	[kWh/y]	[MJ/pax week]	[kWh/y]
Stato di fatto	6,39	796388,9	6,39	813194,4	0	0,00
Breve termine (I)	5,25	653472,2	4,08	518472,2	5,25	232361,1
Lungo Termine (II)	3,07	381944,4	2,97	378194,4	3,15	139444,4

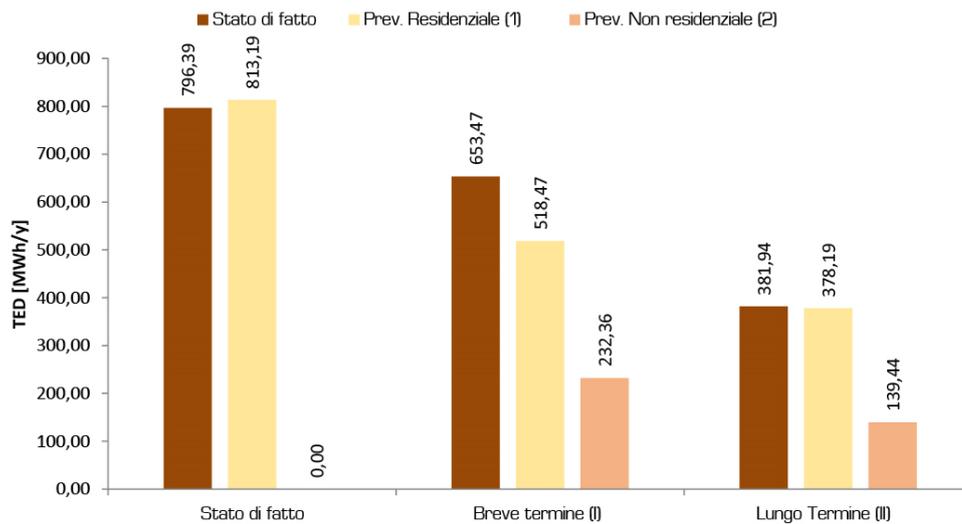


Tabella 19, Figura 68: Risultati della combinazione tra uso del suolo e infrastrutture per il settore dei trasporti

Tuttavia, le variazioni di ciascuna zona non sono rappresentative delle variazioni su tutta la città. Un aumento del valore del TED per l'area oggetto di studio, infatti, non comporta necessariamente un incremento dell'energia dovuta ai trasporti dell'intera città di Catania, in quanto questa dipende dai flussi di spostamento tra le diverse zone. Di conseguenza, anche piccole variazioni in ciascuna zona possono avere un'incidenza sulle altre zone e sulle prestazioni energetiche della città intera.

Il valore di TED per la condizione di uso del suolo a prevalenza non residenziale (2) risulta sempre inferiore ai corrispondenti valori ottenuti per le altre condizioni di uso del suolo e per ogni condizione di progettazione delle infrastrutture. In particolare allo stato di fatto, il TED assume un valore nullo, caso che si verifica quando il numero di attività lavorative sul territorio supera notevolmente quello dei lavoratori. Tale risultato è prevedibile, in quanto il software di ottimizzazione assegna i lavoratori alle attività di lavoro presenti nella stessa zona, non consumando energia per gli spostamenti casa-lavoro, potendo raggiungere le destinazioni a piedi o in bicicletta. La condizione di uso del suolo a prevalenza residenziale, provoca un'incidenza minima sui consumi energetici, evidente anche nei risultati normalizzati per passeggero (TED = 6,39 MJ/pax a settimana sia per lo stato di fatto sia per (1)), che mostrano un andamento diverso rispetto a quelli per zona.

Inoltre, i valori del TED diminuiscono, per entrambe le condizioni di uso del suolo, anche in proporzione al miglioramento infrastrutturale nella zona. Si riducono, se si verifica l'attuazione delle misure sulle infrastrutture, e, in particolare, il valore più basso si registra in corrispondenza delle misure estese rispondenti a strategie di lungo termine (II). Il valore del TED per l'area oggetto di studio varia in relazione ai cambiamenti imposti dalle categorie di cambiamento. Riferendosi alla tabella 19, si evince una riduzione in orizzontale, da sinistra a destra. Per ciascun set di misure sulle infrastrutture (I) e (II), infatti, la configurazione a prevalenza non residenziale (2) mostra i valori inferiori. La riduzione si verifica anche in verticale. Fissando le condizioni di uso del suolo (1) e (2), infatti, il TED ha un decremento graduale, con valori inferiori per le misure sulle infrastrutture estese (II). Di conseguenza, dagli esiti descritti, le trasformazioni sulle infrastrutture di trasporto hanno un effetto positivo sul consumo di energia del quartiere, indipendentemente dai cambiamenti nell'uso del suolo. Se questi accadono, il TED varia, mantenendo la tendenza a diminuire gradualmente con il miglioramento delle condizioni delle infrastrutture di trasporto.

In termini globali, per le 50 zone in cui è stato diviso il territorio catanese, il valore del TED varia in maniera più evidente nelle diverse configurazioni

ipotizzate, in seguito ai cambiamenti imposti sulla zona 29. I risultati mostrano che il valore più basso di TED relativo a tutta la città si verifica per le condizioni di uso del suolo a prevalenza non-residenziale (2). Basta una zona ad alta concentrazione residenziale nell'intera città, dunque, per comportare un peggioramento delle condizioni energetiche di trasporto generali, come rappresentato nella tabella 20.

	Stato di fatto	Prev. Residenziale (1)	Prev. Non residenziale (2)
Stato di fatto	6,09	6,24	5,75
Breve termine (I)	5,64	5,7	5,54
Lungo Termine (II)	5,15	5,25	4,97

Tabella 20: Valori medi di TED [MJ/pax week] nelle diverse condizioni di uso del suolo e infrastruttura per la città di Catania

Da queste considerazioni, emerge come il TED sia molto più sensibile a trasformazioni nelle infrastrutture di trasporto rispetto a modifiche nell'uso del suolo. I valori più bassi dell'indicatore in corrispondenza di una destinazione d'uso del quartiere a prevalenza non residenziale, dimostrano come la previsione di mix funzionale nelle aree urbane sia una scelta di successo, avvalorata da un parallelo intervento sull'accessibilità e di potenziamento della rete di trasporto pubblico.

Gli scenari che si ottengono dalla combinazione delle diverse categorie di cambiamento corrispondono a configurazioni estreme, intermedie e ottimali. Gli scenari estremi vengono fatti corrispondere alle condizioni estreme di uso del suolo, mantenendo costanti alternativamente la tecnologia e la progettazione delle infrastrutture. In tal senso, lo scenario in cui i consumi energetici sono più intensi, corrisponde allo scenario zero di stato di fatto che risulta il meno performante, in quanto tutti gli interventi previsti pongono un miglioramento al sistema energetico. Lo scenario minimo può essere ottenuto ponendo costante la categoria di cambiamento tecnologia e agendo solo sul settore dei trasporti.

I restanti scenari sono considerati intermedi, in quanto i consumi energetici sono compresi all'interno del *range* dei valori di soglia determinati negli scenari estremi. Tali valori intermedi possono essere ottenuti mediante l'adozione di strategie di pianificazione urbana indirizzate al raggiungimento di obiettivi energetici inerenti alle diverse condizioni di cambiamento e ai tre settori, in maniera integrata.

È inoltre conseguibile la configurazione di uno scenario di massima efficienza mediante la combinazione delle condizioni ritenute più efficienti per ciascuna delle tre categorie di cambiamento: progettazione delle infrastrutture (II), uso del suolo (2), tecnologia (C). Tali condizioni, sono in alcuni casi, quale l'uso del suolo, estreme e non offrono la reale potenzialità di essere conseguite. Piuttosto è verosimile che mediante l'attuazione completa o graduale delle strategie alla base dei diversi set di misure applicati, la performance energetica dell'area possa avvicinarsi a quella prevista da tale scenario. Dunque, tale configurazione ottimale è da interpretare come uno scenario limite, cui tendere nella selezione delle strategie da attuare per il quartiere. Per l'area di Nesima, tale scenario di efficienza massima è dato dalle condizioni (II), (2), (C), e mostra un consumo totale annuo di 1254,85 TEP, che implica un consumo energetico inferiore di circa il 60% rispetto allo stato di fatto (Figura 69). In particolare, 1218,9 TEP sono da attribuire al settore degli edifici, 23,95 TEP/anno derivano dall'illuminazione pubblica e il valore del TED è pari a 12 TEP/anno (tabella 21). La mappa relativa a tale scenario è riportata in allegato.

	USO DEL SUOLO (0) + TECNOLOGIA (0) + PROG. INFRASTRUTTURE (0) [Stato di fatto]	USO DEL SUOLO (2) + TECNOLOGIA (C) + PROG. INFRASTRUTTURE (II)
Edifici [TEP/anno]	3099	1218,9 (-60%)
Trasporti [TEP/anno]	80,00	12,00 (-85%)
Illuminazione Pubblica [TEP/anno]	119,75	23,95 (-80%)

Tabella 21: Confronto tra i risultati dei consumi energetici dell'area oggetto di studio per lo stato di fatto e lo scenario di massima efficienza per ogni settore

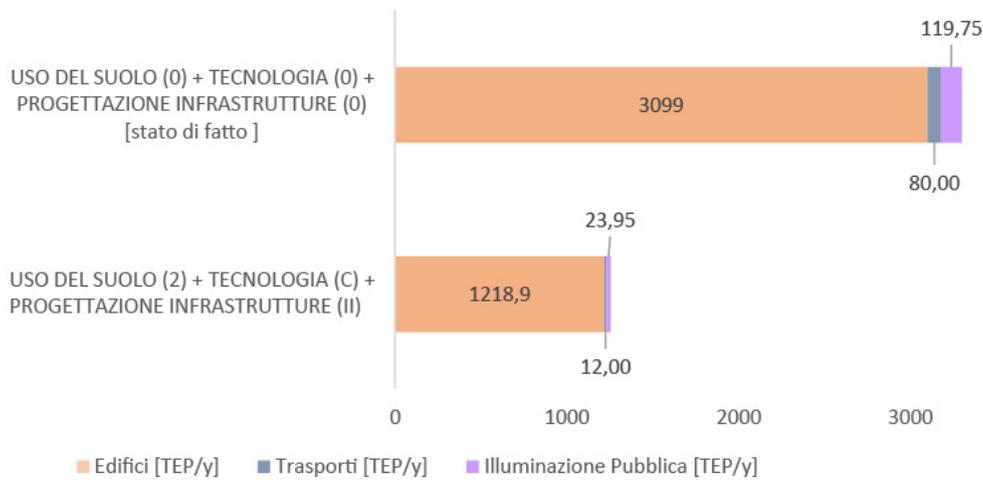


Figura 69: Confronto tra i consumi energetici dell'area oggetto di studio per lo stato di fatto e lo scenario di massima efficienza

Le condizioni alla base di tale performance prevedono tempi di attuazione di medio termine, che possono essere accelerati mediante forme di incentivazione nel caso degli interventi sugli edifici, in quanto il complessivo intervento sul settore, con l'attuale tasso di rinnovamento nazionale, necessiterebbe molto più di 50 anni. Le forme di incentivazione, di tipo economico o volumetrico, che inducano alla trasformazione del patrimonio edilizio esistente, possono configurarsi similmente a quelle sviluppate in altri contesti nazionali, quali il caso di Trieste (si confronti la parte V). Anche la realizzazione della linea metropolitana ha un orizzonte temporale più lungo del caso dell'attuazione di nuove linee di *Bus Rapid Transit*. Lo scenario di minimizzazione energetica consente di palesare la stretta dipendenza del settore dei trasporti dall'uso del suolo e dalle reti di trasporto, raggiungendo per il TED un valore molto basso, sottolineando come le scelte relative alla mobilità costituiscano un fattore chiave nelle politiche energetiche di governo del territorio.

La combinazione delle varie condizioni sviluppate comporta la configurazione di scenari da considerarsi, ai fini dei consumi energetici complessivi del quartiere, intermedi tra quelli estremi e quello di massima efficienza. Tali scenari "restanti" possono pendere verso un maggiore efficientamento di un settore piuttosto che un ambito di intervento (le categorie di cambiamento),

evidenziando l'esito che scelte specifiche sulle infrastrutture, sull'uso del suolo o in ambito tecnologico potrebbero avere sui settori stessi e sul quartiere. Certamente i risultati ottenuti non sono esaustivi, ma rispondono ad alcune scelte strategiche relative ai settori considerati maggiormente responsabili dei consumi a livello urbano e attinenti a quelle che sono state individuate come categorie di cambiamento, ovvero i campi che hanno la potenzialità di guidare le trasformazioni urbane. Ai fini di una maggiore completezza, possono essere ampliate le misure e le condizioni selezionate nelle diverse categorie, quali l'introduzione di sistemi di riscaldamento e raffreddamento più efficienti, sistemi di produzione di energia rinnovabile, relativamente agli aspetti tecnologici sugli edifici; la considerazione di altri tipi di spostamenti oltre il pendolarismo, per ciò che attiene il campo delle infrastrutture e il settore dei trasporti. Infine, un incremento dell'efficienza energetica nel quartiere può essere ottenuto esaminando le questioni morfologiche, quarta categoria di cambiamento, trascurata nel presente studio, focalizzandosi sul retrofitting energetico del quartiere attraverso l'adozione di misure meno profonde di una ristrutturazione urbanistica.

Tuttavia, un'ulteriore applicazione del modello, come precedentemente illustrato, consiste nella valutazione della prestazione energetica di nuovi insediamenti urbani oltre che di aree esistenti. In tal senso, si è voluto procedere all'analisi delle prestazioni energetiche dell'area di Nesima Superiore, per la porzione di territorio interessata dall'ipotesi di Rigenerazione urbana (figura 70) secondo le previsioni del PRG 2012. Tale area, individuata come sub-ambito, è confinante con la Circonvallazione a Nord e si struttura attorno il complesso religioso di San Pio X. Il sub-ambito comprende le aree destinate alle fermate della nuova linea della metropolitana. In figura 71 è restituito uno stralcio della scheda norma relativa all'area di rigenerazione Rp 7.1 riportante un'ipotesi planivolumetrica di progetto.

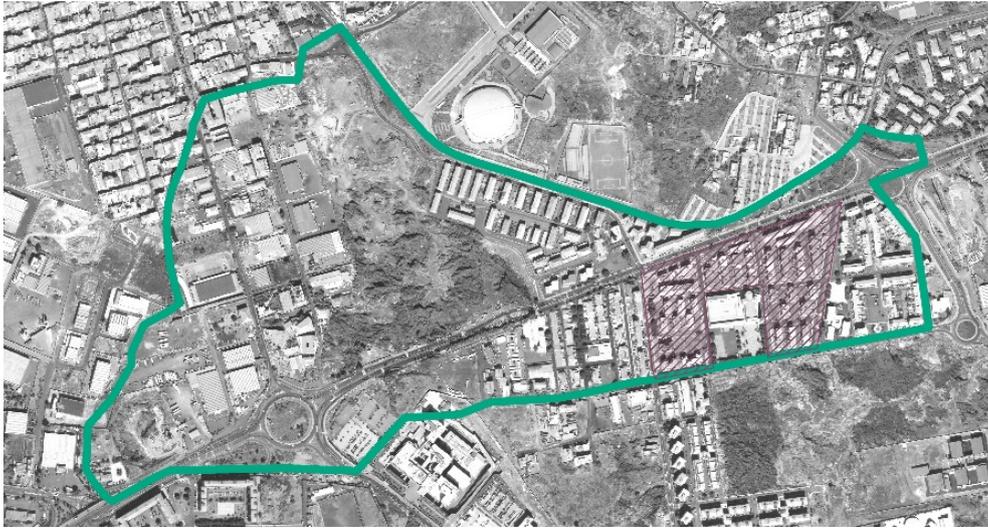


Figura 70: Area di Rigenerazione Rp 7.1 del PRG 2012 per la città di Catania

In tale disegno si concretizza la relazione tra trasporti e territorio; secondo la logica TOD sono conferite elevate densità e compattezza ai fabbricati, sono assicurati ampi spazi verdi e percorsi pedonali che migliorano la sicurezza e l'accessibilità. La scheda si limita a fornire indicazioni sulle fondiarie attraverso uno schema esemplificativo della distribuzione degli spazi e della morfologia degli edifici, regolando dettagliatamente i dati sulle superfici, sui volumi e sugli incentivi volumetrici. In tale area di rigenerazione, infatti, è assegnato un incentivo volumetrico pari al 100%.

Il modello è stato applicato all'ipotesi progettuale presente nella scheda, relativamente al settore degli edifici, considerando inalterata la condizione della mobilità allo stato di fatto e nell'ipotesi in cui vengano attuate le misure relative alle infrastrutture, coincidenti con l'ampliamento della linea metropolitana. Gli edifici hanno usi misti e una media di 8 elevazioni (comprensive dell'incremento volumetrico). Ai fini del calcolo della prestazione energetica degli edifici sono stati assegnati i parametri per l'involucro relativi alla fascia temporale più recente. Non sono stati portati avanti ulteriori ipotesi di trasformazione, in quanto questa elaborazione è stata configurata come esercizio di applicazione del modello stesso, relativa a scenari di pianificazione predefiniti, determinati da scelte che rispondono alle strategie urbanistiche che hanno strutturato il processo di revisione del piano della città di Catania.

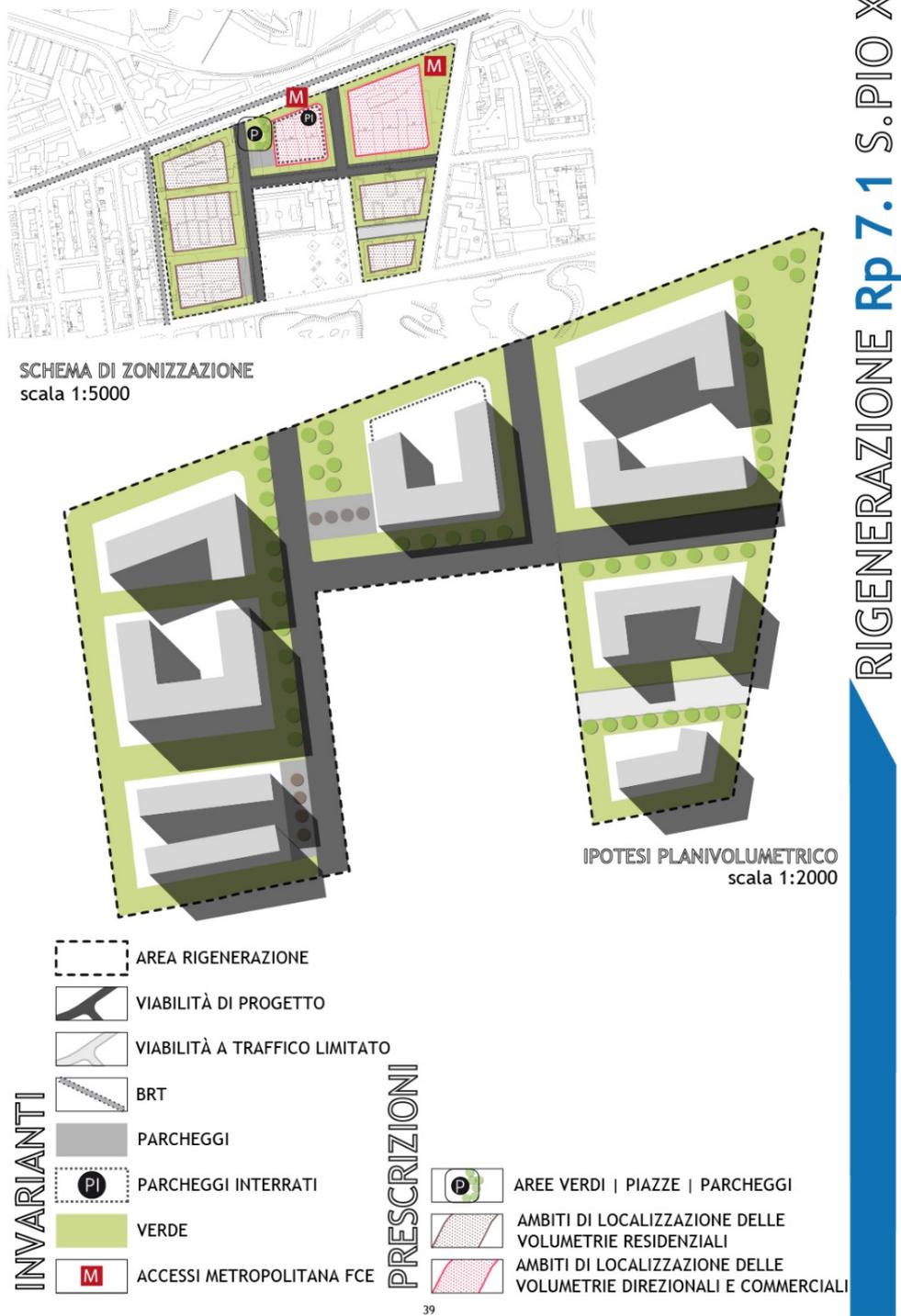


Figura 71: Scheda Norma Area Rigenerazione Rp 7.1 del PRG 2012 per la città di Catania
Fonte: Comune di Catania - PRG 2012

Il consumo dovuto al riscaldamento dell'intera area oggetto di studio in seguito all'intervento di demolizione e ricostruzione previsto per il sub ambito, è pari 1.517 TEP l'anno, circa il 27% inferiore alla condizione di stato di fatto.

Al di là dei risultati, uno degli esiti più significativi di tale studio coincide con lo sviluppo delle leggi lineari di correlazione tra l'indice di prestazione energetica e il fattore di forma relative agli edifici dello scenario di pianificazione (figura 72). Dal confronto con gli altri casi precedentemente analizzati, si evince una retta con un coefficiente angolare molto inferiore allo stato di fatto, ma paragonabile alla condizione di trasformazione tecnologica estesa per gli edifici (C). Ciò deriva dall'utilizzo di parametri termo-fisici e relativi all'involucro degli edifici prossimi a quelli utilizzati per il set di misure (C). In entrambi i casi, infatti, è stato supposto che venissero soddisfatti i requisiti imposti dalla vigente normativa (D.L., 2015). Tale condizione è verosimile in particolar modo per gli interventi di nuova costruzione. In questo caso, la retta si abbassa rispetto a quella dello stato di fatto, tendenza analoga al caso della trasformazione dovuta al set di misure (A), (B), (C), indicando, così, sostanziali miglioramenti nelle prestazioni energetiche, ravvisabili nella variazione dei valori dell'indicatore Epi. Tuttavia, la retta di correlazione relativa agli edifici di nuova costruzione, si pone anche in una posizione traslata orizzontalmente, indicando che le scelte progettuali degli edifici incidono anche sul rapporto di forma $[S/V]$, abbassandone il valore e, dunque, indicando maggiore compattezza. L'andamento paragonabile tra le curve che rappresentano le previsioni progettuali dell'area di rigenerazione e gli esiti dell'applicazione del set di misure (C) sul patrimonio edilizio esistente, costituisce una conferma della potenzialità del grafico di svolgere una funzione previsionale speditiva delle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio appartenente ad una medesima area geografica, conoscendo la data di costruzione o di ristrutturazione degli edifici, configurandosi come *tool* semplice di supporto nello sviluppo di considerazioni previsionali e di indirizzo.

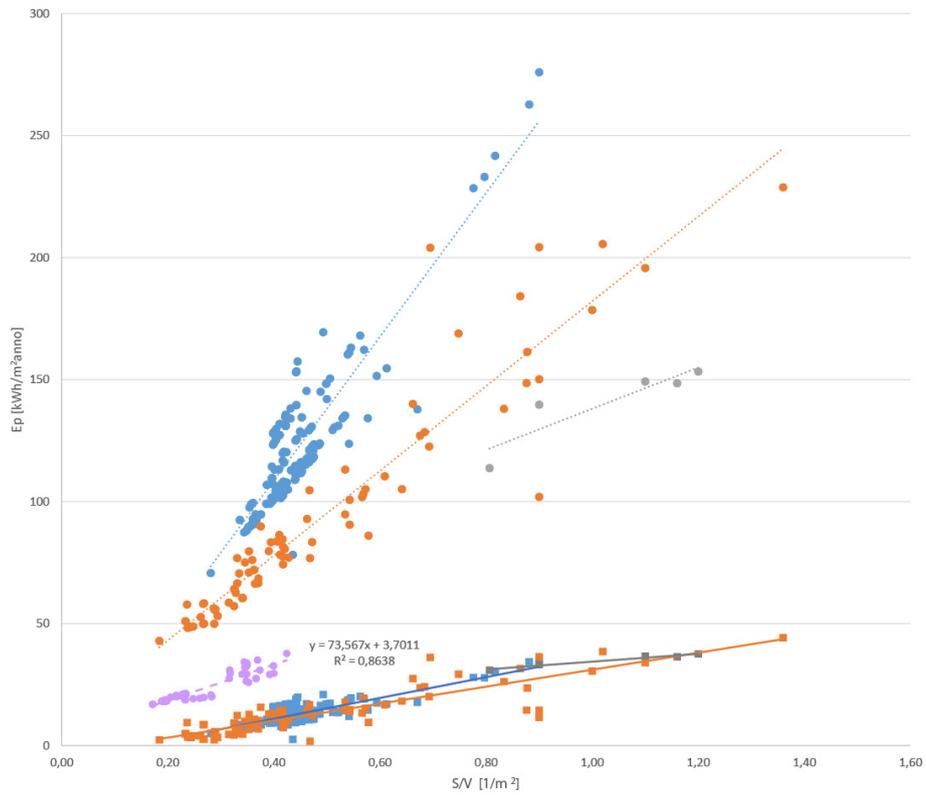


Figura 72: Correlazione tra rapporto di forma S/V e prestazione energetica degli edifici per lo stato di fatto, il set di misure (C) e l'area risorsa Rp 7.1

4.2.3 Considerazioni

La fase applicativa, illustrata nel presente capitolo, ha permesso di testare il modello ed esplorare gli esiti dell'attuazione di scelte, di settore ed integrate, sul territorio.

Attraverso il modello è stato possibile stimare le prestazioni energetiche complessive del quartiere di Nesima Superiore, mostrandone la convergenza con i dati medi nazionali, e valutare il decremento dei consumi energetici al variare dell'attuazione di politiche urbane adeguate all'area oggetto di studio e relative alla città di Catania. Tra i risultati si evince che il sostanziale miglioramento delle prestazioni energetiche urbane (a partire dal 27% fino al 60%), illustrato nei diversi scenari, è indicativo della potenzialità offerta dalle politiche di governo del territorio nell'indirizzare trasformazioni che interessano questioni di sicurezza, qualità e accessibilità urbana a corredo degli aspetti energetici. Le scelte e le condizioni ipotizzate nella configurazione degli scenari nei tre settori, sono rappresentative di una piccola porzione della pluralità di alternative possibili finalizzate alla riduzione dei consumi energetici e all'adozione di approcci urbani sostenibili. Associare a queste opzioni la componente economica completerebbe lo strumento e, in particolare, gli scenari con informazioni decisive per la fattibilità delle azioni e dunque l'effettivo raggiungimento dei livelli di efficienza energetica proiettati. Questi aspetti potrebbero dare forma a un eventuale approfondimento futuro, insieme allo studio, all'applicazione e alla valutazione degli impatti sul territorio, di strategie e azioni urbanistiche aggiornate, quali forme incentivanti e compensative.

Le ipotesi alla base degli scenari hanno tradotto precipue scelte di governo del territorio indirizzate a migliorare la *performance* energetica urbana dell'area esaminata. L'ambito territoriale oggetto di studio è composto da tessuti urbani moderni con edifici in stato di degrado. Pur mostrando un'ampia varietà morfologica, la struttura urbana è lineare e regolare, leggibile, seppur con meno chiarezza, anche nella porzione a Nord-Ovest. Per tali conformazioni urbane, lo strumento sviluppato appare piuttosto accurato e sensibile. Nel

caso di tessuti urbani storici o di pregio, in particolare di tipo nastriforme o a griglia, contraddistinti da isolati densi, si può riscontrare una crescente complessità ed onerosità nell'applicazione della componente analitica dello strumento. Anche la componente valutativo-progettuale va tarata affinché le politiche urbane determinanti gli scenari possano essere compatibili con le caratteristiche storiche ed architettoniche di tali strutture urbane. Questi aspetti rafforzano la convinzione della necessità di un complesso di misure *site-specific* nel quadro di una strategia comune finalizzate al raggiungimento del medesimo obiettivo di miglioramento globale dell'efficienza energetica urbana. Anche il doveroso approfondimento di tali questioni può ampliare il campo di indagine per future ricerche.

Infine, assume notevole interesse il confronto tra i risultati conseguiti in ognuna delle componenti dello strumento per i diversi ambiti della città. Le differenze nella caratterizzazione energetica del territorio, infatti, costituiscono una delle motivazioni alla base dell'indagine conoscitiva e della valutazione comparativa condotta tra visioni urbane future. Tale indagine, costituita da una procedura a contenuto tecnico-scientifico, mira a indirizzare le decisioni e a determinare una valutazione sulla validità ed efficacia delle azioni di trasformazione. La stima della *performance* energetica e il confronto tra i risultati degli scenari ottenuti dalla metodologia proposta consentono un processo di pianificazione informato e conducono a una maggiore consapevolezza nelle scelte relative allo stato attuale e nelle previsioni delle condizioni future.

4.3 Integrazione tra i modelli di prestazione energetica e di rete complessa del quartiere

L'integrazione e l'ulteriore sviluppo delle metodologie precedentemente descritte consentono di modellare la rete di distribuzione di energia nell'area oggetto di studio, modellata in figura 73, dove i cerchi blu rappresentano i nodi della rete energetica urbana, coincidenti con gli edifici.

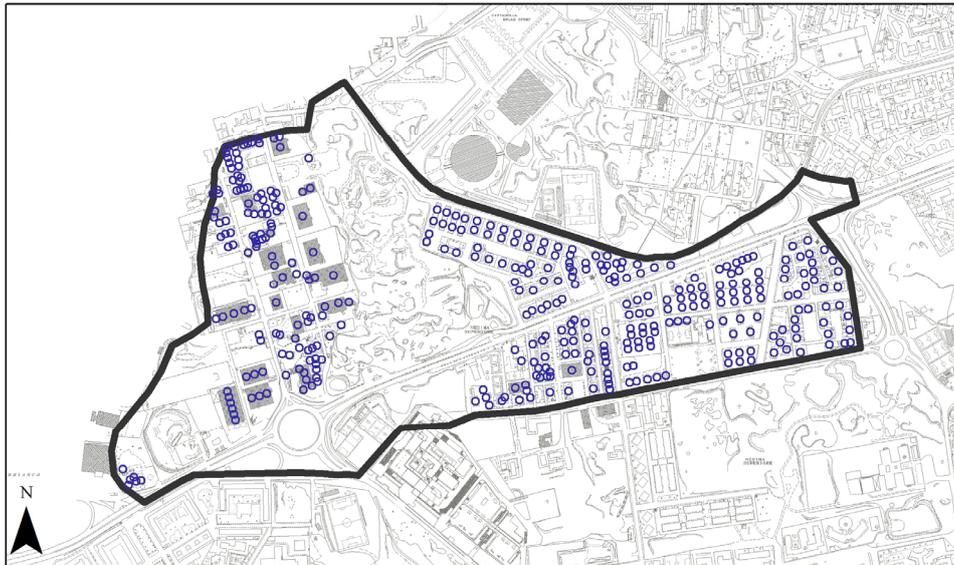


Figura 73: Modellazione dell'area oggetto di studio attraverso Matlab e ARCGIS

Attraverso il modello viene analizzata la performance della rete utilizzando dati che dipendono sia dalla radiazione solare media dell'area geografica sia dall'efficienza del pannello, inseriti nel sistema informativo geografico sviluppato. La generazione elettrica potenziale ottenuta dai pannelli fotovoltaici installati sulle coperture degli edifici è stata calcolata applicando il valore medio di radiazione per la Sicilia pari 1.500 kWh/anno ogni 10 metri quadrati di superficie e KW di potenza installata. Per analizzare le prestazioni della rete, sono stati ipotizzati quattro intervalli di generazione C1, C2, C3 e C4 che per l'area in esame, corrispondono ad una percentuale specifica di generazione energetica dell'intero sistema (tabella 22).

Intervalli	Percentuale di generazione
C1	56%
C2	67%
C3	79%
C4	84%

Tabella 22: Percentuali di generazione corrispondenti agli intervalli (C1-C4)

La distanza di connessione è stata supposta compresa in un intervallo di 25 m < d < 400 m, e il modello fornisce i risultati al variare della distanza con passo pari a 25 metri. L'analisi della topologia iniziale della rete è riportata in figura (74) per alcune distanze selezionate: 25 m, 100 m, 175 m, 250 m.

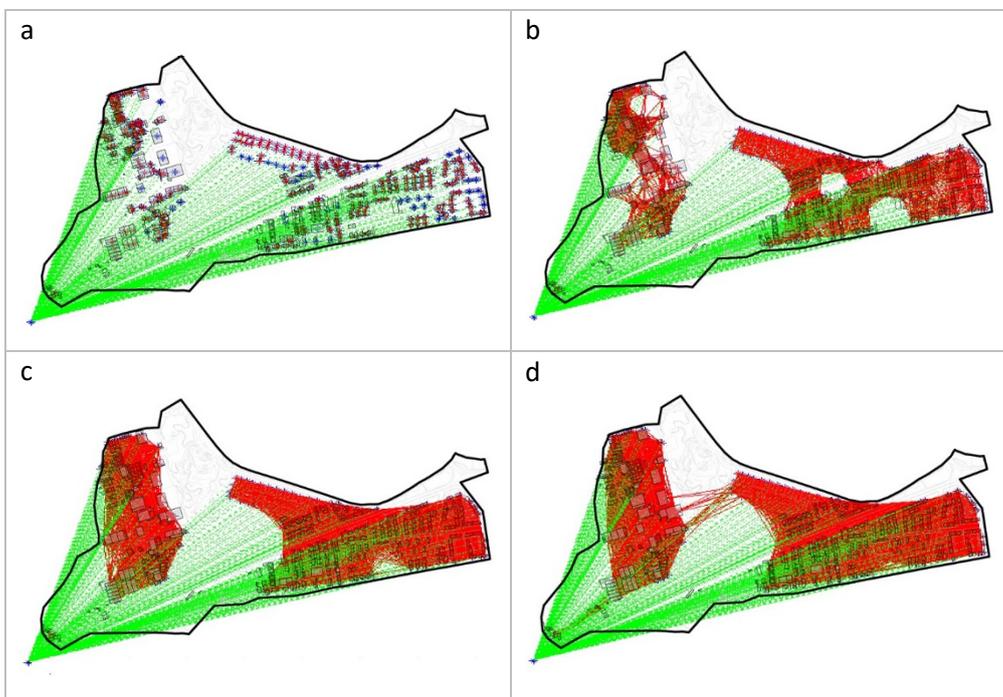


Figura 74: (a) topologia iniziale della rete per 25 m; (B) topologia iniziale della rete per 100 m; (C) topologia iniziale della rete per 175 m; (D) topologia iniziale della rete per 250 m

Il modello permette di operare l'ottimizzazione della rete per gli intervalli e le distanze individuate. Di seguito sono riportati alcuni degli scenari di ottimizzazione della rete, in particolare per i casi corrispondenti agli intervalli C1, corrispondente ad una percentuale di generazione pari a 56%, e C3 corrispondente ad una percentuale di generazione pari a 79% (figura 75 e 76). I risultati indicano performance di distribuzione nella rete energetica urbana paragonabili per ogni percentuale di generazione. Tali risultati sono

rappresentati in Fig. 77, dove si evince l'andamento dell'indice di rete I_N e la relativa variazione con la distanza per ogni percentuale di generazione.

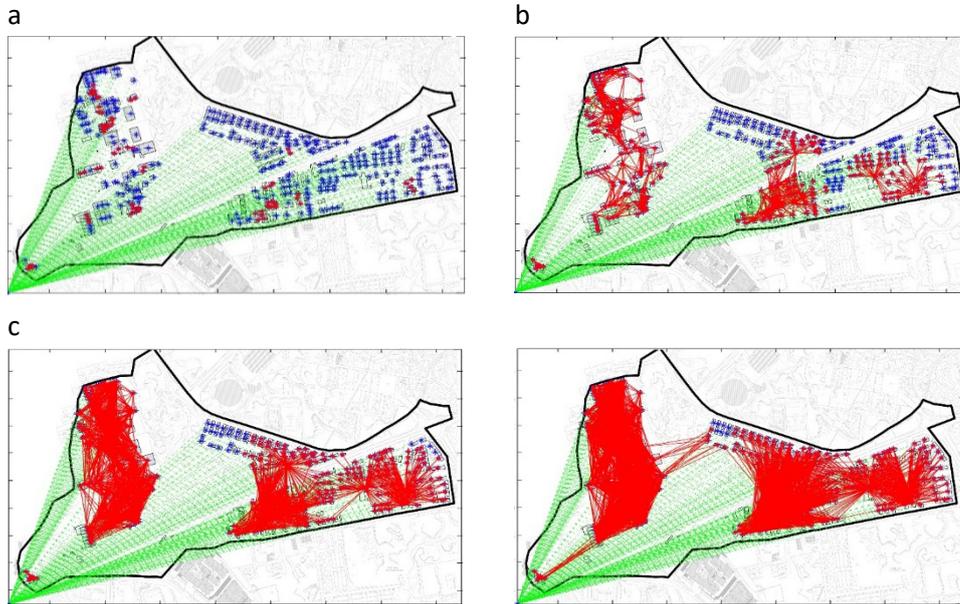


Figura 75: (a) topologia iniziale della rete per 25 m; (B) topologia iniziale della rete per 100 m; (C) topologia iniziale della rete per 175 m; (D) topologia iniziale della rete per 250 m - Scenario C1

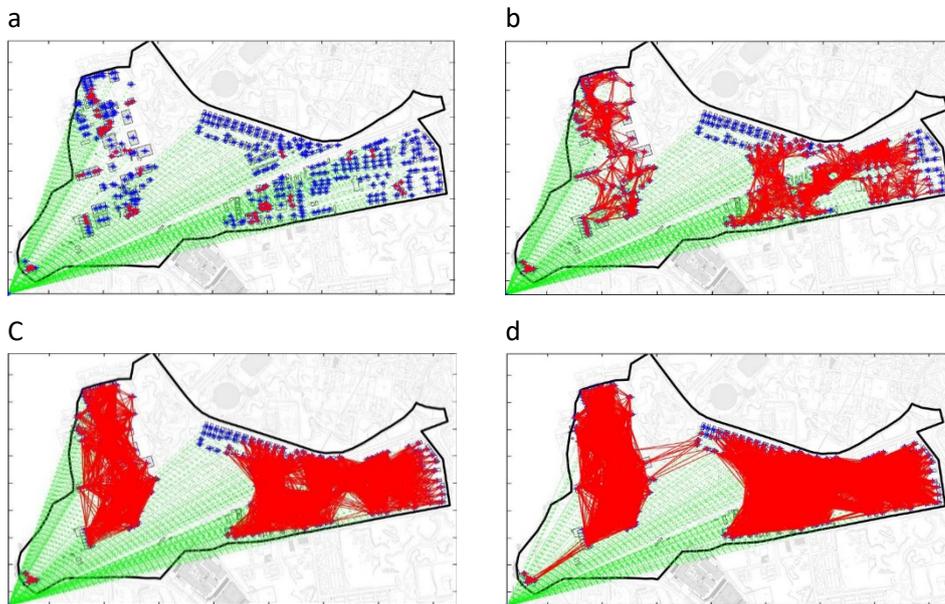


Figura 76: (a) topologia iniziale della rete per 25 m; (B) topologia iniziale della rete per 100 m; (C) topologia iniziale della rete per 175 m; (D) topologia iniziale della rete per 250 m - Scenario C3

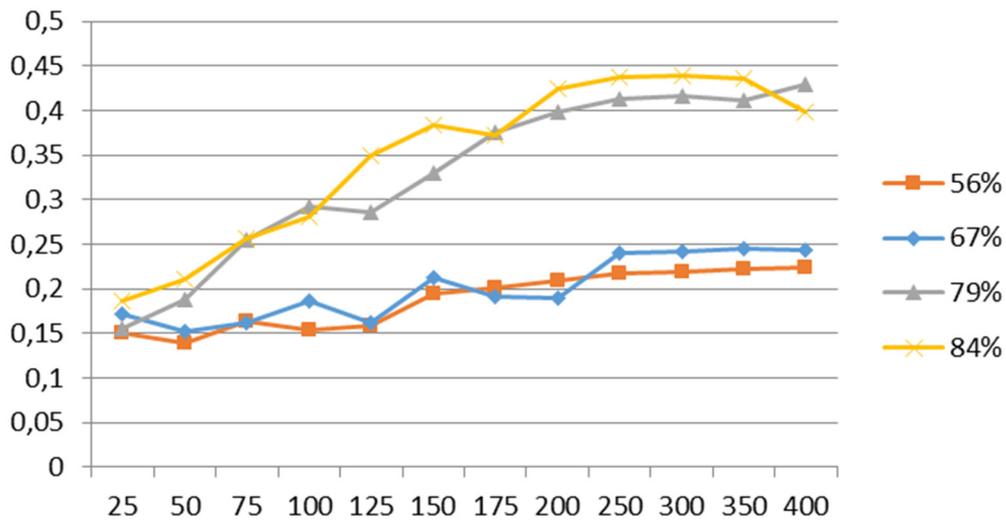


Figura 77: Rappresentazione dell'andamento dell'Indice di Rete

Il grafico in figura 77 mostra che il valore dell'indice di rete aumenta al crescere della distanza di collegamento d per ogni intervallo di percentuale di generazione. In particolare, l'incremento del numero di *link* effettivamente caratterizzati da un flusso energetico, corrisponde a un aumento della percentuale di generazione dell'ambito considerato. Tuttavia, questo incremento non risulta significativo superato l'85% di produzione di energia, per il quale ogni ulteriore misura volta a introdurre DES nella zona non avrebbe effetti positivi sullo scambio di energia. Inoltre, il grafico indica anche che le curve mostrano dei flessi, in corrispondenza di un cambiamento nella pendenza. I flessi corrispondono alle seguenti distanze: 25 m, 100 m, 175 m, 250 m. Tali flessi ed il conseguente incremento dei valori di indice di rete rilevati negli scenari C2 = 67% e C3 = 79% sono strettamente legati alle caratteristiche geometriche peculiari del territorio, in quanto non vengono rilevati nello studio teorico del modello (Volpe et al., 2016).

Dal grafico in figura 77, emerge anche come la distanza di collegamento d sia un parametro con maggiore impatto sulla rete rispetto alla generazione.

Ciò è dimostrato dal fatto che il numero di collegamenti creati da ogni nodo, cambia in modo più significativo in funzione della distanza. In particolar modo, ciò è evidente per alti valori della percentuale di generazione. Per bassi valori di distanza, il numero di collegamenti attivi è basso, risultando immutato per i

quattro scenari. Per distanze maggiori, la rete energetica urbana mostra una performance più efficiente, in quanto cresce il numero di collegamenti attivi. L'influenza del parametro distanza è palese, inoltre, nei nodi che mostrano un comportamento da *hub*, tale per cui viene attivato il numero massimo di *link* in una determinata configurazione, caratterizzata da una percentuale di generazione e un valore di distanza. Dunque il numero di connessioni attivabile varia in base ai valori di distanza e di generazione. Le figure 78 e 79 mostrano mappe dell'ambito di studio, in cui gli edifici sono classificati per numero di connessioni, a due diversi valori di distanza (25 metri e 250 metri) e ad una percentuale di generazione di energia selezionata, in particolare il 56% del totale fabbisogno energetico della rete.

Per una distanza di collegamento $D = 25$ m, il nodo che può essere considerato come *hub* ha 9 collegamenti attivi. A contrario per $d = 250$ m, il nodo che mostra un comportamento di *hub*, non soltanto non coincide con il nodo individuato nella configurazione precedente, ma è in grado di attivare 121 collegamenti. Tale risultato è dovuto alla possibilità, per distanze crescenti, di raggiungere un numero maggiore di elementi vicini nello scambio di energia. Al contrario, al variare della percentuale di generazione di energia, mantenendo costante la distanza, i nodi conservano la proprietà di *hub* nei diversi scenari (C1 – C4). Inoltre, i risultati dell'analisi della rete a scala urbana espressi dall'indice di rete mostrano anche la presenza di un valore di soglia per la variabile distanza, oltre il quale le prestazioni della rete diminuiscono. In particolare, oltre i 200 metri non ci sono miglioramenti significativi nel numero di collegamenti che si attivano.

Le informazioni sulle prestazioni della rete collegate alla variabile distanza possono costituire un valido supporto al processo di progettazione della rete. Se, dunque, l'analisi dei consumi energetici conduce all'individuazione di zone ad alta intensità energetica e, quindi, alla configurazione di opportune strategie; lo studio della rete e della generazione distribuita guida elementi progettuali specifici. Tra questi si identificano, ad esempio, la scelta delle unità di produzione di energia, l'identificazione degli edifici su cui è conveniente investire ed il grado di retrofit cui tendere.

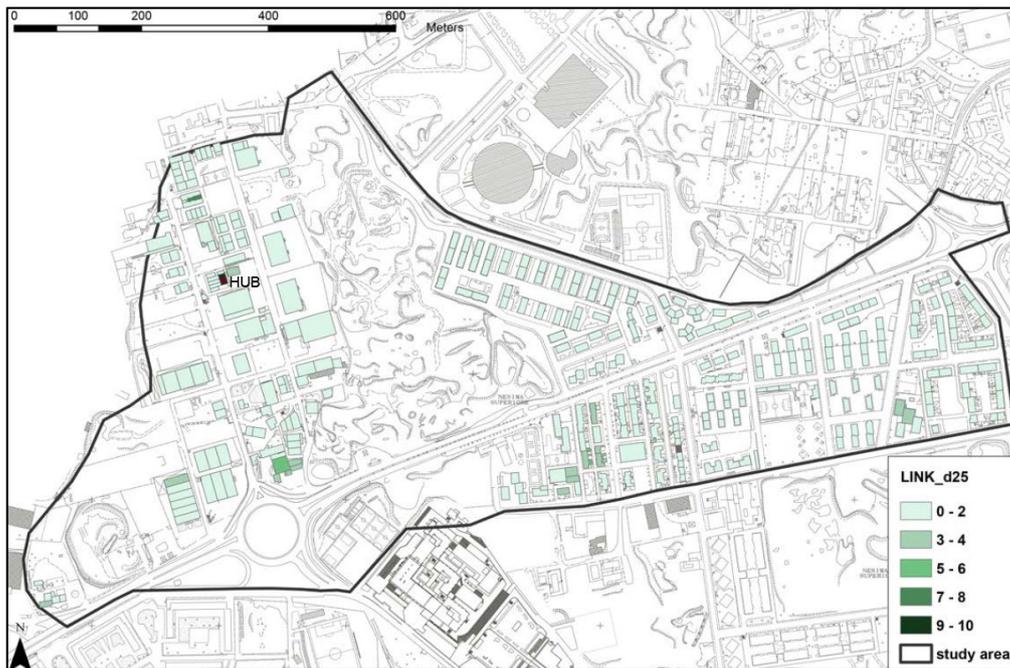


Figura 78: Collegamenti attivi per l'intervallo di generazione 56% e distanza pari 25 m

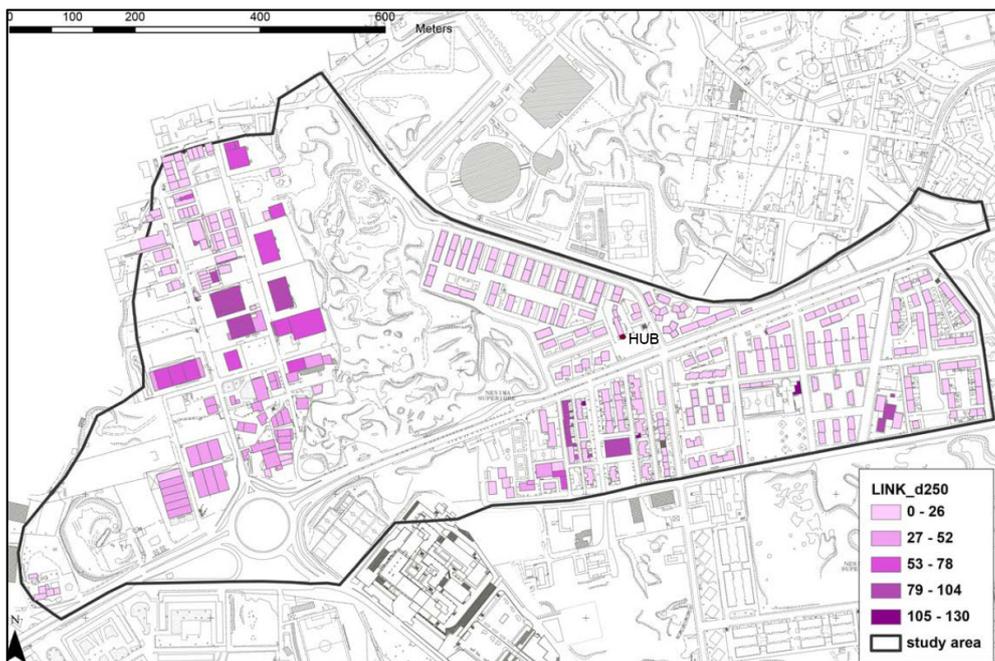


Figura 79: Collegamenti attivi per l'intervallo di generazione 56% e distanza pari 250 m

5. APPENDICE

Schede di approfondimento

Vengono di seguito approfondite alcune esperienze nel panorama nazionale ed internazionale in cui sia stato dimostrato un approccio integrato tra i temi energetici e la pianificazione urbana. Tale relazione è stata esaminata attraverso lo studio di *best practices* classificate secondo il ruolo tenuto nei processi di governo del territorio. In tale direzione, per ciò che attiene alle politiche e all'epistemologia, sono stati esaminati i diversi percorsi di sviluppo intrapresi da alcune città europee nel gestire l'emergenza climatica. Tale approfondimento ha permesso di esplicitare l'importanza della scala locale nelle strategie e nelle pratiche urbane. In particolare, la chiave di lettura adottata si basa sul concetto di *ordine di conoscenza*, un sistema interpretativo nel quale l'equilibrio tra conoscenza e regolamentazione che ne è alla base, consente di coordinare e attuare con successo le strategie di risposta ai cambiamenti climatici a livello urbano. Vengono descritte le varie epistemologie che caratterizzano le politiche climatiche ed urbane adottate nelle tre città selezionate, mostrandone la diversità nei metodi, negli approcci e negli obiettivi.

In termini di strumento di Piano, sono stati investigati i casi della città di Faenza

e di Trieste. L'approfondimento dei casi vuole mostrare la rilevanza che la questione energetica sta assumendo nell'orientare le scelte di governo del territorio e nella conseguente formulazione di pratiche e strumenti specifici. Il tema energetico, infatti, è stato affrontato in maniera accurata e dinamica all'interno degli strumenti adottati nelle due città. Dimostra una caratterizzazione prioritaria e permea le scelte e le strategie di piano, ponendosi anche come ponte attraverso cui raggiungere obiettivi diversificati di qualità urbana ed edilizia, di crescita economica e di integrazione sociale. In entrambi i casi, sono stati proposti originali meccanismi compensativi ed incentivanti finalizzati all'incremento dell'efficienza energetica ed al miglioramento della qualità ambientale, in un percorso di sostenibilità.

Rispetto a *tool* di trasformazione a supporto dei processi decisionali, è riportato il caso anglosassone del *Carbon Offset Fund (COF)*, a dimostrazione di come meccanismi semplici di tipo compensativo possano integrarsi a strumenti e norme di governo del territorio in una prospettiva energetico-ambientale. Si è voluta sottolineare la rilevanza degli strumenti compensativi nelle operazioni di trasformazione del territorio, estendendone l'applicabilità al contesto italiano, ai fini della gestione dell'offerta residua di strumenti urbanistici che mostrano una carenza di sensibilità ai temi energetici.

Infine, è stato analizzato il quartiere di recente formazione, "La Filanda" a Faenza, esemplificativo di casi di rigenerazione urbana in cui la relazione tra energia, territorio e progetto urbano prende forma concretamente. Il recupero di spazi abbandonati per restituire nuova qualità ambientale, economica e sociale attraverso l'integrazione tra il disegno urbano, le innovazioni tecnologiche, l'efficienza energetica e la mobilità sostenibile, risponde, infatti, ai principi delle città sostenibili.

Gli approfondimenti relativi al Piano regolatore dell'Energia di Faenza, al Carbon Offset Fund e al quartiere "la Filanda", sono stati condotti nell'ambito del progetto europeo *Spatial Planning for Energy in Communities In All Landscapes* (SPECIAL) proposto nell'ambito del programma *Intelligent Energy Europe* 2007-2013 e promosso dal *lead partner Town and Country Planning Association* (TCPA) di Londra (www.special-eu.org).

Politiche locali sui cambiamenti climatici

Quanto riportato è tratto dal contributo Zimmermann, Boghrat & Weber (2015) "The epistemologies of local climate change policies in Germany" pubblicato sullo *Special Issue* della rivista *Urban Research and Practice: "Urban Strategies and Measures to Deal with Climate Change"* il quale mostra tre differenti approcci su cui sono strutturate le politiche locali di tre città tedesche per adeguarsi alla questione dei cambiamenti climatici. La diversità nelle misure intraprese localmente e la relativa efficacia possono essere lette come il risultato di processi, incorporati nelle specifiche dinamiche urbane, che generano combinazioni univoche di relazioni tra attori coinvolti e contesto territoriale e disciplinano quello che, nel campo delle scienze socio-politiche, viene definito ordine di conoscenza (Heinelt & Lamping, 2015) o sistema di conoscenza (Edmondson and Nullmeier, 1997). L'ordine di conoscenza viene inteso come l'insieme di componenti cognitive e normative che generano un sistema interpretativo il quale consente agli attori coinvolti, politici e pianificatori, di coordinare le proprie attività e di giustificare il proprio operato (Heinelt & Lamping, 2015) ottenendo quel consenso della comunità locale che in molti casi si rivela determinante per l'efficacia delle misure adottate. Queste, infatti, comportano dei cambiamenti profondi nei criteri e nei metodi di gestione e trasformazione del territorio sottolineando l'importanza di una conoscenza profonda e condivisa delle ragioni che hanno condotto a tali cambiamenti.

Introducendo l'epistemologia come forma procedurale dell'ordine di conoscenza, questa costituisce la combinazione di procedure particolari e pratiche specifiche per testare richieste di conoscenza. All'interno di un ordine di conoscenza possono coesistere diverse forme epistemologiche. Da questa prospettiva vengono analizzati i casi delle città di Francoforte, Monaco di Baviera e Stoccarda.

Francoforte è stata una delle prime città a prendere coscienza dei cambiamenti climatici, istituendo un *Ufficio per la gestione Energetica* nel 1983 e un'unità amministrativa direttamente connessa con l'ufficio del sindaco

denominata *Agenzia per l'Energia*, all'interno dell'*Offensiva Climatica*, una decisione consiliare che determinava le politiche climatiche per i successivi dieci anni. Le due istituzioni hanno lavorato, da allora, in parallelo, occupandosi, l'Ufficio, degli edifici pubblici; l'agenzia, delle relazioni coi privati.

Questa strategia si è dimostrata di successo grazie a una forma di accettazione generale dell'Agenzia dell'Energia come centro di competenza ed esperienza. L'inclusione dell'adattamento e della consapevolezza degli impatti sui sistemi urbani nelle politiche climatiche, ha comportato una trasformazione dell'ordine di conoscenza istituendo un gruppo afferente al Ministero dell'Ambiente che si occupasse delle questioni relative all'adattamento. Tuttavia, l'Agenzia dell'Energia ha continuato ad operare come attore principale della politica climatica di Francoforte a partire dalla sua istituzione, promuovendo la conoscenza e definendo l'interpretazione dei cambiamenti climatici e della relativa implicazione locale. In tal senso, la chiave epistemologica su cui ha fondamento l'Agenzia, consiste nella *credibilità personalizzata*. Questa è stata costruita attraverso una personificazione dell'obiettività, ottenuta sulla buona reputazione del direttivo, all'interno del quale i membri sono ritenuti esperti con doti di *leadership*. Questo risultato è stato ottenuto anche grazie all'ampia autonomia di cui ha disposto l'agenzia, che le ha permesso di istituzionalizzare sia la propria competenza sia la credibilità. Altre forme epistemologiche hanno caratterizzato la politica locale di Francoforte, tra cui quella *basata sulla scienza*, che ha riguardato modellazioni e simulazioni quantitative dei fenomeni locali dei cambiamenti climatici finalizzate a prevederne gli impatti. Tale epistemologia, in una visione più ampia, comporta anche allo sviluppo di mappature, ottenute mediante software GIS, che permettono una chiara rappresentazione visuale degli impatti. A tale epistemologia, si rifà il Dipartimento dell'Ambiente.

Nonostante questa seconda forma epistemologica sia riconosciuta a livello internazionale ed abbia conseguito risultati importanti, le epistemologie associate all'Agenzia dell'Energia hanno visto un'ampia diffusione ed un grado maggiore di accettazione. Il ruolo dominante dell'agenzia si è mantenuto nel tempo, nonostante i cambiamenti socio-politici e le trasformazioni dell'ordine

di conoscenza. Tale capacità di resistenza va relazionata alla “personificazione” dell’ente, il quale, avendo tradizionalmente accompagnato e guidato negli anni la comunità nella lotta ai cambiamenti climatici, viene identificato come unico soggetto capace di percorrere tale strada. Questo risultato è stato reso possibile, inoltre, dal fatto che l’Ente sia stato costituito e gestito al di fuori dei pilastri amministrativi del governo locale.

Stoccarda ha iniziato a occuparsi delle questioni ambientali a partire dal secondo conflitto mondiale per assicurare una circolazione di aria fresca all’interno della città. Questa è, infatti, soggetta ad un surriscaldamento urbano durante le stagioni più calde, essendo disposta su una valle. Il principale attore amministrativo per la generazione della conoscenza è la *Sezione di Climatologia Urbana* del dipartimento per l’ambiente a livello municipale. A tale divisione è riconosciuta la competenza necessaria a gestire le questioni climatiche locali, processo che avviene con una collaborazione informale con il Dipartimento di Urbanistica. A differenza di Francoforte, dunque, non viene creato un ente apposito per guidare la lotta ai cambiamenti climatici, avendo invece mantenuto intatta la struttura amministrativa locale. Un’altra differenza riscontrabile rispetto al caso di Francoforte, è ravvisabile nell’aver tenuto conto delle questioni dell’adattamento sin da subito, a causa delle condizioni topografiche, non essendo stata, dunque, necessaria alcuna trasformazione dell’ordine di conoscenza tra la configurazione iniziale e quella attuale. Dagli anni ’90, con l’accrescersi della consapevolezza dell’emergenza climatica, la politica climatica diviene una priorità per Stoccarda, che dà forma ad un programma completo di protezione climatica urbana, con oltre 40 azioni relative a temi energetici e di mobilità, nel 1997.

L’esistenza nella struttura amministrativa, anche di una sezione per la Gestione dell’Energia, sottolinea la duplice prospettiva delle politiche climatiche a Stoccarda: locale ed energetica. Tuttavia, a differenza di Francoforte, il dipartimento di Gestione dell’Energia fornisce consulenza esclusivamente all’interno dell’amministrazione e non ha rapporti con attori esterni. Sembra evidente che la città di Stoccarda non abbia necessità di cercare competenze

ed esperti al di fuori della sua istituzione, essendo già altamente formata all'interno. A supporto di questa competenza, molti climatologi di Stoccarda hanno ricevuto premi ed onorificenze a livello nazionale per il loro lavoro pionieristico.

Infine, Stoccarda, forse proprio per la sua caratterizzazione topografica, non fa uso di modellazioni sofisticate avendo a disposizione le conoscenze più avanzate nel settore all'interno dell'istituzione amministrativa. Dunque l'epistemologia presente nelle politiche locali di Stoccarda non è *basata sulla scienza*, piuttosto è un tipo particolare di *peer-based validation of knowledge* tra colleghi afferenti ai diversi dipartimenti. La credibilità della Sezione per la Climatologia Urbana all'interno dell'amministrazione municipale, è rimasta incontestata per anni, conformando, anche in questo caso, una forma epistemologica di *credibilità personalizzata*.

La città di Monaco di Baviera ha risposto alle emergenti preoccupazioni relative ai cambiamenti climatici istituendo negli anni '80 una Commissione Energetica, costituita da rappresentanti dei Dipartimenti della Salute e dell'Ambiente, di Urbanistica, dell'Edilizia, della tesoreria comunale e del consiglio comunale, dell'Università di Monaco e infine da esperti esterni. Il compito della Commissione consisteva nello sviluppo di visioni per le politiche climatiche di lungo termine. La Commissione ha portato avanti due percorsi di governo per le politiche climatiche. Nel primo caso, è stato abbracciato il principio per una decentralizzazione delle responsabilità e dei compiti relativi alle questioni climatiche all'interno dei dipartimenti. Il secondo prevedeva una cooperazione tra gli attori coinvolti esternamente ed internamente nello scambio di conoscenze. Questo approccio ha accompagnato l'evoluzione delle politiche climatiche di Monaco, la quale può essere suddivisa in quattro fasi, rappresentative di un impegno ed un interesse crescente, culminante con il programma di azione per la protezione del clima (IHKM), in cui le politiche climatiche selezionate vengono incluse in una struttura ben definita.

L'ordine di conoscenza della politica climatica di Monaco è caratterizzato da decentralizzazione e frammentazione. Dal punto di vista epistemologico, le due forme più evidenti coincidono con la forma *basata sulla scienza*, fortemente

dipendente da consultazioni esterne e con una forma di tipo *quantitativo* che si concretizza, ad esempio nel monitoraggio e nelle valutazioni delle emissioni di anidride carbonica. Allontanandosi completamente dall'approccio della città di Stoccarda, la città di Monaco basa gran parte delle proprie valutazioni su consulenze da parte di esperti esterni, che hanno caratterizzato le politiche di Monaco sin dagli esordi, venendo frequentemente strumentalizzate per legittimare decisioni politiche in relazione al clima.

Bibliografia:

- Heinelt H. & Lamping W. (2015). Introduction: how to explain differences in urban strategies and measures to deal with climate change, *Urban Research & Practice*, 8:3, 275-282.
- Zimmermann K., Boghrat J. & Weber M. (2015). The epistemologies of local climate change policies in Germany, *Urban Research & Practice*, 8:3, 303-318.

Faenza, il Piano Regolatore dell'Energia

La redazione del Piano Regolatore dell'Energia è rappresentativa della possibile integrazione dei temi energetici nella pianificazione urbana.

Nel corso degli anni, infatti, l'amministrazione Faentina ha dimostrato di essere sensibile alle tematiche della sostenibilità ambientale ed energetica, ottenendo anche risultati encomiabili: il PRG del 1996 del Comune di Faenza ha ricevuto il Primo Premio per lo Sviluppo Sostenibile dall'ENEA. La sostenibilità è stata assunta come strategia fondante degli strumenti di programmazione urbanistica già a partire dal 1998. Il tema del rischio sismico e dei cambiamenti climatici e la conseguente necessità di ridurre le emissioni di anidride carbonica costituiscono, infatti, degli assiomi all'interno degli strumenti urbanistici. In linea con la strategia europea "Europa 2020" in materia di energia e clima e con gli impegni intrapresi dall'Italia in questa cornice, gli strumenti regolatori della città di Faenza definiscono come priorità il risparmio energetico e la riduzione delle emissioni climalteranti. Al fine di trasformare questi temi in azione, il Comune di Faenza ha deciso di introdurre il Piano Regolatore dell'Energia, il quale si pone come tramite tra le strategie di pianificazione urbanistica e le azioni di sviluppo sostenibile che rendono operativi gli indirizzi del governo locale sui temi del risparmio energetico.

Il progetto europeo *ENSURE* ha creato l'occasione per leggere il tema dell'energia, non soltanto dal punto di vista tecnico-impiantistico, ma anche di pianificazione e programmazione della città stessa, attraverso l'immagine dei consumi territoriali in un quadro più ampio. Il Piano Regolatore dell'Energia ha lo scopo di misurare e monitorare l'evoluzione della sostenibilità e delle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio, individuando misure rispondenti alle finalità della pianificazione strutturale.

Il percorso di stesura e di applicazione dello strumento si avvia con una conoscenza del patrimonio edilizio e una raccolta dei dati necessari alla delineazione del profilo energetico caratteristico del territorio faentino. Al fine di definire un quadro conoscitivo completo, sono stati ricostruiti i dati di consumo e di produzione energetica e sono stati correlati alle diverse attività, deducendo i dati di emissioni di anidride carbonica prodotte sul territorio. Dai

risultati è emerso che la prima fonte di emissioni climalteranti sia formata dai consumi negli edifici. Di conseguenza, per comprendere il comportamento energetico degli edifici, in tale fase analitica, sono stati ricostruiti i dati di consumo e di produzione di energia negli edifici, attraverso l'applicazione del modello sviluppato da dall'O et al. al Politecnico di Milano (BEMS), adattato al contesto della città di Faenza. Sono state raccolte le certificazioni energetiche degli edifici, questi sono stati classificati per età, sono state elaborate le rette di correlazione ed è stato valutato il fabbisogno energetico degli edifici da cui sono state sviluppate le mappature energetiche. I risultati di queste analisi sono stati mappati e hanno dimostrato che il 32% dei consumi energetici è attribuibile agli edifici, che risultano per il 68% appartenenti alle classi G ed F e che il consumo energetico maggiore deriva dal riscaldamento. Tali dati di consumo sono stati aggregati e hanno permesso la suddivisione del territorio faentino in ambiti omogenei secondo il fabbisogno energetico degli edifici (Bacini Energetici Urbani) di cui è stato operato il confronto. Alcuni approfondimenti di tale studio sono stati condotti su quartieri di edilizia residenziale pubblica post bellica, in quanto si è ritenuto che un piano che voglia operare per la razionalizzazione dell'energia non possa essere indifferente alle potenzialità di questo ingente patrimonio costruttivo, realizzato oltre 50 anni fa, senza alcuna attenzione alla qualità. La seconda fase del percorso ha previsto la definizione di tre possibili scenari di miglioramento. Il primo è uno scenario tendenziale ottenuto proiettando il consumo energetico attuale in un orizzonte temporale definito di riferimento (*Business as Usual* – BAU). A questo seguono: uno scenario *with Measures* (WM) in cui viene valutato l'effetto delle azioni definite a livello di norme urbanistiche comunali per verificare che queste fossero sufficienti al raggiungimento degli obiettivi; e lo scenario *With measures-Plus* (WMs PLUS) che contiene un panorama di azioni ampliato per assicurare il definitivo conseguimento degli obiettivi. Dallo Scenario BAU si evince che senza la predisposizione di interventi non sia possibile rispettare gli obiettivi imposti al 2020.

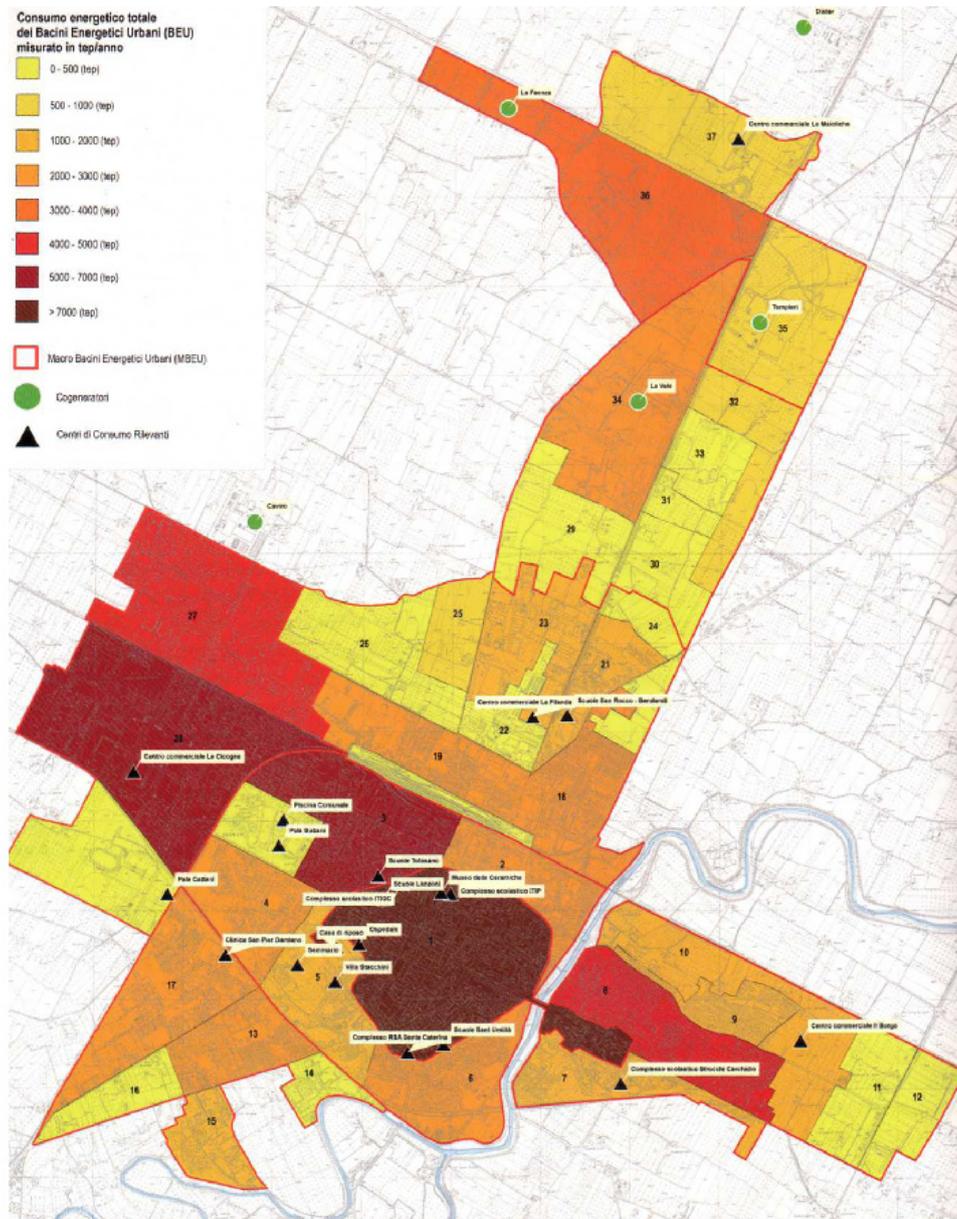


Figura 80: Mappatura dei consumi energetici dei bacini energetici urbani
 Fonte: Comune di Faenza (2013)

Lo scenario WMs, considerato lo scenario di piano, consentirebbe una riduzione dei consumi dell'11,5% rispetto al 2005, non sufficiente al raggiungimento dell'obiettivo del 20% imposto. Tale scenario consiste nella modifica dello scenario BAU in seguito all'adozione di piani o progetti indirizzati a promuovere il risparmio energetico e l'efficienza energetica. Le misure applicate alle simulazioni per lo scenario comprendono azioni indirizzate alla promozione dell'efficienza energetica, selezionate tenendo conto delle

esigenze e delle caratteristiche del territorio e in modo da essere quantificabili e misurabili. Sono state individuate azioni diffuse che potessero produrre benefici ambientali reali, e che coinvolgessero la totalità degli attori pubblici e privati. Le azioni individuate per questo scenario sono classificate in due categorie:

- Azioni sulla normativa urbanistico-edilizia - finalizzate alla promozione del risparmio energetico nei settori, residenziale, artigianale, commerciale e terziario e alla promozione della produzione locale di energia da fonti rinnovabili.
- Azioni dirette dell'amministrazione comunale - finalizzate alla promozione del risparmio energetico e alla valorizzazione delle fonti energetiche rinnovabili nelle azioni di governo del territorio; alla conoscenza dei consumi e della produzione energetica locale; alla promozione di iniziative pubbliche volte alla riduzione dei consumi degli edifici pubblici e alla sensibilizzazione degli *stakeholders*.

Nel primo gruppo risultano particolarmente interessanti e innovative le seguenti azioni da introdurre nel regolamento edilizio sotto forma di norme prestazionali e forme incentivanti:

- Prestazioni energetiche alla scala insediativa che riguardano gli interventi per la gestione dell'energia in nuovi insediamenti oggetto di piani attuativi, ad esempio dovrà essere previsto il teleriscaldamento con cogenerazione per gli insediamenti di grandi e piccole dimensioni.
- Obiettivi di riduzione dei consumi energetici alla scala insediativa dell'edificio. Al fine di raggiungere tali obiettivi sono previsti requisiti di prestazione energetica per gli edifici, più severi rispetto la norma regionale. I requisiti variano per il caso di nuova edificazione o di ampliamenti. Nel caso non sia possibile raggiungere i livelli minimi previsti in sito, viene consentito di procedere all'assolvimento della prestazione a distanza, compensando le emissioni di anidride carbonica in eccesso con equivalente piantumazione di alberi ad alto fusto o finanziando/realizzando interventi su altri edifici.

- Obiettivi di qualità di riduzione dei consumi (incentivi e compensazioni): In alcune circostanze viene riconosciuta la possibilità di ampliare la potenzialità edificatoria mediante incentivi a condizione che vengano realizzati ulteriori prestazioni. Nello specifico, nell'edilizia consolidata, viene concesso un incentivo del 20% nel caso di demolizione e ricostruzione che preveda un indice prestazionale totale estremamente basso; in centro storico al fine di incrementare gli interventi di efficienza energetica puntuali, si stabilisce la cessione all'esterno del centro storico di un quantitativo di superficie utile lorda proporzionale alle emissioni di anidride carbonica risparmiate.

La seconda categoria si riferisce ad azioni programmatiche incluse negli strumenti urbanistici e nel PAES. Tra queste: la predisposizione di un sistema di contabilizzazione energetica, la predisposizione di un piano di sviluppo per il teleriscaldamento, interventi sul patrimonio edilizio pubblico e la relativa disponibilità per la produzione di energia da fonti rinnovabili, promozione di azioni di sensibilizzazione e informazione pubblica.

Lo scenario WM-PLUS prevede azioni maggiorate urbanistiche e fiscali che consentirebbero la riduzione del 20% delle emissioni di anidride carbonica rispetto al 2005. Gli interventi previsti mirano a un incremento delle operazioni sugli edifici esistenti in centro urbano attraverso provvedimenti di tipo fiscale. La fattibilità nell'applicazione di tali misure deve essere ancora confermata a seguito di approfondimenti e valutazioni.

La pianificazione e la programmazione urbanistiche condotte dall'amministrazione faentina hanno segnato una rotta per il superamento del concetto di convergenza tra speculazione edilizia e pianificazione urbana. Gli obiettivi di vivibilità urbana e di valore ambientale entrano pienamente nei dispositivi di piano e il loro raggiungimento passa attraverso la configurazione di strumenti nuovi in cui discipline diverse si integrano con armonia. I temi energetici, la sicurezza, l'identità e la qualità sono trattati con pari grado di attenzione, ai fini di una migliore vivibilità della città. Gli strumenti urbanistici che si sono susseguiti negli anni a Faenza sono esito di un processo più ampio di pianificazione e programmazione e dimostrano di essere in grado di guidare

gli interventi di trasformazione urbana verso l'obiettivo di sostenibilità, utilizzando strumenti aggiornati, che prevedono meccanismi incentivanti, premiali, e compensativi legati agli aspetti energetici.

Il Piano regolatore dell'Energia ha promosso, in particolare, alcune forme innovative di integrazione delle questioni energetiche nella pianificazione territoriale, divenendo il tramite per rendere operative le strategie urbanistiche e lo sviluppo sostenibile. Il Piano è stato redatto in contemporanea con il nuovo piano urbanistico e si dimostra uno strumento flessibile, potendo regolare l'attuazione degli strumenti in base ai diversi obiettivi e aggiustarli di volta in volta secondo le necessità.

Infine il Piano regolatore dell'energia propone un approccio di ripartizione degli oneri energetici sul territorio, distribuendo gli obiettivi da raggiungere equamente tra tutti i settori (edifici, la produzione, il commercio, ...). Tale Piano ha stimolato altri sei comuni della Romagna a perseguire gli stessi obiettivi e strategie energetiche nella predisposizione del proprio Piano Strutturale Comunale (PSC) in forma associata che è stato poi approvato nel 2010.

Bibliografia:

Comune di Faenza (2013). Energia: Il caso di Faenza in Nonni E. (a cura di) *Biourbanistica Energia e Pianificazione*, Valfrido Edizioni, Faenza.

Nonni E. (2013) Il Piano Regolatore dell'energia. Valgimigli Faenza

<http://www.comune.faenza.ra.it/>

Incentivi per la riqualificazione energetica - Il PRG di Trieste

Il Piano Regolatore Generale Comunale di Trieste, approvato nel dicembre 2015 ed entrato in vigore nel maggio del 2016, affronta, tra gli altri, il tema relativo a “Le prestazioni energetiche della città esistente”, nel quadro degli obiettivi più generali di sviluppo sostenibile (Comune di Trieste, 2015a). L’attenzione ai temi di interesse ambientale (quali la sostenibilità, il consumo di suolo e l’efficienza energetica) viene concretizzata contemplando misure specifiche e differenziate, con diversa cogenza normativa di natura ambientale ed ecologica. Gran parte delle azioni delineate dal nuovo PRGC, infatti, mira ad avviare una operazione complessiva di “manutenzione straordinaria” del territorio, determinando un processo di trasformazione che possa rispondere alle istanze legate alla sostenibilità in chiave energetica ed ecologico/ambientale. La riconversione ecologica persegue l’obiettivo generale di migliorare le condizioni di vita in città, individuando misure tese al miglioramento della qualità dell’aria, quali l’uso del verde per la regolazione microclimatica, l’introduzione di un indice di densità arborea ed arbustiva; misure tese al risparmio energetico, quali la realizzazione di tetti giardino e serre solari, la riqualificazione energetica di edifici esistenti con cambio di classe.

La tematica energetica si rivela estremamente trasversale. Poiché attraverso interventi indirizzati alla riduzione dei consumi energetici e al miglioramento dell’efficienza energetica nel settore edilizio vengono interessati altri ambiti e si concorre al raggiungimento sincrono di ulteriori obiettivi urbanistici, la questione energetica diviene un elemento strutturale su cui modellare le strategie di piano relative alle diverse configurazioni urbane definite (città compatta, città discontinua, città pubblica, città nuova). In particolare, le azioni con finalità energetiche sul patrimonio edilizio esistente sono inserite all’interno della strategia dei crediti edilizi per la riqualificazione energetica e, oltre a rispondere alle esigenze derivanti dalle istanze dei cambiamenti climatici, contribuiscono anche alla rivalorizzazione immobiliare,

si confrontano con la tendenza dell'abbandono del centro storico ed assicurano un miglioramento della qualità insediativa oltre che energetica.

Il Piano si basa su una preliminare e consistente fase di analisi, aggiornata rispetto al passato da nuovi apparati analitici predisposti in relazione alle richieste della normativa vigente e alla necessità di ulteriori indagini connesse agli obiettivi assunti dal Piano stesso. L'obiettivo di tali analisi è quello di giungere a una comprensione approfondita del complesso contesto della città di Trieste. Da tali approfondimenti è stato riscontrato come le prestazioni energetiche della città esistente fossero in generale molto basse e che le differenti parti di città mostrassero prestazioni diverse rispetto al consumo energetico offrendo, conseguentemente, varie possibilità di intervento.

Il piano prevede la riqualificazione energetica degli edifici esistenti, in particolare di quelli realizzati negli anni sessanta-settanta del secolo scorso, attraverso lo strumento dei crediti edilizi orientato a favorire la riconversione energetica. Gli incentivi per la riqualificazione energetica sono disciplinati nel capo V delle Norme Tecniche di Attuazione (Comune di Trieste, 2015b) e consistono in premi volumetrici corrisposti nel caso di interventi volti al miglioramento energetico degli edifici, grazie ai quali sia prodotto un quantificabile incremento della prestazione energetica. La volumetria aggiuntiva, rispetto a quella prevista dal Piano, costituisce un credito edilizio che viene accumulato in determinate "zone di decollo" e può essere utilizzato esclusivamente in "zone di atterraggio", individuate e regolate dalle norme stesse. Al contrario, la specifica disciplina dei crediti edilizi è stata demandata ad un regolamento non ancora pubblicato, i cui contenuti generali sono noti e riguardano: i requisiti della riqualificazione energetica, i metodi di calcolo della prestazione energetica, i metodi di attribuzione dei premi in relazione al miglioramento energetico prodotto, tempi e modalità per l'operatività del credito e procedure per la cessione del credito edilizio. Le soglie massime sono state previste già nella fase di redazione del piano sia per il singolo intervento (credito massimo per ogni edificio corrispondente al 10% del volume complessivo esistente) sia a livello territoriale (quantità totale di Crediti Edilizi attivabili sull'intero territorio comunale pari a 350.000 mc). Oltre alla quantità massima, il Piano prevede

anche un limite temporale per l'utilizzo dei crediti, pari a 10 anni. La scelta dei luoghi di cui incentivare la riqualificazione energetica così come quella delle zone "di atterraggio" dei crediti, deriva da approfondimenti analitici che, nel primo caso, hanno messo in luce la difficoltà di trasformazione legata a condizioni fisiche (elementi di pregio, allineamenti stradali, alte densità) e amministrative (complessità e numerosità della proprietà) e nel secondo caso hanno individuato le aree appartenenti alla città discontinua con caratteristiche di bassa densità (indice compreso tra 0,80 e 2,0 mc/mq) e modalità di attuazione di tipo diretto (o indiretto solo nel caso di nuova espansione). Le quantità e le modalità di utilizzo dei crediti variano con le zone di atterraggio, soggette a limiti di cubatura differenziati e configurate per interventi di ampliamento o di nuova edificazione, essendo vigente, dunque, un doppio regime di indici e parametri edilizi.

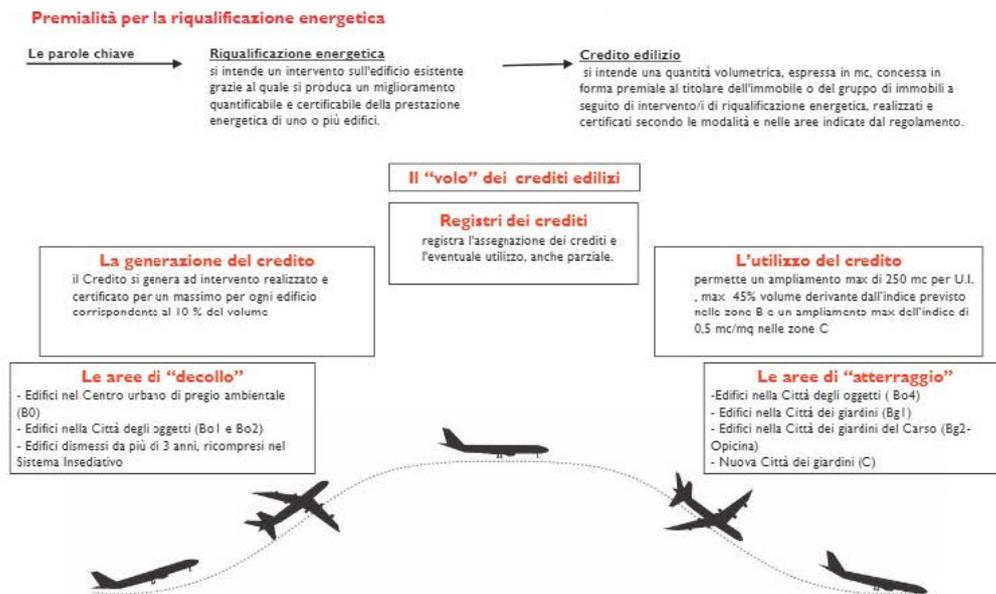
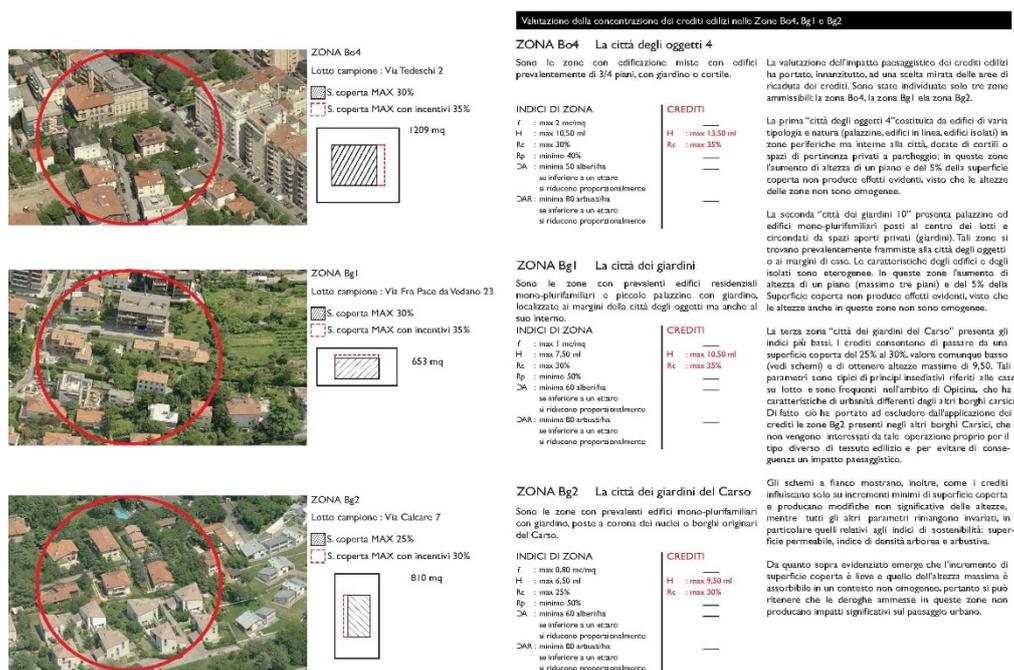


Figura 81: Schema della generazione e attribuzione dei crediti
 Fonte: Genovese (2014)

Entrando nel dettaglio delle aree di decollo e di atterraggio, viene dimostrata la profonda attenzione, condotta nella redazione dello strumento urbanistico, nella categorizzazione tipologica dell'edificato che ha portato a una ridefinizione della zonizzazione, superando l'esclusivo approccio quantitativo, dando

piuttosto attenzione agli aspetti qualitativi e tipologici del costruito e alla loro relazione con lo spazio aperto, pubblico e privato. Si è in presenza, quindi, di una zonizzazione che prevede categorie come 'Bo1 – città degli oggetti 1' o 'Bg1 – città dei giardini. In particolare, le zone di decollo coincidono con quelle della città più dense e meno trasformabili, ai bordi del centro storico, appartenenti alle BO (centro urbano di pregio ambientale), Bo1 e Bo2 (città degli oggetti). Gli ambiti di atterraggio sono individuati specificamente all'interno delle zone Bo4 (Città degli oggetti), delle zone Bg1 (Città dei giardini) e delle zone Bg2 (Città dei giardini del Carso a Opicina). Negli ambiti di "atterraggio" dei crediti è consentito un ampliamento massimo di 250 mc per unità immobiliare, fino ad un massimo del 45% della volumetria esistente; mentre in alcune zone C (Nuova città dei giardini) è consentito un incremento dell'indice territoriale di 0,5 mc/mq che porta ad un massimo di 1,5 mc/mq.



tutela, e quelle soggette ad altre forme di incentivazione, quali della sostituzione e ristrutturazione urbanistica. In tali aree, degradate e parzialmente edificate, così come in quelle “della grande trasformazione”, ambiti che qualora trasformati avrebbero un impatto significativo sul contesto urbano, il tema energetico è affrontato in apposite schede norma che regolano le trasformazioni dell’area.

La parte dello strumento preposta a certificare l’origine, il trasferimento e l’utilizzo dei crediti è il ‘Registro dei Crediti Edilizi’, previsto dall’art. 37 delle Norme Tecniche di Attuazione del PRG. Il Registro costituisce una forma di garanzia di quelle caratteristiche di trasparenza e regolazione che consentono la fattibilità e l’attuazione della maturazione e trasferimento dei crediti.

Il Registro dei Crediti Edilizi è infatti pubblico e gestito dal Comune, deve certificare la generazione dei crediti, gli eventuali passaggi di proprietà degli stessi e il loro utilizzo finale. Il premio volumetrico può infatti essere commercializzato e scambiato e monetizzato, mettendo in campo criticità da essere ancora affrontate relativamente ai costi, alle modalità e ai soggetti coinvolti nella compravendita.

I proprietari degli edifici da cui far maturare il credito sono il soggetto principale per l’attuazione dello strumento. L’azione di riqualificazione energetica è, infatti, in capo al proprietario dell’edificio, il quale accede al meccanismo premiale tramite un comportamento volontario. L’elevata frequenza della frammentazione della proprietà, tipica dei condomini, può determinare difficoltà nel coordinare interventi di riqualificazione che interessino l’intero edificio. In tal senso, ha un peso significativo la selezione delle metodologie per la determinazione delle prestazioni energetiche e per la verifica del relativo miglioramento. Il credito viene, infatti, riconosciuto dall’Amministrazione Comunale a seguito della certificazione dell’avvenuto miglioramento nelle performance energetiche dell’edificio stesso. In seguito la titolarità del credito può essere trasferita ed il credito può essere utilizzato nelle forme e nei limiti indicati dalle Norme Tecniche d’Attuazione.

Nella fase propedeutica alla generazione del credito, le imprese costituiscono un attore molto importante, il quale può beneficiare, grazie all’attivazione dei

crediti, di un ampliamento di una fetta di mercato, negli ultimi anni stagnante. Gli Istituti di credito in questa fase possono favorire l'avvio della procedura attraverso forme nuove di accordi finanziari. Infine, i proprietari di immobili nelle aree di atterraggio rappresentano gli attori che si collocano nella parte conclusiva del processo. Anche quest'ultima classe di soggetti gioca un ruolo importante per stimolare il processo, offrendosi come acquirenti dei crediti edilizi maturati e dunque spingendo i proprietari nelle aree di decollo a intervenire. Oltre a questi soggetti, interessati in via diretta, può essere identificata una varietà di attori coinvolti in maniera indiretta, tra cui i professionisti.

Da quanto emerso, lo strumento dei crediti edilizi, seppur manchi di una delimitazione definitiva, offre diverse potenzialità nel miglioramento delle condizioni ambientali, consentendo la diminuzione dello sfruttamento delle risorse energetiche, abbattendo le emissioni di anidride carbonica e della qualità edilizia, con una riqualificazione indiretta del patrimonio. Le rifiniture tecniche e procedurali di cui necessita lo strumento, proprio per la sua caratteristica di innovazione, sono indirizzate ad una più ampia diffusione nell'attuazione e a garantire l'equità.

Bibliografia:

- Comune di Trieste (2015a). Area Città e Territorio Servizio Pianificazione Urbana, Relazione Generale al Piano Regolatore Generale Comunale.
- Comune di Trieste (2015b). Area Città e Territorio Servizio Pianificazione Urbana, Norme tecniche di attuazione-Piano Regolatore Generale Comunale.
- Genovese, M. A. (2014). Incentivi per la riqualificazione energetica: i crediti edilizi e il regolamento del Comune di Trieste, intervento al convegno "Efficientamento energetico e crediti edilizi: nuove prospettive per la riqualificazione della città". Trieste, 8/10/2014.
- Laterza, R. (2014). La pianificazione tra regolazione e incentivo: nuove modalità di costituzione del rapporto pubblico-privato nel caso triestino. Tesi di laurea in Pianificazione Urbanistica e Territoriale; Dipartimento di Progettazione e Pianificazione in Ambienti Complessi, Università IUAV, Venezia.

<http://www.retecivica.trieste.it/>

Il Carbon Offset Fund

Nel Regno Unito, in particolare, nel corso dell'ultimo decennio si sono diffuse azioni di mitigazione e compensazione correlate alle possibilità edificatorie, successivamente formalizzate nello strumento del *Carbon Offset Fund* (COF). Il *Carbon Offset Fund* rappresenta uno strumento flessibile e strategico per la sostenibilità degli interventi urbani e la loro caratterizzazione *low carbon*. La grande potenzialità del COF sta, infatti, nel proporre un meccanismo di compensazione delle emissioni derivanti da trasformazioni urbane, riducendone gli impatti, e allo stesso tempo di offrire uno strumento economico per il finanziamento di progetti finalizzati alla riduzione delle emissioni e al miglioramento delle condizioni urbane dal punto di vista energetico-ambientale.

Dal dicembre 2006 con il documento consultivo "Building a Greener Future: Towards Zero Carbon Development" (DCLG, 2006a) il concetto di *Zero Carbon Home* è entrato a far parte delle politiche britanniche per la riduzione delle emissioni da gas serra. Contestualmente, è stato pubblicato il *Code for Sustainable Homes* (DCLG, 2006b), che prevede uno standard per la valutazione degli edifici il cui livello più elevato (L6) impone lo standard *zero carbon* (Lester, 2013; DCLG, 2011). Rispetto alla prima definizione, il concetto di *Zero Carbon* ha subito un'evoluzione in termini di principi e considerazioni. La politica prevede che tutti gli edifici residenziali di nuova costruzione siano a emissioni zero dal 2016, estendendo al 2019 l'obbligo per gli edifici ad altra destinazione d'uso. Vengono considerate nella procedura di calcolo soltanto le cosiddette *regulated emissions* cioè le emissioni derivanti da un uso prevedibile di energia (per riscaldamento, raffrescamento, acqua calda e illuminazione).

La politica *zero carbon* si basa su un sistema gerarchico di riduzione di emissioni (O'Rourke, 2010a, 2010b) secondo cui sia possibile raggiungere il livello zero con il solo uso di misure in sito (interventi sull'edificio o tecnologie *low carbon*) oppure mediante misure "a distanza" che permettano una compensazione delle emissioni restanti rispetto ad un livello minimo *Carbon*

Compliance (Zero Carbon Hub, 2012; Zero Carbon Hub, 2013). Le misure sono articolate nei seguenti tre livelli:

1. *Fabric energy efficiency*, basata su interventi di efficienza energetica da introdurre nell'edificio stesso tali da ridurre la domanda di energia e raggiungere almeno lo standard minimo *Fabric Energy Efficiency Standard* (FEES);
2. *Carbon Compliance* è il livello minimo di riduzione di emissioni. Può essere raggiunto mediante misure da adoperare in sito;
3. *Allowable solutions*, basate sull'investimento in misure e progetti "a distanza", vista la difficoltà nel raggiungere l'obiettivo *zero carbon* soltanto attraverso la combinazione dei livelli precedenti.

Nel 2014 viene accolta la possibilità di rispondere in termini di *allowable solutions*, all'abbattimento della mancata quota di emissioni, non eliminate con misure in sito, attraverso lo strumento del *Carbon Offset Fund* (DCLG, 2013; DCLG, 2014). Questo costituisce uno strumento che propone un meccanismo di compensazione della mancata quota di riduzione delle emissioni nell'ambito di progetti di trasformazione urbana. Il "Fondo di compensazione", raccogliendo i contributi per tonnellate di CO₂ non abbattute, canalizza i ricavi in investimenti per altri progetti finalizzati alla riduzione di emissioni.

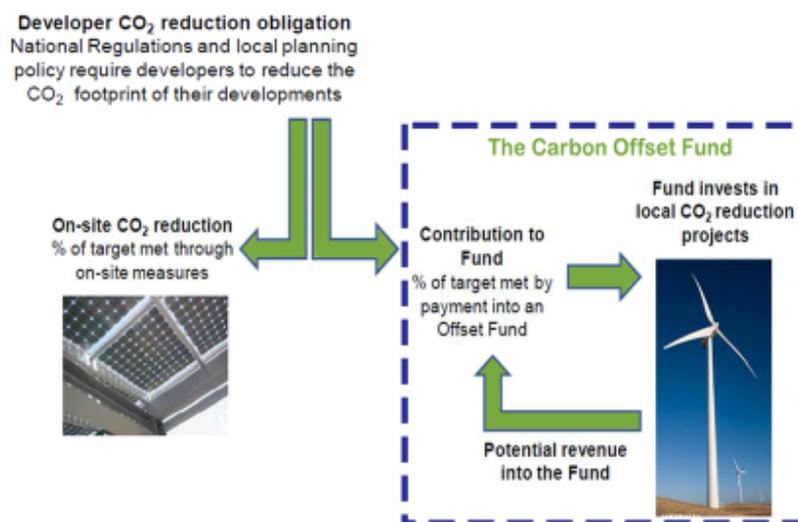


Figura 83: Meccanismo del Carbon Offset Fund
Fonte: Terence O'Rourke (2010)

La costituzione di un fondo di compensazione deriva dall'esigenza di conseguire gli obiettivi di sostenibilità imposti da regolamenti e normative locali e nazionali. Il raggiungimento di tali obiettivi mediante l'esclusiva applicazione di misure in sito risulta spesso troppo onerosa per l'investitore privato o in alcuni casi non attuabile per le caratteristiche fisiche dell'area di intervento. Stabilito un costo per tonnellata di anidride carbonica, viene effettuato il calcolo delle emissioni nette eccedenti i limiti dovute al progetto e viene versata la quota corrispondente all'interno del fondo. In questo modo è possibile finanziare altri progetti, con obiettivi *low carbon* e di riduzione di emissioni, che difficilmente avrebbero, altrimenti un potenziale di realizzazione. Essendo un meccanismo di compensazione, anche per il COF deve essere garantito il principio di addizionalità (McLeod et al., 2012), secondo il quale gli investimenti debbano essere addizionali rispetto a come sarebbero stati senza l'uso del fondo (O'Rourke, 2010a, 2010b).

Alcuni elementi caratteristici dello strumento riguardano:

– La struttura e la gestione del fondo:

Il Fondo può essere gestito interamente da un ente pubblico o può avere una struttura pubblico-privata. Nel Regno Unito sono state elaborate due possibili tipologie di accordo: la partnership e le cosiddette *Special Purpose Vehicles* che comprendono società per azioni e società a responsabilità limitata al cui interno le autorità locali assumono un ruolo ben definito (O'Rourke, 2010a, 2010b).

– I costi per tonnellata:

Essenziale per il corretto funzionamento del meccanismo è la determinazione del costo per ogni tonnellata di anidride carbonica non abbattuta in sito. La scelta della tariffa è determinante per il raggiungimento degli obiettivi ed è rilevante negli impatti socio-economici. La questione del prezzo è stata inserita nella fase consultiva governativa del 2013, il successivo rapporto ha portato alla selezione di tre possibili fasce di prezzo (basso, medio e alto), da sottoporre a revisione triennale per tener conto dei cambiamenti del contesto socio-economico (DCLG, 2013; DCLG, 2014). La scelta corretta del prezzo deve permettere il raggiungimento di un equilibrio tale per cui non si disincentivi la

mitigazione in sito, fissando un prezzo troppo basso, né si renda troppo oneroso il pagamento delle mancate quote di abbattimento delle emissioni, attraverso prezzi di compensazione troppo alti. Sono stati stabiliti, in ogni caso, alcuni criteri imprescindibili nella determinazione del prezzo (Whitter, 2011): metodologie semplici e trasparenti, tariffe equilibrate e legate alla scala di intervento della trasformazione urbana ma anche delle nuove realizzazioni.

– Progetti finanziabili e modalità:

L'obiettivo principale del *Carbon Offset Fund* è assicurare l'abbattimento delle emissioni attraverso il finanziamento di interventi che garantiscano alla comunità almeno una riduzione di emissioni pari a quella per cui gli investitori privati hanno versato le quote. I progetti finanziabili possono essere di diverso tipo e a diversa scala: miglioramenti e realizzazione delle infrastrutture per la produzione e distribuzione dell'energia, agevolazioni per l'efficientamento degli edifici esistenti, investimenti in progetti legati alle energie rinnovabili, piantumazione di nuovi alberi. I progetti sono finanziabili mediante sovvenzioni, contributi diretti e indiretti su progetti pubblici, finanziamenti, compartecipazione pubblica privata o forme societarie. L'investimento in progetti locali di riduzione di emissioni può generare ulteriori ricavi da versare nel fondo stesso. Non essendo uno strumento pienamente istituzionalizzato a livello nazionale, nel Regno Unito le amministrazioni locali hanno scelto autonomamente il metodo più idoneo per raccogliere i fondi e canalizzarli. Uno dei metodi maggiormente diffusi è la *Planning Obligation S106*, il cui potenziale è stato ridotto dall'introduzione, nel 2010, del *Community Infrastructure Levy* (CIL), un contributo fiscale richiesto ai nuovi progetti di trasformazione urbana e nuove realizzazioni con il fine di investire in infrastrutture ripartendone i costi su più investitori. La S106 e il CIL non sembrano tuttavia costituire un appropriato meccanismo di raccolta fondi all'interno di un COF riconosciuto giuridicamente. Una volta convalidate le *Allowable solutions* si pone dunque la questione centrale della ricerca e configurazione dei metodi necessari a prelevare e convogliare i fondi nel *Carbon Offset Fund* attraverso una modifica di quelli esistenti o anche l'istituzione di nuovi.

– Criteri spaziali, temporalità, scala ed equità:

Il *Carbon Offset* è un meccanismo che per le sue caratteristiche permette la separazione degli aspetti localizzativi, finanziando un progetto situato in un luogo diverso da quello da cui provengono i fondi, e degli aspetti temporali in quanto il progetto può essere finanziato in una fase successiva a quella in cui pervengono i fondi. Tale separazione spaziale-temporale costituisce un requisito necessario alla dimensione strategica delle scelte urbanistiche legate alla componente energetica. La scala di azione dei Carbon Offset Fund può essere locale o avere carattere sovracomunale, come nel caso della Contea di Cambridgeshire. Un territorio di azione esteso ed eterogeneo permette infatti l'inclusione di un'ampia varietà di progetti da cui poter ricavare contributi. Dal documento esito delle consultazioni (DCLG, 2014), tuttavia, emerge anche la necessità di un criterio spaziale che leghi il progetto da cui provengono i contributi economici con l'intervento cui si applicano. Dunque, l'individuazione di aree a scala di intervento sovracomunale al cui interno possa aversi una "corrispondenza biunivoca" tra progetti che finanziano il COF e progetti "ricettori" degli investimenti, può garantire una maggiore semplicità di gestione del fondo e la tutela dell'equità.

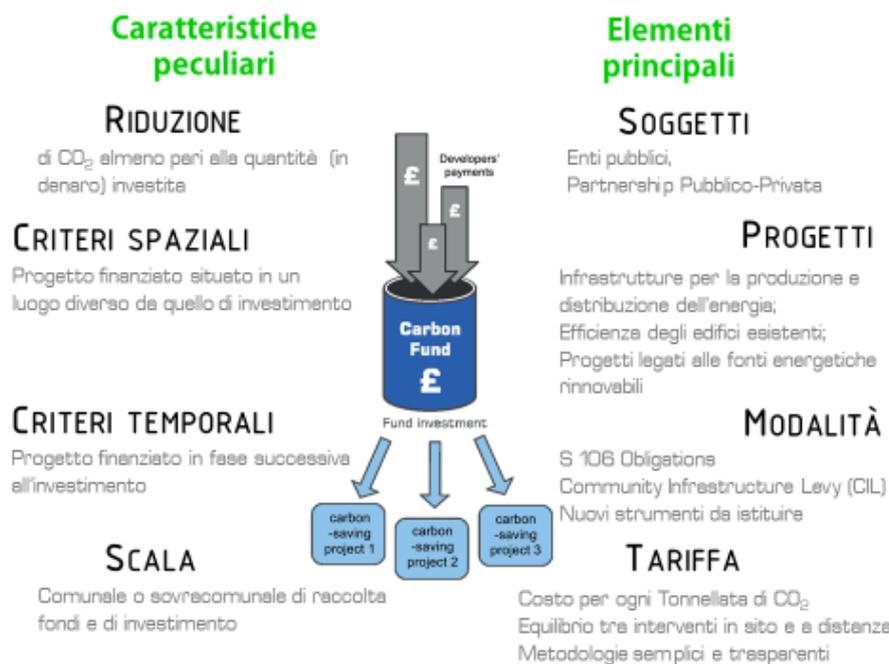


Figura 84: Caratteristiche principali dello strumento Carbon Offset Fund

Da un'altra prospettiva, lo strumento del COF può essere letto come un'ulteriore occasione per imporre oneri legati ai processi di trasformazione edilizia ed urbana. A ovviare questa tendenza, alcune considerazioni e riflessioni possono proporre il COF come uno strumento di contrattazione pubblico-privato della "qualità ed efficienza energetica urbana". In tale direzione il fondo potrebbe divenire una risorsa per guidare le trasformazioni urbane verso il raggiungimento di elevati standard qualitativi in termini di sostenibilità energetico-ambientale, legandolo a precise scelte urbanistiche. Il contributo economico all'interno del COF, legato alle emissioni non abbattute nell'ambito degli interventi di trasformazione, potrebbe essere "scambiato" con interventi progettuali aggiuntivi rispondenti a precisi criteri di qualità urbanistica che rappresentino misure indirette di abbattimento di CO₂, come ad esempio localizzazione degli insediamenti in prossimità dei nodi del trasporto pubblico, contenimento di consumo di suolo, accessibilità ciclo-pedonale, mix funzionale con l'introduzione di funzioni terziarie oltre la residenza, servizi ed attrezzature di pubblica utilità, infrastrutture verdi. La promozione di queste azioni può anche avvenire attraverso un processo di negoziazione con gli investitori immobiliari, mirato ad individuare scelte che riescano a contemperare la redditività dell'investimento con l'efficienza energetica, con un vantaggio collettivo quantificabile e quindi scambiabile con una riduzione dell'onere compensativo. Infine, il COF può essere considerato come uno strumento di transizione, per la gestione dell'"offerta residua" di piani vigenti che non hanno ancora integrato le istanze dell'energia alle scelte strategiche complessive. In tal senso la prospettiva è che in un futuro molto prossimo tale strumento possa essere superato da una nuova generazione di piani urbanistici intrinsecamente *low carbon* e quindi più consapevoli ed attenti alle tematiche del rischio e della sostenibilità da affrontare anche attraverso la chiave di lettura degli aspetti energetici.

Bibliografia:

- Community Infrastructure Levy Regulations 2010 n°948, House of Commons, London.
- DCLG, Department for Communities and Local Government (2006b), Code for Sustainable Homes A step-change in sustainable home building practice, Department for Communities and Local Government, London.
- DCLG, Department for Communities and Local Government (2011b), Community infrastructure Levy- an overview, London.
- DCLG, Department for Communities and Local Government (2013) Next steps to zero carbon homes – Allowable Solutions - impact Assessment.
- DCLG, Department for Communities and Local Government (July 2014), Next steps to zero carbon homes – Allowable Solutions - Government response and summary of responses to the consultation.
- DCLG, Department for Community and Local Government (2006a), Building a greener future: Towards zero carbon development-consultation.
- DCLG, Department For Community and Local Government (May 2011a), Zero Carbon Homes impact assessment.
- Lester, P. (2013), House of Commons Standard Note SN06678 Zero Carbon Home, section Science and Environment
- McLeod, R. S., Hopfe, C. J., Rezgui, Y. (2012). An investigation into recent proposals for a revised definition of zero carbon homes in UK. *Energy Policy* 46, pp. 25-35
- O'Rourke, T., Ltd (2010a) Decarbonising Cambridge: A renewable and low carbon energy study for Cambridge City Council - Final Report, Cambridge.
- O'Rourke, T., Ltd (2010b) Scoping Report: Feasibility of a Carbon Offset Mechanism for Cambridgeshire for Cambridgeshire Horizons - Final Report (Technical Report), Cambridge.
- Privitera R., Palermo V., Martinico F., La Greca P. (2014). Il Carbon Offset Fund: un'opportunità per le trasformazioni urbane Low Carbon. *URBANISTICA INFORMAZIONI*, vol. 257, pp. 67-71.
- Whitter, P. (2011). IPG- Draft Interim Planning Guidance on Climate Change Mitigation, London Borough of Sutton (UK).
- Zero Carbon Hub, AECOM (2012), Informing the Part L 2013 consultation, Fabric Energy Efficiency for part L 2013- Classification Methodology for different dwelling types, Zero Carbon Hub, Milton Keynes.
- Zero Carbon Hub, NHBC Foundation (2012), Allowable solutions, evaluating opportunities and priorities, Zero Carbon Hub, Milton Keynes.
- Zero Carbon Hub, NHBC Foundation (2013), Zero Carbon strategies for tomorrow's new homes, Zero Carbon Hub, Milton Keynes.

Tale capitolo è stato oggetto del contributo scientifico di: Privitera R., Palermo V., Martinico F., La Greca P. (2014). "Il Carbon Offset Fund: un'opportunità per le trasformazioni urbane Low Carbon". *URBANISTICA INFORMAZIONI*, vol. 257, pp. 67-71, ISSN: 0392-5005

Ex Distilleria Neri – Conad, “La Filanda”

Il centro commerciale “La Filanda” sorge su una ex area industriale della città di Faenza, in Emilia Romagna. L'intervento, commissionato da *Commercianti Indipendenti Associati Soc. Coop* e progettato da Alessandro Bucci, riguarda una riqualificazione urbana integrata di un'area che si estende per oltre 12 ettari alle spalle della stazione centrale. Il progetto, definito come “un'area ex industriale restituita alla città”, prevede diverse funzioni, un centro commerciale, di cui parte della superficie di vendita è occupata da CONAD, proprietaria dell'area, e da altri negozi, uffici, residenze e spazi pubblici.

Fino all'inizio del XX secolo l'area costituiva un sito industriale al di fuori della cintura urbana. Trasformata negli anni '30 in cantina vinicola e convertita in distilleria negli anni 50, vi si è condotta attività sino agli anni '90. I confini urbani della città di Faenza, negli anni del boom edilizio, si estesero oltre la linea ferroviaria, che costituiva il limite tra area urbana e zone a destinazione principalmente industriale.



Figura 85: Area di progetto nel 2003

Alcuni problemi ambientali, culminati con un incidente avvenuto nel 1993 e il crescente malcontento cittadino dovuto alla prossimità dell'area con il centro urbano, instaurarono un processo indirizzato alla trasformazione, che può

definirsi chiuso, con la previsione della dismissione dell'area industriale nella variante al PRG del 1997: "Riqualificazione ambientale area distilleria Neri", per la realizzazione di un nuovo quartiere integrato e polifunzionale. Tale variante si dimostrava avveniristica, anticipando questioni e temi ancora attuali. Era previsto, infatti, un dimezzamento degli indici edilizi, entravano in campo gli incentivi volumetrici, prendevano forma concetti quali quelli della bioedilizia, dei consumi energetici, del mix funzionale, delle alte densità e della permeabilità dei suoli. La distilleria interruppe definitivamente la propria attività nel 2003.



Figura 86: Area di progetto nel 2013

L'area è stata acquistata da CONAD – Romagna nel 2004, e, successivamente nel 2006, in seguito all'approvazione di un piano particolareggiato in variante, iniziarono i primi lavori per predisporre l'area alla futura destinazione urbanistica: furono demoliti tutti i capannoni e le cisterne, eseguite le operazioni di bonifica ambientale e bellica, e interrato le linee dell'alta tensione. Dei 12 ettari, 9 sono pubblici, dunque il 70% dell'area è disponibile per usi pubblici, con una completa integrazione tra residenza (50%), commercio (25%) e uffici (25%). Della volumetria di progetto restano ancora disponibili circa 56.000 metri cubi.

L'intervento di riqualificazione urbana dell'area si è configurato come un'occasione per recuperare una zona della città marginale e percepita come segregata a causa della presenza di un muro di recinzione che di fatto isolava la distilleria con il resto della città. La progettazione dell'area ha rispettato i principi e le prescrizioni della scheda norma inserita nel PRG. L'iter di definizione ha avuto avvio con la dismissione della distilleria, le prime bozze del progetto risalgono, infatti, al 2003; i lavori sono stati avviati nel 2010 e conclusi nel 2011. L'inaugurazione del nuovo centro è avvenuta il 24 agosto del 2011.

L'intervento è suddiviso in due comparti autonomi, uno prettamente residenziale non ancora realizzato (Comparto A) e uno che prevede un mix di funzioni che varia dal residenziale al commerciale, e direzionale (Comparto B). I due comparti sono collegati da un'area verde di grandi dimensioni integrata con percorsi ciclabili e pedonali. Sono stati progettati e ceduti ampi spazi pubblici (35.000 mq): aree pedonali, un parco lineare alle spalle del supermercato di collegamento tra i due comparti e parcheggi di servizio alla nuova area e alle zone limitrofe. La viabilità dell'area è stata totalmente rivisitata, migliorando l'accessibilità, sono state realizzate due nuove rotatorie lungo gli assi principali di accesso da nord ed è stata riqualificata a strada di collegamento tra queste (Via San Silvestro).



*Figura 87: Vista del Comparto B dell'area "La Filanda".
Fonte: Alessandro Bucci Architetti*

L'area de "La Filanda" dista poco meno di un chilometro dalla stazione ferroviaria, l'accessibilità pedonale non è però garantita nel suo complesso, non essendo state ancora attivate linee di trasporto pubblico urbano di collegamento, né il sottopasso ciclopedonale di collegamento con la stazione, in progetto. All'interno del sito l'accessibilità pedonale è assicurata in tutte le direzioni e vi sono diversi spazi e collegamenti protetti, una stazione di *bike sharing* "C'Entro in bici", con quattro postazioni, che consente l'uso di biciclette pubbliche per i cittadini e i turisti.

Gli edifici del comparto B sono collegati da una galleria circolare che mette in comunicazione le diverse funzioni. In particolare l'organizzazione funzionale prevede per il volume commerciale, a piano terra funzioni commerciali e al primo piano uffici, con corti di pertinenza esclusiva. Il piano sottostante la galleria ospita il parcheggio che, grazie ad un attento studio delle sezioni rimane al contempo fuori terra e non visibile dalla strada. Il fronte sud dell'area è definito da una sequenza di edifici che ospitano al piano terra le attività commerciali affacciate sulla galleria e ai quattro livelli superiori gli alloggi con diverse pezzature. Sono state realizzate 4 palazzine per un totale di circa 40 alloggi, dei quali più di 30 sono stati già venduti. È prevista la realizzazione di una torre alta 35 metri, a destinazione direzionale che richiama la forma delle vecchie ciminiere.

Il tema della sostenibilità ha accompagnato tutte le fasi del progetto: dal recupero e riutilizzo dei materiali provenienti dalle demolizioni, alla scelta dei materiali, dalla produzione energetica in loco, al mix funzionale. Il complesso consuma, infatti, il 50% di energia in meno rispetto agli edifici della stessa tipologia e con la stessa destinazione d'uso e la stessa estensione superficiale, grazie ad accorgimenti tecnologici relativi all'involucro tra cui infissi a taglio termico e l'isolamento a cappotto a piano terra, che hanno reso gli edifici in classe energetica B o C. Dal punto di vista dell'autoproduzione energetica, è stata prevista l'installazione di pannelli fotovoltaici per un totale di 130 kW (a fronte dei 60 kW imposti per legge) posizionati sulla copertura del supermercato, e l'installazione di pannelli solari termici. Infine sono stati realizzati anche 8.000 metri quadrati di tetti verdi che assicurano la

mitigazione delle temperature estive e un elevato comfort termico e ambientale.



Figura 88: Stralcio tavola 1 del progetto esecutivo relativo al Planivolumetrico
Fonte: Bucci (2009)

L'intervento di riqualificazione presenta caratteristiche urbanistiche e architettoniche di qualità mostrando una metodologia di lavoro che mette insieme disegno urbano ad esigenze urbanistiche. La scelta di intervenire e recuperare un'area industriale mostra una forte sensibilità nei confronti delle questioni ambientali, tutelando i suoli agricoli da una spinta insediativa espansiva. Sintetizzando di seguito alcuni risultati raggiunti, è possibile

dichiarare che l'area vede l'attuazione di molti degli aspetti che rappresentano l'inclusione della questione energetica nel processo di pianificazione urbana: l'area dismessa ha riacquisito dignità ed è stata integrata al resto della città, prevedendo connessioni di mobilità dolce con la stazione centrale.

La rigenerazione urbana dell'ex distilleria, risulta esemplare, soddisfacendo requisiti di qualità edilizia e ambientale, di sostenibilità ambientale ed energetica. È garantito, infatti, un alto standard di efficienza energetica mediante interventi di tipo tecnologico diretto e interventi indiretti di tipo morfologico, funzionale e progettuale. L'alta qualità progettuale dal punto di vista urbanistico e architettonico, inoltre, caratterizza tutti gli spazi: esterni, interni-pubblici e privati.



*Figura 89: Rendering fotorealistici del progetto finale
Fonte: Comune di Faenza (2009)*

Bibliografia:

Montini N. & Piazza I. (2011) a cura di. Conad La Filanda, Faenza. Un'area ex industriale restituita alla città

Comune di Faenza (2009). Progetto esecutivo per la realizzazione di un'area commerciale integrata all'interno dell'ex area Neri- Faenza.

La Filanda in Brochure Alessandro Bucci Architetti

<http://www.piunotizie.it/>

<http://europaconcorsi.com/projects/143850-Alessandro-Bucci-Architetti-La-filanda>

<http://www.comune.faenza.ra.it/>

<http://www.alessandrobucciararchitetti.it>

CONCLUSIONI

Il presente lavoro di ricerca è stato strutturato a partire dalla relazione assiomatica instauratasi tra energia, territorio e rischi climatici. L'ampliamento dei temi di interesse della disciplina urbanistica è rappresentativo della necessità di un processo di aggiornamento che permetta di superare le difficoltà nel comprendere le nuove istanze che agiscono sulle città contemporanee e gestirne impatti e conseguenze. Nella sua veste aggiornata, la pianificazione territoriale assume un ruolo di coordinamento tra le molteplici azioni necessarie per combattere i cambiamenti climatici da intraprendere nelle città, luoghi estremamente vulnerabili e allo stesso tempo fonte degli elevati consumi energetici da cui dipendono le emissioni in atmosfera. Governare le città del futuro implica, dunque, una indispensabile trasformazione dell'approccio della pianificazione tradizionale che possa includere strumenti e metodi rinnovati per raggiungere obiettivi specifici e rispondere a esigenze nuove ed in continua evoluzione. In questa cornice, si inserisce lo strumento analitico-valutativo-progettuale sviluppato in questa ricerca. Tale strumento lega elementi energetici e spaziali tenendo in considerazione le relazioni tra i diversi sistemi urbani. Esso è

finalizzato alla stima dei consumi energetici urbani per indirizzare, anche attraverso analisi di scenario, la configurazione di politiche urbane *site-specific* che possano produrre un efficientamento del sistema energetico urbano. Le differenze nella caratterizzazione energetica del territorio, costituiscono una delle motivazioni alla base dell'indagine conoscitiva, la quale può divenire un indispensabile arricchimento dell'ampio apparato analitico che già correda la disciplina urbanistica. Poiché le differenze nel territorio si registrano sia nei consumi sia negli usi energetici, lo strumento è stato progettato per assicurare ampia flessibilità nell'utilizzo. La componente analitica fornisce indicatori misurabili ed espliciti che consentono di valutare e confrontare la performance energetica complessiva o specifica delle aree urbane. Lo strumento può essere, infatti, applicato in maniera aggregata, per i tre settori o disaggregata, restituendo informazioni sui consumi energetici settore per settore. Entrambe le opzioni possono costituire un valido strumento conoscitivo per orientare le scelte e le politiche di governo del territorio in una prospettiva di riduzione del rischio climatico.

Attraverso la componente valutativo-progettuale dello strumento, possono essere modellati gli effetti che interventi migliorativi e precipue scelte di governo del territorio hanno sul territorio e sulla performance energetica urbana e confrontare gli scenari ottenuti con lo stato di fatto. I sistemi informativi geografici hanno costituito un cardine della procedura metodologica, rappresentando uno strumento ottimale per la definizione di studi multidisciplinari in cui è necessario combinare dati eterogenei rappresentativi di diverse conoscenze che siano finalizzati alla comprensione e alla verifica di specifici fenomeni territoriali. Le mappe ottenute sono dense di significati e, in linea con il ruolo dei sistemi GIS nell'essere degli *spatial decision support system (SDSS)*, permettono di informare di nuovi contenuti il processo di governo del territorio, indirizzarne scelte e strategie. Dall'applicazione dello strumento, inoltre, si ottiene un database informativo versatile che può essere ampliato ed utilizzato per svolgere ulteriori analisi territoriali, sottolineando ancora una volta la potenzialità di integrazione, versatilità e multidisciplinarietà dello strumento.

La metodologia costruita su procedure analitiche, di applicazione generale, che in alcuni casi si rifanno a quelle disposte da enti di normazione riconosciuti, consente una rapida esportabilità delle componenti costitutive dello strumento. In particolare, l'applicazione ad altri contesti territoriali può compiersi mediante l'aggiornamento e la modifica dei valori dei parametri contenuti nella procedura, rappresentativi dei dati relativi alla tecnologia edilizia, alle condizioni climatiche e ai sistemi di trasporto.

La stima delle prestazioni energetiche complessive del caso studio, coincidente con l'area a Nord-Ovest della città di Catania, comprendente il quartiere di Nesima Superiore e parte della zona di Lineri, risulta convergente con i dati medi nazionali. Attraverso la seconda componente dello strumento, si è valutato il decremento dei consumi energetici al variare dell'attuazione di politiche urbane specifiche per l'area oggetto di studio. Dai risultati si evince che è perseguibile per l'ambito territoriale esaminato, un miglioramento della performance energetica complessivo e nei tre settori analizzati, vista la stretta relazione che vi intercorre. In particolare, viene avvalorato il ruolo chiave che le scelte relative alla mobilità hanno sulle politiche energetiche di governo del territorio e viene marcata la potenzialità offerta da tali politiche nell'indirizzare trasformazioni che interessino questioni di sicurezza, qualità e accessibilità urbana a corredo degli aspetti energetici.

Associare a queste scelte di governo del territorio la componente economica, perfezionerebbe lo strumento e, in particolare, informerebbe gli scenari di contenuti determinanti la reale fattibilità e, dunque, l'effettivo raggiungimento dei livelli di efficienza energetica proiettati. Gli aspetti economici potrebbero essere oggetto di eventuali approfondimenti della ricerca, insieme allo studio, all'applicazione e alla valutazione degli impatti sul territorio di recenti strategie e azioni urbanistiche, quali forme incentivanti e compensative.

Ulteriori integrazioni che possono essere condotte, a sottolineare la struttura flessibile e trasversale dello strumento, riguardano l'introduzione di sistemi di produzione di energia rinnovabile, l'inclusione di altri tipi di spostamento, un approfondimento delle questioni morfologiche, per valutare la performance

energetica urbana nel caso di interventi di rigenerazione o di nuovi insediamenti urbani.

Infine, la gestione, all'interno dello strumento, dell'accresciuto grado di complessità nel caso in cui l'ambito urbano sia formato da tessuti storici e di pregio, costituisce un potenziale campo di indagine per future ricerche. In tal senso, le scelte e le condizioni ipotizzate all'interno della componente valutativo-progettuale devono rappresentare opportune politiche territoriali idonee alle caratteristiche storiche ed architettoniche di tali strutture urbane. Questi aspetti rafforzano la convinzione della necessità di un complesso di misure *site-specific*, progettate nel quadro di una strategia comune e finalizzate ad un miglioramento complessivo delle prestazioni energetiche urbane, con l'obiettivo di contribuire alla lotta ai cambiamenti climatici.

BIBLIOGRAFIA

Parte I

- Anderson, K. & Bows, A. (2008). Reframing the climate change challenge in light of post-2000 emissions trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 366, pp. 3863–3882.
- Beck, U. (1992). *Risk Society: Towards new modernity*. London, Sage Publication.
- Bicknell, J., Dodman, D., Satterthwaite, D. Ed. (2009). *Adapting Cities to Climate Change: understanding and addressing the development challenges*. London, Earthscan.
- Biesbroek, G. R., Swart, R. J., van der Knaap, W. G. M. (2009). The mitigation/adaptation dichotomy and the role of spatial planning. *Habitat International*, 33 (3), pp.230–237.
- Boswell, M. R., Greve, A.I., Seale T. L. (2012). *Local Climate Action Planning*, Washington, Island Press.
- Brown, L. (2011). *World on the edge: How to prevent environmental and economic collapse*. London, Earthscan.
- Bulkeley, H. (2006). A changing climate for spatial planning. *Planning Theory and Practice*, 7 (2), pp. 203–214.
- Bulkeley, H. (2010). Cities and the governing of climate change, *Annual Review of Environment and Resources*, 35, pp. 229–253.
- Burkett, V. R., Suarez, A. G., Bindi, M., Conde, C., Mukerji, R., Prather, M. J., ... Yohe, G. W. (2014). Point of departure. In Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White Ed., *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA, pp. 169-194.
- Carter, J. G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J., Kazmierczak, A. (2015). Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. *Progress in Planning*, 95, pp. 1-66.
- Cramer, W., Yohe, G. W., Auffhammer, M., Huggel, C., Molau, U., Da Silva Dias, M. A. F., ... Tibig, L. (2014). Detection and attribution of observed impacts. In: Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (Ed.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA, pp. 979-1037.
- Davoudi, S., Crawford, J., Mehmood, A. (2009). Climate Change and Spatial Planning Responses in Davoudi S., Crawford, J., Mehmood, A. (Ed.) *Planning for Climate change. Strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*, London, Earthscan, pp. 9-17.

- De Ioris, D. (2012). "La pianificazione energetica urbana nei processi di trasformazione della città", Tesi di dottorato della Scuola di Dottorato in Ingegneria Civile e Architettura. Dottorato in Pianificazione Territoriale e Urbana XXIV Ciclo, Università di Roma "La Sapienza".
- Direttiva (2012/27/UE) del parlamento europeo sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE (2012).
- Direttiva (2010/31/EU) del parlamento europeo sulla prestazione energetica in edilizia (2010).
- Direttiva (2009/28/CE) del parlamento europeo e del consiglio recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/ce e 2003/30/CE.
- EC (Commissione Europea). (2010). EUROPA 2020 Una strategia per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva. COM(2010)2020, Brussels.
- EC (Commissione Europea). (2014). La dimensione urbana delle politiche dell'UE – elementi fondanti di una agenda urbana UE. Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. Brussels.
- EEA (European Environment Agency). (2010). The European environment – State and outlook 2010 (SOER 2010). Understanding climate change. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA (European Environment Agency). (2016) su <http://www.eea.europa.eu/> Consultato in Ottobre, 2016.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2011). Politiche e misure nazionali sui cambiamenti climatici. Elementi per una valutazione, Roma.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2013). REA-Rapporto energia e ambiente Scenari e strategie.
- Fistola, R. (2009). GIS – Teoria ed applicazione per la pianificazione, la gestione e la protezione della città. Roma, Gangemi Editore.
- Gossop, C. (2011). Low carbon cities: An introduction to the special issue. *Cities*, 28, pp. 495–497.
- Guerrieri, M., Schibel, K. L., Zara, M. (2014). Il Patto dei Sindaci 2.0 in ISPPRA *Qualità dell'ambiente urbano- focus su le città e la sfida dei cambiamenti climatici -X RAPPORTO* Edizione 2014, Roma.
- Gupta, J. (2007). The multi-level governance challenge of climate change. *Environmental Sciences*, 4 (3), pp.131–137.
- Hamilton, C. (2010). Requiem for a species: Why we resist the truth about climate change. London, Routledge.
- Howard, J. (2009). Climate change Mitigation and Adaptation in Developed Nations: A Critical Perspective on the Adaptation Turn in Urban Climate Planning, in Davoudi S., Crawford, J., Mehmood, A. (Ed.) *Planning for Climate change. Strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*, London, Earthscan, 19-32.
- IEA (International Energy Agency). (2008). World Energy Outlook, Paris, International Energy Agency.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edenhofer, O.,

- R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA.
- Jasanoff, S. (2010). A new climate for society. *Theory, Culture and Society*, 27 (2/3), pp. 233–253.
- Klein, R. J. T., Schipper, E. L. F., Dessai, S. (2005). Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: Three research questions. *Environmental Science and Policy*, 8 (6), pp. 579–588.
- Kumar, P. & Geneletti, D. (2015). How are climate change concerns addressed by spatial plans? An evaluation framework, and an application to Indian cities. *Land Use Policy*, n. 42, pp. 210–226.
- Lash, S. & Wynne, B. (1992). Introduction to Beck U. (1992) Risk Society: Towards new modernity. London, Sage Publication.
- Lindseth, G. (2004). The cities for climate protection campaign (CCPC) and the framing of local climate policy. *Local Environment* 9 (4), pp. 325–336.
- Morgera, E., Kulovesi, K., Munez, M. (2011). Environmental Integration and Multi-faceted International Dimensions of EU Law: Unpacking the EU's 2009 Climate and Energy Package'. *Common Market Law Review*, 48 (3), pp. 829–891.
- Moser, C. & Satterthwaite, D. (2009). Towards pro-poor adaptation to climate change in the urban centres of low- and middle-income countries. In Mearns, R. & Norton A. (Ed.) *Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World*, World Bank, Washington, DC, USA, pp. 231-258.
- Musco, F. & Magni, F. (2014). UHI nel contesto ampio del CC : pianificazione, città e clima. In Musco F. & Fregolent L. (a cura di) *Pianificazione urbanistica e clima urbano*. Manuale per la riduzione dei fenomeni di isola di calore urbano, Padova, Il Poligrafo casa editrice srl.
- O.J. (Official Journal of European Union) L 140/1, Atti adottati a norma dei trattati CE/Euratom la cui pubblicazione è obbligatoria del 5 Giugno 2009.
- Pacione, M. (2009). Urban geography – a global perspective. New York, Routledge.
- Palermo, V., Martinico, F., La Greca, P. (2016). Dalla parte dell'energia: la dimensione locale nella risposta ai cambiamenti climatici. in *Atti della XIX Conferenza SIU, "Cambiamenti"*, Planum Publisher in press.
- Pasimeni, M. R., Petrosillo, I., Aretano, R., Semeraro, T., De Marco, A., Zaccarelli, N., Zurlini, G. (2014). Scales, strategies and actions for effective energy planning: A review. *Energy Policy*, 65, pp. 165–174.
- Ranhagen, U. & Lundström, M. J. (2016). The sustainable municipality planning approach in the SPECIAL Project- *Bringing Spatial and Energy Planning Together* Special Issue of The Journal of the Town and Planning Association, 85 (2).
- Revi, A., Satterthwaite, D. E., Aragón-Durand, F., Corfee-Morlot, J., Kiunsi, R., Pelling, M., ... Solecki, W. (2014). Urban areas. In: Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White, (Ed). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA, pp. 535-612

- Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Hammer, S. A., Mehrotra, S. (Ed.). (2011). Climate change and cities first assessment report of the urban climate change research network. Cambridge, Cambridge University Press.
- Stern, N. (2007). The Economics of Climate Change. The Stern Review. Cambridge, Cambridge University Press.
- Swart, R., Prutsch, A., Grothmann, T., Schauser, I., McCallum, S. (2014). Avoid Maladaptation. In Prutsch A., Grothmann, T., McCallum, S., Schauser, I., Swart R. (Ed.). *Climate Change Adaptation Manual: Lessons Learned from European and Other Industrialized Countries*, London, Routledge, 224-245.
- World Bank. (2009). World Development Report 2010: Development and Climate Change. Washington, DC, The World Bank.
- UN DESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs) Population Division, (2012): World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. New York, NY, USA, su esa.un.org/unpd/wup/index.htm
- UNFCCC (1992). Convenzione quadro sui Cambiamenti Climatici, Rio de Janeiro su <https://unfccc.int/>
- UNHABITAT (United Nations Human Settlements Programme). (2008). State Of The World's Cities-Harmonious Cities. London, Sterling, Earthscan.
- UNHABITAT (United Nations Human Settlements Programme). (2016). Energy su: <http://unhabitat.org/urban-themes/energy> consultato in Ottobre 2016.
- VijayaVenkataRaman, S., Iniyan, S., Goic, R. (2012). A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), pp. 878–897.
- Velardi, M. (2011). Le strategie europee in *Politiche e misure nazionali sui cambiamenti climatici elementi per una valutazione*. ENEA, Roma.
- Walsh, C.L., Dawson, R. J., Hall, J. W., Barr, S. L., Batty, M. et al. (2011). Assessment of climate change mitigation and adaptation in cities. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning*, 164(2), pp.75-84.
- While, A. & Whitehead, M. (2013). Cities, Urbanisation and Climate Change. *Urban Studies*, 50, p. 1325–1331.

Siti web:

- <https://habitat3.org/the-new-urban-agenda>
- <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/cambiamenti-climatici/convenzione-quadro-sui-cambiamenti-climatici-e-protocollo-di-kyoto>
- <http://www.pattodeisindaci.eu/>
- <http://www.energy-cities.eu/-Initiatives-Campaigns->
- <http://www.iclei.org/about/who-is-iclei/faq.html>
- <http://www.cop21.gouv.fr/en/more-details-about-the-agreement/>
(<http://climatesummitlocalleaders.paris>)
- <http://www.afriquelocale.org/en>
- <http://www.wrirosscities.org/our-work/project-city/urban-resilience-planning>
- <http://urbanagendaforthe.eu/>
- <http://urbanagendaforthe.eu/pactofamsterdam/twelve-themes/>
- http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it
- http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it

Parte II

- Ackermann, T., Andersson, G., Söder, L. (2001). Distributed generation: A definition. *Electric Power Systems Research*, 57 (3), pp. 195–204.
- Adil, A. M. & Ko, Y. (2016). Socio-technical evolution of Decentralized Energy Systems: A critical review and implications for urban planning and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, pp. 1025–1037.
- Alanne, K. & Saari, A. (2006). Distributed energy generation and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10 (6), pp. 539–558.
- Alberti, V. (2014). Energie rinnovabili e sviluppo locale: una nuova sfida per la pianificazione, in De Pascali P. (a cura di) *L'energia per le trasformazioni del territorio*, Milano, Franco Angeli.
- Alcamo, J., van Vuuren, D., Ringler, C., Cramer, W., Masui, T., Alder, J., Schulze, K. (2005). Changes in nature's balance sheet: model-based estimates of future worldwide ecosystem services. *Ecology and Society*, 10 (2), pp. 19.
- ALTERENERGY (2015). D3.6 - Sviluppare una pianificazione energetica integrata, Modugno (BA), Ragusa Service srl.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15, pp. 73–80.
- Banister, D., Watson, S., Wood, C. (1997). Sustainable cities: Transport, energy, and urban form. *Environment and Planning B-Planning & Design*, 24, pp. 125–143.
- Biesbroek, G. R., Swart, R. J., van der Knaap, W. G. M. (2009). The mitigation-adaptation dichotomy and the role of spatial planning. *Habitat International*, 33, pp. 230–237.
- Boardman, B., Darby, S., Killip, G., Hinnells, M., Jardine, C. N., Palmer J., Sinden G. (2005). 40% house. Environmental Change Institute, University of Oxford.
- BPIE (Buildings Performance Institute Europe). (2011). Europe's Buildings Under the Microscope. Brussels.
- Caldeira, K., Jain, A.K., Hoffert M. I. (2003). Climate Sensitivity Uncertainty and the Need for Energy Without CO2 Emission, *Science*, 299, pp. 2052-2054
- Calthorpe, P. (1993). *The Next American Metropolis: Ecology, Community and the American Dream*, New York, Princeton Architectural Press.
- CCE (COMMISSIONE PARLAMENTO EUROPEO), Comunicazione 490 (2009) - COM (2009)490. Piano d'azione sulla mobilità urbana.
- Cervero, R. (2012). Transit Oriented Development: A Conversation with Professor Cervero, Berkley Transportation Letter, University of California.
- Dale, V. H., Efroymson, R. A., Kline, K. L., (2011a). The land use–climate change–energy nexus. *Landscape Ecology*, 26, pp. 755-773.
- Dale, V. H., Wright, L., Kline, K. L., Perlack, R., Graham, R. L., Downing, M. (2011b). Interactions between bioenergy feed-stock choices and landscape dynamics and land use. *Ecological Application*, 21 (4), pp. 1039–1054.
- Dalkmann, H. & Brannigan, C. (2007). Transport and Climate Change. Module 5e, *Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities*. Germany: GTZ.
- Dalkmann, H. & Brannigan, C. (2012). Urban Transport and Energy Efficiency Module 5h, *Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities*.
- Davoudi, S., Crawford, J., Mehmood, A. (2009). Climate Change and Spatial Planning Responses in Davoudi S., Crawford, J., Mehmood, A. (Ed.) *Planning for Climate*

- change. Strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*, London, Earthscan, pp. 9-17.
- Davoudi, S. (2009b). Framing the role of spatial planning in climate change, in GURU - Global Urban Research Unit. Electronic Working Paper, 43.
- DCLG (Department for Communities and Local Government). (2006). Code for sustainable home. A step-change in sustainable home building practice. Communities and Local Government Publications, West Yorkshire.
- De Ioris, D. (2012). "La pianificazione energetica urbana nei processi di trasformazione della città", Tesi di dottorato della Scuola di Dottorato in Ingegneria Civile e Architettura. Dottorato in Pianificazione Territoriale e Urbana XXIV Ciclo, Università di Roma "La Sapienza".
- De Pascali, P. (2013). Le caratteristiche della città fisica e i consumi energetici, in De Pascali P. (a cura di) *Temi di sostenibilità eco energetica per la riqualificazione urbana*, Roma, Orienta Edizioni.
- De Pascali, P. (2014). Evidenze territoriali dell'energia e modelli di localismo energetico per il piano, in De Pascali P. (a cura di) *L'energia per le trasformazioni del territorio*, Milano, Franco Angeli Editore.
- De Pascali, P. (2013b). Territorializzazione dei consumi in Italia, in De Pascali P. (a cura di) *Temi di sostenibilità eco energetica per la riqualificazione urbana*, Roma, Orienta Edizioni.
- Di Pasqua, G. (2013a). Densità insediativa, in De Pascali P. (a cura di) *Temi di sostenibilità eco energetica per la riqualificazione urbana*, Roma, Orienta Edizioni.
- Di Pasqua, G. (2013b). Organizzazione funzionale, in De Pascali P. (a cura di) *Temi di sostenibilità eco energetica per la riqualificazione urbana*, Roma, Orienta Edizioni.
- EC (Commissione Europea). (2007). Green Paper Towards a new culture for urban mobility. COM (2007) 551 final.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2011). Quaderno L'Efficienza nel settore delle reti energetiche, Frascati.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2012). RAE-Rapporto sull'Efficienza energetica 2011, Roma.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2014a). Piano d'Azione Italiano per l'Efficienza Energetica. Roma.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2014b). Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2015. Roma.
- Ewing, R. & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment. *Journal of the American Planning Association*, 76, pp. 265-294.
- Friedman, K. & Cooke, A. (2011). City Versus National Energy Use: Implications For Urban Energy Policy and Strategies. *Procedia Engineering*, 21, pp. 464-472.
- Friedman, N. (2006). It's About How and Where We Build: Connecting Energy and Smart Growth 1, *Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 11, pp. 11-48.
- Gaeta, L., Janin Rvolin, U., Mazza L. (2013). Governo del territorio e pianificazione spaziale, Novara, CittàStudi DeAgostini.
- Gabellini, P. (2001). Tecniche Urbanistiche, Roma, Carocci.
- Haas, T. (2012). Sustainable Urbanism and Beyond: Rethinking Cities for the Future, New York, Rizzoli International.
- Hafele, W. (1980). Medium and long-term perspectives of energy. Strategies in a Finite

- World. In *Planning and Energy*, International Society of City and Regional Planners (SOCARP) Congresso Strasburgo 1979. Studienunterlagen zur Orts-, Regional-und Landesplanung. Aprile 1980.
- Hansen, W.G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use, *Journal of the American Institute of Planners*, 25, pp. 73–76.
- IEA (International Energy Agency). (2009). Transport energy CO2 - Moving Toward Sustainability, Paris, International Energy Agency.
- IEA (International Energy Agency). (2012). Renewables Information, Paris, International Energy Agency.
- Ingram, D. R. (1971). The concept of accessibility: A search for an operational form, *Regional Studies*, 5, pp.101–107.
- Inturri, G. & Ignaccolo, M. (2016). Making the connection – energy, transport and urban planning. An integrated approach to improving the energy efficiency of transport systems. Special Expert Paper.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA.
- ISOCARP (International Society of City and Regional Planners). (1980). Planning and Energy. Compiled by the Institut pour l'Aménagement National, Regional et Local de l'Ecole Polytechnique Federale de Zurich. ISOCARP, The Hague. (Based on the XIV ISOCARP Congress Planning and Energy, Strasbourg, August– September 1979).
- L. 90/2013, LEGGE 3 agosto 2013, n. 90. Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63. Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione. avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale. Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63
- L. 208/2015, LEGGE 28 dicembre 2015, n. 208. Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge di stabilita' 2016).
- La Greca, P. & Martinico, F. (2016). Energy and Spatial Planning: A smart integrated approach in Fistola R., Papa R. (ed.), *Smart Energy in the Smart City*, Cham, Springer International Publishing, pp. 25-42.
- Litman, T. (2014). Land Use Impacts on Transportation. How Land Use Factors Affect Travel Behavior. Victoria, BC: Victoria Transport Policy Institute. Su www.vtpi.org/landtravel.pdf
- Madlener, R. & Sunak, Y. (2011). Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustainable Cities and Society*, 1 (1), pp. 45–53.
- MSE Ministero dello Sviluppo Economico - Bilancio energetico nazionale 2013, su <http://dgsaie.mise.gov.it/dgerm/ben.asp>.
- ODYSSEE-MURE (2015) Synthesis: Energy Efficiency Trends and Policies in the EU An Analysis Based on the ODYSSEE and MURE Databases.
- Owens, S. (1986). Energy, Planning and urban form, London, Pion Ltd.

- Owens, S. & Hope, C. W. (1989). Energy and environment. *Energy Policy* 17 (2), pp. 97–102.
- Owens, S. (1992). Land-Use Planning for energy efficiency. *Applied Energy*, 43, pp. 81–114.
- Pappalardo, V., La Rosa, D., Martinico, F., Campisano, A. (2016). Le Infrastrutture verdi nelle politiche urbane e nei loro strumenti: verso la gestione sostenibile delle acque meteoriche. in AA.VV., *Atti della XIX Conferenza Nazionale SILU, "Cambiamenti"*, Planum publisher, in press.
- Pasimeni, M. R., Petrosillo, I., Aretano, R., Semeraro, T., De Marco, A., Zaccarelli, N., Zurlini, G. (2014). Scales, strategies and actions for effective energy planning: A review. *Energy Policy*, 65, pp. 165–174.
- Ratti, C., Baker, N., Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings*, 37(7), pp. 762–776.
- Rickwood, P., Glazebrook, G., Searle, G. (2008). Urban Structure and Energy—A Review, *Urban Policy and Research*, 26, pp. 57–81.
- Rutter, P. & Keirstead, J. (2012). A brief history and the possible future of urban energy systems. *Energy Policy*, 50, pp.72-80.
- Sims, R., Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Núñez, X., D'Agosto, M., Dimitriu, D., Figueroa Meza, M.J., Fulton, L., Kobayashi, S., Lah, O., McKinnon, A., Newman, P., Ouyang, M., Schauer, J.J., Sperling, D., Tiwari, G. (2014). Transport. In: Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (Ed.). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA.
- Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, 35, pp. 3–14.
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2008). Green Jobs. Towards decent work in a sustainable, low carbon world. Washington, DC.
- UNHABITAT (United Nations Human Settlements Programme). (2008). State Of The World's Cities-Harmonious Cities. London, Sterling, Earthscan.
- UNHABITAT (United Nations Human Settlements Programme). (2012). Sustainable urban energy. A Sourcebook for Asia Sustainable Urban Energy: A Sourcebook for Asia. Nairobi, UNHABITAT su: www.unhabitat.org.
- Wachs, M. & Kumagai, T. G. (1973). Physical accessibility as a social indicator, *Socio-Economic Planning Sciences*, 7, pp. 437–456.
- Walsh, C.L., Dawson, R. J., Hall, J. W., Barr, S. L., Batty, M. et al. (2011). Assessment of climate change mitigation and adaptation in cities. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning*, 164 (2), pp.75-84.
- Wilbanks, T.J., Bhatt, V., Bilello, D.E., Bull, S.R., Ekmann, J., Horak, W.C., Huang, Y.J., Levine, M.D., Sale, M.J., Schmalzer, D.K., Scott, M.J., (2007). Introduction in Effects of Climate Change on Energy Production and use in the United States. Department of Energy. Office of Biological & Environmental Research, Washington, DC.
- Wilkinson, P., Smith, K. R., Beevers, S., Tonne, C., Oreszczyn, T. (2007). Energy and Health. Energy, energy efficiency, and the built environment. *The Lancet*, 370, pp. 1175–1187.

- World Bank. (2009a). *The Little Green Data Book 09*. Washington, DC, The World Bank.
- World Bank. (2009b). *World Development Report 2010: Development and Climate Change*. Washington, DC, The World Bank.
- World Bank. (2010). *Cities and Climate Change: An Urgent Agenda*. Washington, DC, The World Bank.
- Zanon, B. & Verones, S. (2013). Climate change, urban energy and planning practices: Italian experiences of innovation in land management tools. *Land Use Policy*, 32, pp. 343–355.

Siti web:

EUROSTAT (2015) <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php>
www.vtppi.org/landtravel.pdf

Parte III.

- ADE (Association for decentralised energy, 2014) What are Energy maps? Su http://www.theade.co.uk/energy-maps_245.html Consultato in ottobre, 2016
- Amer, M., Daim, T., U., Jetter A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, pp. 23-40.
- Amin, A. & Thrift, N. (2005). Città: ripensare la dimensioni urbana, Bologna Il Mulino.
- Ascione, F., De Masi, R. F., de Rossi, F., Fistola, R., Sasso, M., Vanoli, G. P. (2013). Analysis and diagnosis of the energy performance of buildings and districts: Methodology, validation and development of Urban Energy Maps. *Cities*, 35, 270–283.
- Batty, M. (2012). Building a science of cities. *Cities* 29, pp. 9-16.
- BPIE. (2011). Europe's Buildings Under the Microscope. Brussels.
- Bulkeley, H., Schroeder, H., Janda, K., Zhao, J., Armstrong, A., Chu, S.Y., Ghosh, S. (2011). The Role of Institutions, Governance, and Urban Planning for Mitigation and Adaptation. In Hoornweg, D., Frire, M., Lee, M., Bhada, P. and B. Yuen (Ed) *Cities and Climate change. Responding to an urgent agenda*. Chapter 5, pp. 125-159.
- Byrd, H., Ho, A., Sharp, B., Kumar-Nair, N. (2013). Measuring the solar potential of a city and its implications for energy policy. *Energy policy*, 61, pp. 944-952.
- Canadian Urban Institute (2008). Energy mapping study. Calgary.
- Carta, M. (1996). Pianificazione Territoriale e Urbanistica. Dalla conoscenza alla partecipazione. Laboratorio di Pianificazione Territoriale. Edizioni Medina.
- Caputo, P., Costa, G., Ferrari, S. (2013). A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale. *Energy Policy*, 55, pp. 261-270.
- Chermack, T.J., Lynham, S.A., Ruona W. E. A. (2001). A review of scenario planning literature. *Futures Research Quarterly*, 17, pp. 7–31.
- Corrado, V., Ballarini I., Corgnati S. P. (2012). National scientific report on the TABULA activities in Italy. Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (TABULA). Politecnico di Torino.
- Dall'O', G., Galante, A., Torri, M. (2012). A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale. *Energy and Buildings*, 48, pp. 211–219.
- Dato, G. (1983). La città di Catania. Forma e struttura, Roma, Officina Edizioni.
- Decreto Interministeriale 26 giugno 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- Decreto Ministeriale 26 giugno 2009. Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.
- Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192. Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.
- Decreto Presidenziale 26 agosto 1993 n. 412. Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10.
- Decreto Ministeriale Sanità 5 luglio 1975. Modificazioni alle istruzioni ministeriali del 20 giugno 1896, relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali

- dei locali di abitazione.
- De Pascali, P. (2013). Territorializzazione dei consumi in Italia in De Pascali P. (a cura di) *Temî di sostenibilità eco energetica per la riqualificazione urbana*, Roma, Orienta Edizioni.
- Dulal, H. B., Brodnig, G., Onoriose, C. G. (2011). Climate change mitigation in the transport sector through urban planning: a review. *Habitat International*, 35, pp. 494-500.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) (2011). Politiche e misure nazionali sui cambiamenti climatici. Elementi per una valutazione. Roma.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) (2013). REA-Rapporto energia e ambiente Scenari e strategie.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) (2014a). Piano d'Azione Italiano per l'Efficienza Energetica. Roma.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) (2014b). Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2015. Roma.
- Faludi, A. (1973), *Planning Theory*, Oxford, Pergamon.
- Fichera, A., Inturri, G., La Greca, P., Palermo, V. (2016). A model for mapping the energy consumption of buildings, transport and outdoor lighting of neighbourhoods, *Cities*, 55, pp. 49-60
- Fistola, R., Papa, R., Pascale, C. (2005). Ambienti innovativi per lo sviluppo della conoscenza del territorio: il GIS del progetto Traiano. Convegno del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Genova, 15-16 febbraio 2005.
- Fistola, R. (2009). GIS – Teoria ed applicazione per la pianificazione, la gestione e la protezione della città. Roma, Gangemi Editore.
- Hall, J. W., Dawson, R. J., Walsh, C. L., Barker, T., Barr, S. L. et al. (2009). *Engineering Cities: How can cities grow whilst reducing emissions and vulnerability?* Newcastle University.
- Heiple, S. & Sailor, D. (2008). Using building energy simulation and geospatial modelling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles. *Energy and Buildings*, 40 (8), pp. 1426–1436.
- Henckel, D., Thomaier, S., Konecke, B., Zedda, R., Stabilini, S. (2013). *Space-time Design of the Public city*. New York, London, Springer Dordrecht Heidelberg.
- Hiltunen, E. (2009). Scenarios: process and outcome. *Journal of Futures Studies*, 13, pp. 151–152.
- Howard, B., Parshall, L., Thompson, J., Hammer, S., Dickinson, J., Modi, V., (2012). Spatial distribution of urban building energy consumption by end use. *Energy and Buildings*, 45, pp.141–151.
- ISFORT (Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti) (2012). All'Ombra della Crisi. 9° Rapporto sulla mobilità urbana in Italia -Rapporto finale - Desenzano del Garda, 24 maggio 2012.
- INTENSE energy efficiency (2009). Background paper- Holistic planning for energy optimised municipalities, Intelligent Energy Europe Program.
- Inturri, G. & Ignaccolo, M. (2016). Making the connection – energy, transport and urban planning. An integrated approach to improving the energy efficiency of transport systems. Special Expert Paper.
- Inturri, G., Ignaccolo, M., Pira, M. Le, Mancuso, V., Capri, S. (2014). Analysis of land use

- and mobility scenarios for the reduction of transport energy in the urban area of Catania. In *Proceedings of the Second International Conference on Traffic and Transport Engineering*, pp. 692–700. Belgrade.
- Jacobsen, H. K. (1998). Integrating the bottom-up and top-down approach to energy economy modelling: the case of Denmark. *Energy Economics*, 20 (4), pp. 443–461.
- Jones P., Lannon S., Rosenthal H. (2009). Energy Optimisation Modelling, 45th ISOCARP Congress 2009.
- Jones P., Patterson J., Lannon S. (2007). Modelling the built environment at an urban scale – energy and health impacts in relation to housing. *Landscape and Urban Planning*, 83, pp. 39-49.
- Jones, P., Williams, J., Lannon, S. (2000). Planning for a sustainable city: an energy and environmental prediction model. *Journal of Environmental Planning and Management*, 43, pp. 855–872.
- Joseph, C. F. (2000). Scenario planning. *Technological Forecasting and Social Change*, 65, pp. 115–123.
- Kavgic, 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), pp. 1683–1697.
- Köhler, J., Ristimäki, M., Vigié, V., Felieu, E., Zachary, D. et al. (2014). A review and analysis of quantitative integrated environmental assessment methods for urban areas in Dawson R.J., Wyckmans A., Heidrich O., Köhler J., Dobson S. and Felieu E. (Ed.). *Understanding Cities: Advances in integrated assessment of urban sustainability, Final Report of COST Action TU0902*, Centre for Earth Systems Engineering Research (CESER), Newcastle, UK.
- Komely A. & Srinivasan R. (2015). A need for balanced approach to neighborhood sustainability assessments: A critical review and analysis. *Sustainable Cities and Society*, 18, pp. 32–43.
- Lascombes, P. & Le Gales, P. (2009). *Gli strumenti per governare*, Milano, Bruno Mondadori.
- Marique, A. & Reiter, S. (2012). A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. *HVAC&R Research*, 18 (June 2014), pp. 37–41.
- Naess, P. (2005). Residential location affects travel behavior—but how and why? The case of Copenhagen Metropolitan Area. *Progress in Planning*, 65, pp. 167-257.
- Palermo, V. & Pappalardo, V. (2016). *Le città e i rischi territoriali. Nuovi temi e strumenti per la pianificazione delle aree urbane. Il Progetto Sostenibile*, 38, Edicom Edizioni.
- Pereira, I. M., Assis, E. S. (2013). Urban energy consumption mapping for energy Management. *Energy Policy*, 59, pp. 257–269.
- Ramachandra, T.V. & Shruthi, B.V. (2007). Spatial mapping of renewable energy Potential. *Renewable and sustainable energy review*, 11 (7), pp. 1460-1480.
- Ratti, C., Baker, N., Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings*, 37(7), 762–776.
- Reiter, S. & Marique, A. F. (2012). Toward Low Energy Cities: A Case Study of the Urban Area of Liège, Belgium. *Journal of Industrial Ecology*, 16 (6), pp. 829-838.
- Rizzo, G. (2009). Analisi dello stato dell'arte nazionale ed internazionale dei sistemi integrati di illuminazione naturale/artificiale in relazione all'involucro edilizio nel caso

- di edifici del terziario e abitativi, ai fini di un loro impiego nell'ambito della certificazione energetica degli edifici. Report RSE/2009/14 ENEA.
- Rode, P., Keim, C., Robazza, G., Viejo, P., Schofield, J. (2014). Cities and energy: Urban morphology and residential heat-energy demand. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41, pp.138–162.
- Rodríguez-Álvarez, J. (2016). Urban Energy Index for Buildings (UEIB): A new method to evaluate the effect of urban form on buildings' energy demand. *Landscape and Urban Planning*, 148, pp. 170-187.
- Rylatt, M., Gadsden, S., Lomas, K. (2001). GIS-based decision support for solar energy planning in urban environments. *Computers Environment and Urban System*, 25 (6), pp. 579–603.
- Santini, E. & Fasano, G. (2009). Caratterizzazione dei consumi energetici nazionali delle strutture ad uso ufficio. ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). Roma.
- Saunders, M. J., Kuhnimhof, T., Chlond, B., Rodrigues da Silva, A. N. (2008). Incorporating transport energy into urban planning. *Transportation Research: Part A*, 42, pp. 874-882.
- Stojanović, M., Mitković, P., Mitković, M. (2014). The scenario method in urban planning. *Facta Universitatis: Architecture and Civil Engineering*, 12 (1), pp. 81 – 95.
- Swan, L. G. & Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (8), pp. 1819–1835.
- Swan, L. (2010). Residential Sector Energy and GHG Emissions Model for the Assessment of New Technologies. Tesi di dottorato in Ingegneria Meccanica, Dalhousie University, Department Of Mechanical Engineering.
- Theodoridou, I., Papadopoulos, A. M., Hegger, M. (2012). A feasibility evaluation tool for sustainable cities - A case study for Greece. *Energy Policy*, 44, pp. 207–216.
- Tornberg J. & Thuvander, L. (2005). A GIS energy model for the building stock of Goteborg. *Proceedings of the 25th Annual ESRI User Conference*. San Diego, California.
- UNI – Comitato termotecnico italiano (1995). UNI 10339 - Impianti aerulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.
- UNI – Comitato termotecnico italiano (2008a). Standard UNI TS 11300 Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- UNI – Comitato termotecnico italiano (2008b). Standard UNI TS 11300 Parte 2: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
- Volpe, R., Frasca, M., Fichera, A., Fortuna, L. (2016). The role of autonomous energy production systems in urban energy networks. *Journal of Complex Networks* (in press).
- Walsh, C. L., Dawson, R. J., Hall, J. W., Barr, S. L., Batty, M. et al. (2011). Assessment of climate change mitigation and adaptation in cities. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning*, 164 (2), pp.75-84.
- Walsh, C. L., Roberts, D., Dawson, R. J., Hall, J. W., Nickson, A., Hounscome R. (2013). Experiences of integrated assessment of climate impacts, adaptation and

- mitigation modelling in London and Durban. *International Institute for Environment and Development* (IIED), 25, pp. 361–380.
- World Bank. (2010). *Cities and Climate Change: An Urgent Agenda*. Washington, DC, The World Bank.
- Wong, C. (2006). *Indicators for Urban and regional planning. The interplay of policy and methods*. London, Routledge.
- Yamaguchi, Y., Shimoda, Y., Mizuno, M. (2007). Proposal of a modeling approach considering urban form of evaluation of city level energy management. *Energy and Buildings*, 39, pp. 580–592.
- Zegras, C., Sussman, J., Conklin, C. (2004). Scenario Planning for Strategic Regional Transportation Planning. *Journal of Urban Planning and Development*, 130, pp. 2-13.
- Zero Carbon Hub, NHBC Foundation (2012). *Allowable solutions, evaluating opportunities and priorities*. Milton Keynes, Zero Carbon Hub.
- Zhang, Q. (2004). Residential energy consumption in China and its comparison with Japan, Canada, and USA. *Energy and Buildings*, 36 (12), pp. 1217–1225.
- Zhao, H. & Magoulès, F. (2012). A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (6), pp. 3586–3592.
- Zuppioli, M., Cipriano, P., Luca, G., Berti, M., Di Staso, U. (2012). *Building Energy Pre-Certification Service at Urban Scale proposed in the context of Project Sunshine*. Project Sunshine.

Siti web

- <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/episcopes>
- <http://www.ucalgary.ca/f3gisci/heat>
- http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050/index_it.htm
- <https://www.london.gov.uk/what-wedo/environment/energy/london-heat-map>. London Heat map.
- www.enea.it Enea 2012 Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA

Parte IV

- ASEC SPA su <http://www.asec.ct.it/> consultato in gennaio 2016.
- Comune di Catania, Assessorato all'Urbanistica (2012a). Relazione Generale del Piano Regolatore Generale 2012.
- Comune di Catania, Assessorato alla Mobilità (2012b). Relazione del Piano Generale del Traffico Urbano 2012.
- Corrado, V., Ballarini, I., Corgnati, S. P. (2012). National scientific report on the TABULA activities in Italy. Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (TABULA). Politecnico di Torino.
- D'Amico, R. (1999). Catania. I quartieri nella metropoli. Catania, Le Nuove Muse editore.
- Decreto Interministeriale 26 giugno 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- Decreto Interministeriale 2 aprile 1968, n. 1444. Limiti inderogabili di densità edilizia, di altezza, di distanza fra i fabbricati e rapporti massimi tra gli spazi destinati agli insediamenti residenziali e produttivi e spazi pubblici o riservati alle attività collettive, al verde pubblico o a parcheggi, da osservare ai fini della formazione dei nuovi strumenti urbanistici o della revisione di quelli esistenti, ai sensi dell'art. 17 della legge n. 765 del 1967.
- De Pascali, P. (2015). Evidenze territoriali dell'energia e modelli di localismo energetico per il piano in De Pascali P. (a cura di), *L'energia per le trasformazioni del territorio*, Milano, Franco Angeli Editore.
- Di Biagi, P. (2001). La "città pubblica" e l'Ina-Casa. In Di Biagi P. (a cura di), *La grande ricostruzione. Il Piano Ina-casa e l'Italia degli anni '50*, Roma, Donzelli editore, pp. 3-31.
- Di Biagi, P. (2003). La città pubblica: un laboratorio della modernità da riqualificare e tutelare. In Stenti S. (a cura di), *Riprogettare la periferia. Scritti e progetti sul recupero dei quartieri di edilizia pubblica*, Napoli, Clean, pp. 64-73.
- di Cristina, B. (nd). L'edilizia pubblica, una eredità del XX secolo. Su <http://www.recuperoperiferie.unina.it/> consultato in ottobre 2016.
- ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) (2010). Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione. Tema di ricerca 5.4.11/5.4.12 -RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA, settembre 2010.
- Evola, G., Fichera, A., Gagliano, A., Marletta, L., Nocera, F., Pagano, A., Palermo, V. (2016). Application of a mapping tool to plan energy saving at a neighborhood scale. *Energy Procedia*, 101, pp. 137-144.
- GEA (Global Energy Assessment). (2012). *Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Giacchetta, A. (2012). Retrofitting solare di edilizia sociale: un progetto a Savona. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 4, pp. 366-373.
- ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica). (2005). Spostamenti quotidiani per motivi di studio e di lavoro-Censimento 2001. Dati definitivi diffuso il 09 giugno 2005. Roma. Consultato in ottobre 2015.
- ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica). (2011). Censimento della popolazione e delle

- Abitazioni 2011. Roma.
- Kenworthy, J. R. (2003). Transport energy use and greenhouse gases in urban passenger transport systems: A study of 84 global cities. *International Sustainability Conference*, 17–19 September, Fremantle, Western Australia.
- La Greca, P. & Barbarossa L. (2014). Integrazione tra la pianificazione urbanistica e dei trasporti. Nuovi orientamenti per il progetto della città sostenibile in G. Maternini (a cura di) *Trasporti e Città*, Forlì, Egaf Edizioni.
- La Greca, P. (2015) La proposta del nuovo Piano Urbanistico per Catania in Coppola E. (A cura di) *La Pianificazione comunale nel Mezzogiorno*, Roma, INU edizioni, pp.252-279.
- L. 43/1949. LEGGE 28 febbraio 1949, n.43. Provvedimenti per incrementare l'occupazione operaia, agevolando la costruzione di case per lavoratori (Piano Fanfani).
- Mannino, F. (2010). Genesi di periferie storiche tra retaggi e paesaggi nella Catania del XIX-XX secolo. Tesi di dottorato di ricerca in filosofia e storia delle idee - XXIII Ciclo. Dipartimento di scienze umane, Università degli studi di Catania.
- PAES (Piano d'azione per l'energia sostenibile della Città di Catania) 2014. Su http://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/16834_1435167207.pdf
- Padrenostro, S. (2013). Catania costruita nel rinnovamento del moderno. Le architetture e le trasformazioni urbane dal dopoguerra al PRG del 1964 per fare una "Grande Città" in continuità con il passato. Roma, EdilStampa.
- Rispoli Caniglia, C. & Signorelli, A. (2001). L'esperienza del piano Ina-Casa: tra antropologia e urbanistica, in Di Biagi, P. (a cura di), *La grande ricostruzione. Il Piano Ina-casa e l'Italia degli anni '50*, Roma, Donzelli editore, pp. 187-204.
- TERNA S.p.A. (2013). Consumi in "Dati statistici sull'energia elettrica in Italia – 2013". Roma. su http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETTTRICO/statistiche/dati_statistici.aspx, consultato in giugno 2015
- UNI – Comitato termotecnico italiano (2008a). Standard UNI TS 11300 Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- Volpe, R., Frasca, M., Fichera, A., Fortuna, L. (2016). The role of autonomous energy production systems in urban energy networks. *Journal of Complex Networks*, in press.

Siti web

<http://www.slideshare.net/cittainsieme/la-viabilit-a-catania-mobilit-e-trasporto-pubblico-a-catania>

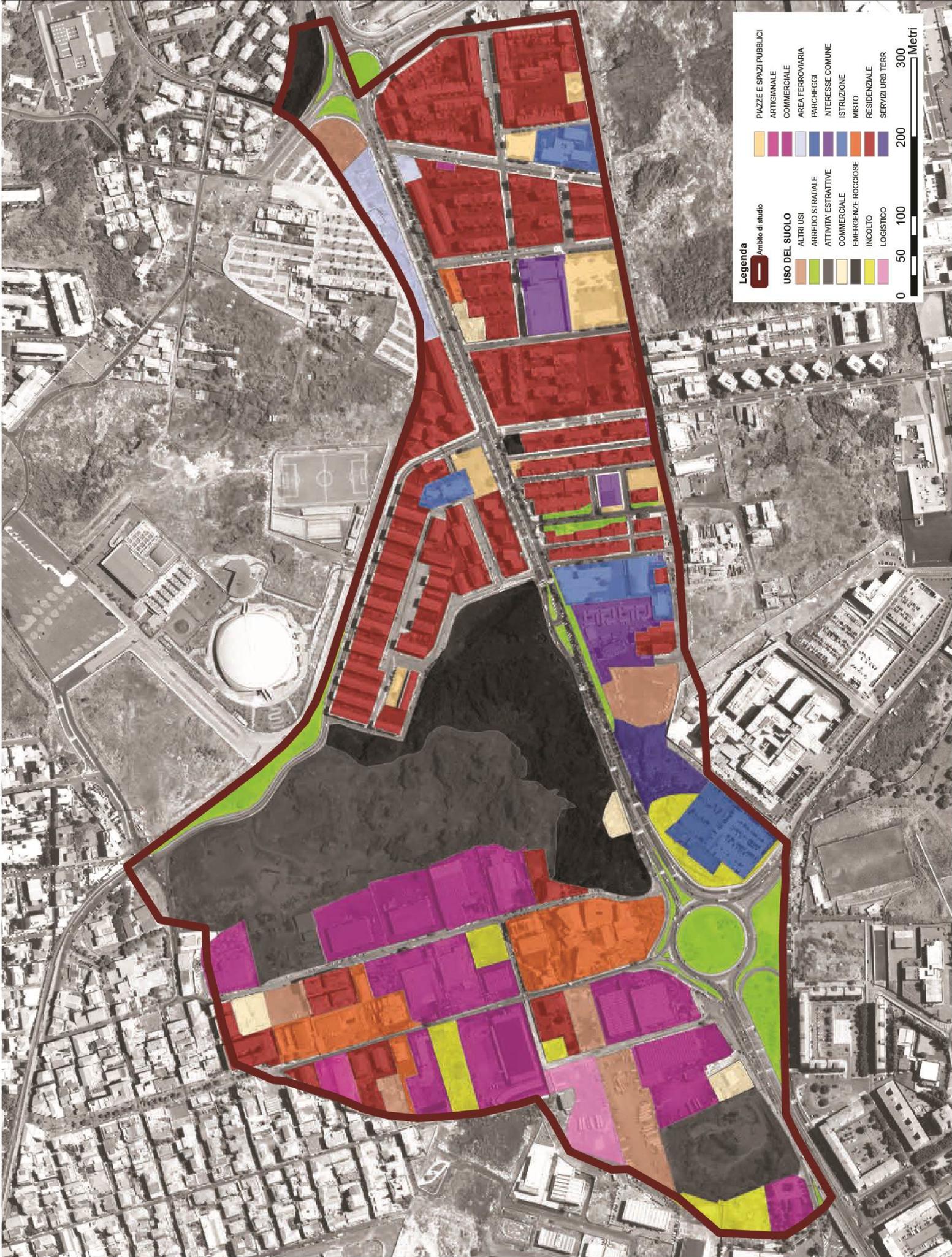
ALLEGATI

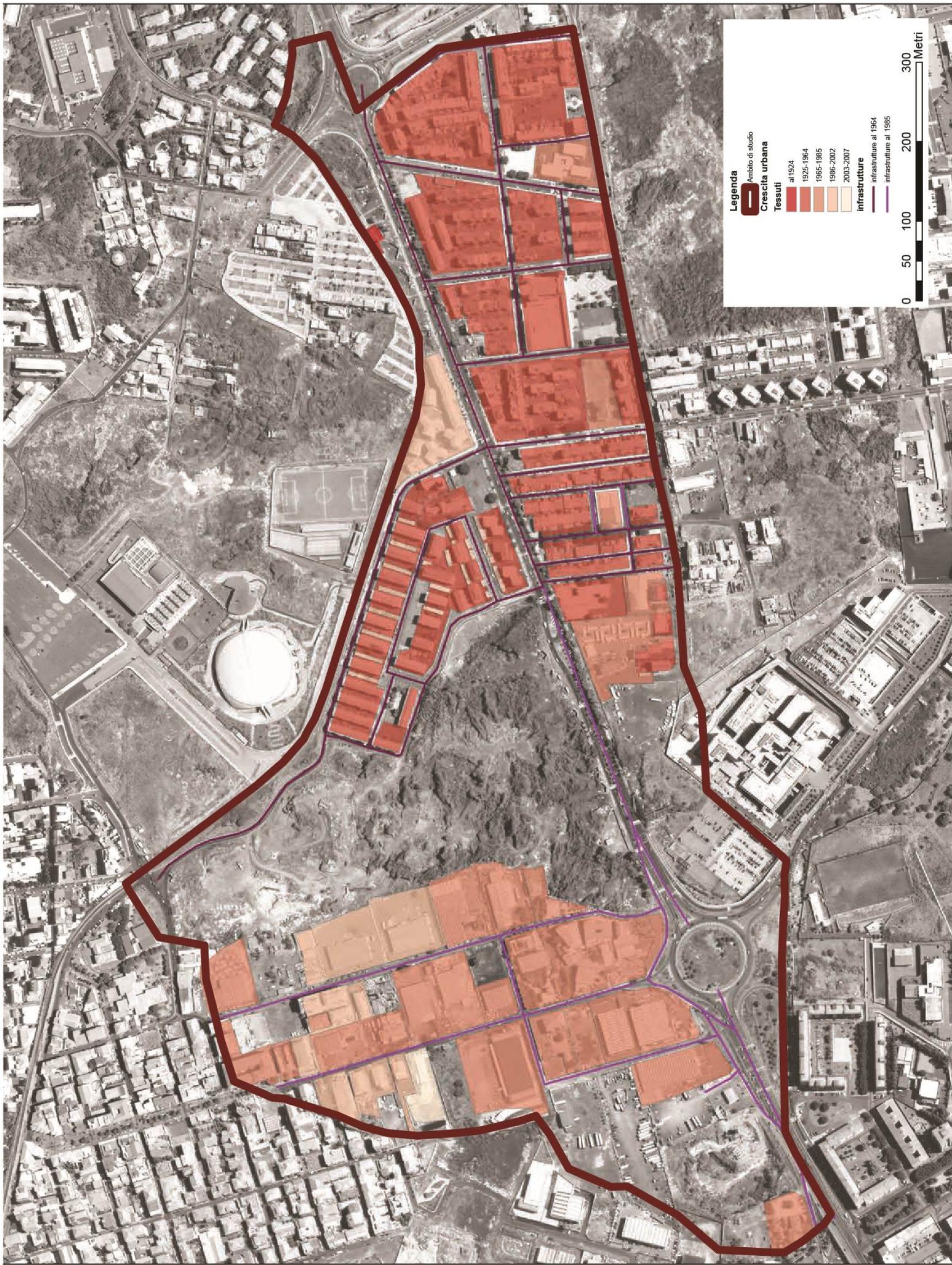
Tavole

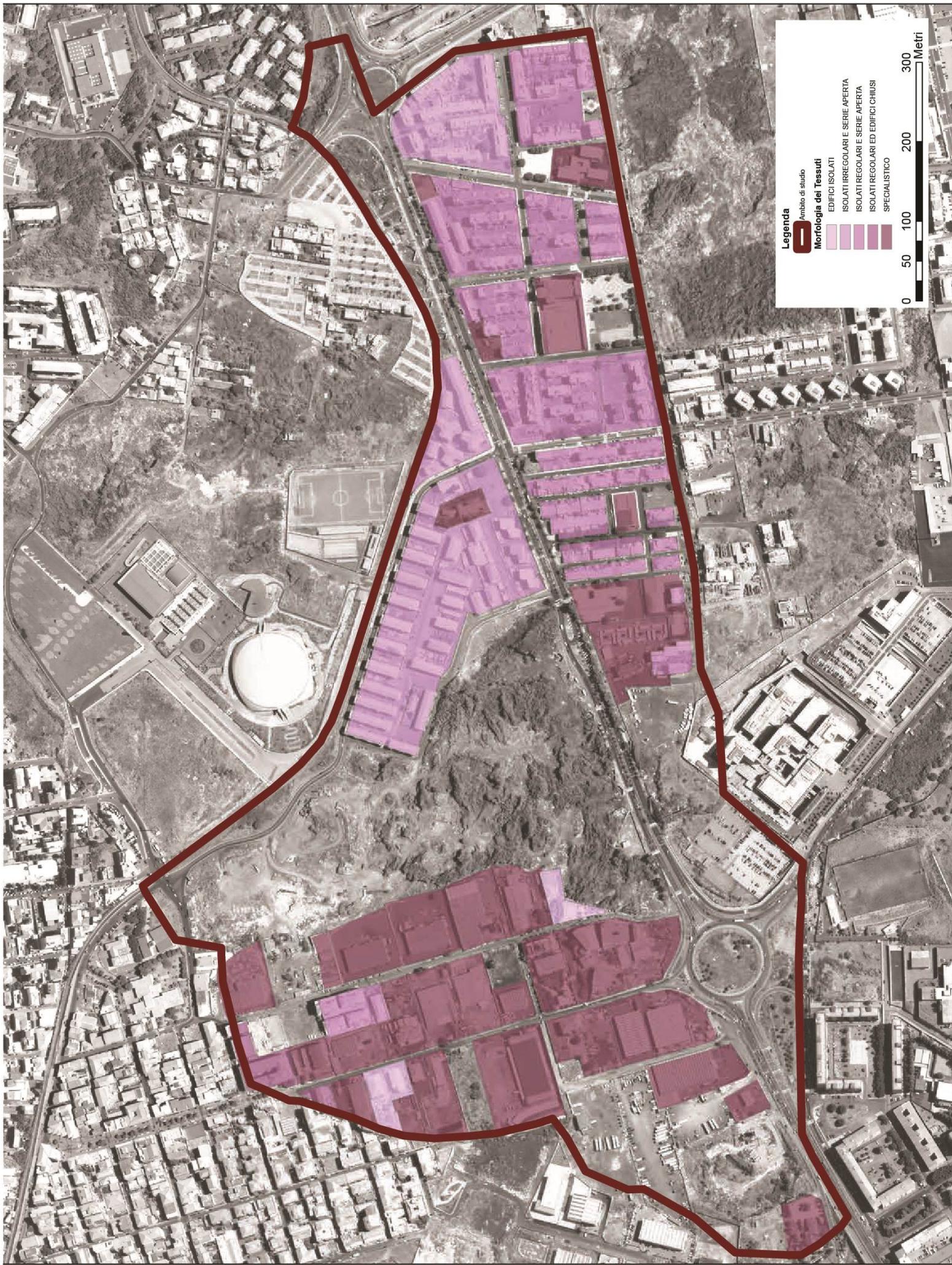
- 1- Analisi dell'Uso del suolo
- 2- Analisi della Crescita Urbana
- 3- Analisi della Morfologia dei tessuti
- 4- Settore I – Energia Termica (Scenario zero)
- 5- Settore I – Energia Elettrica (Scenario zero)
- 6- Settore I – Energia complessiva (Scenario zero)
- 7- Settore III – Energia Elettrica (Scenario zero)
- 8- Settore I – Energia complessiva (Scenario di massima Efficienza)

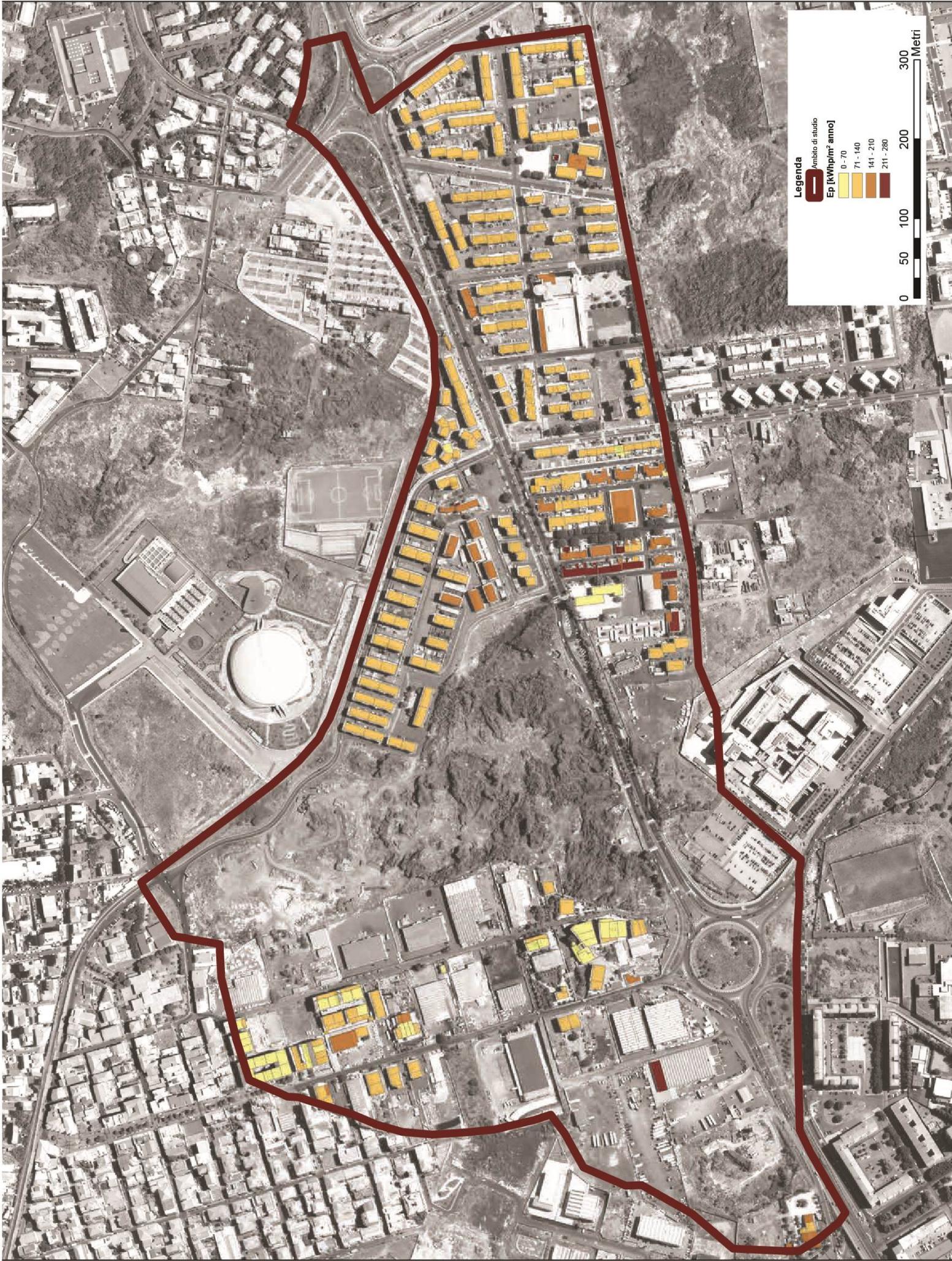
Indice delle figure

Indice dei simboli e abbreviazioni

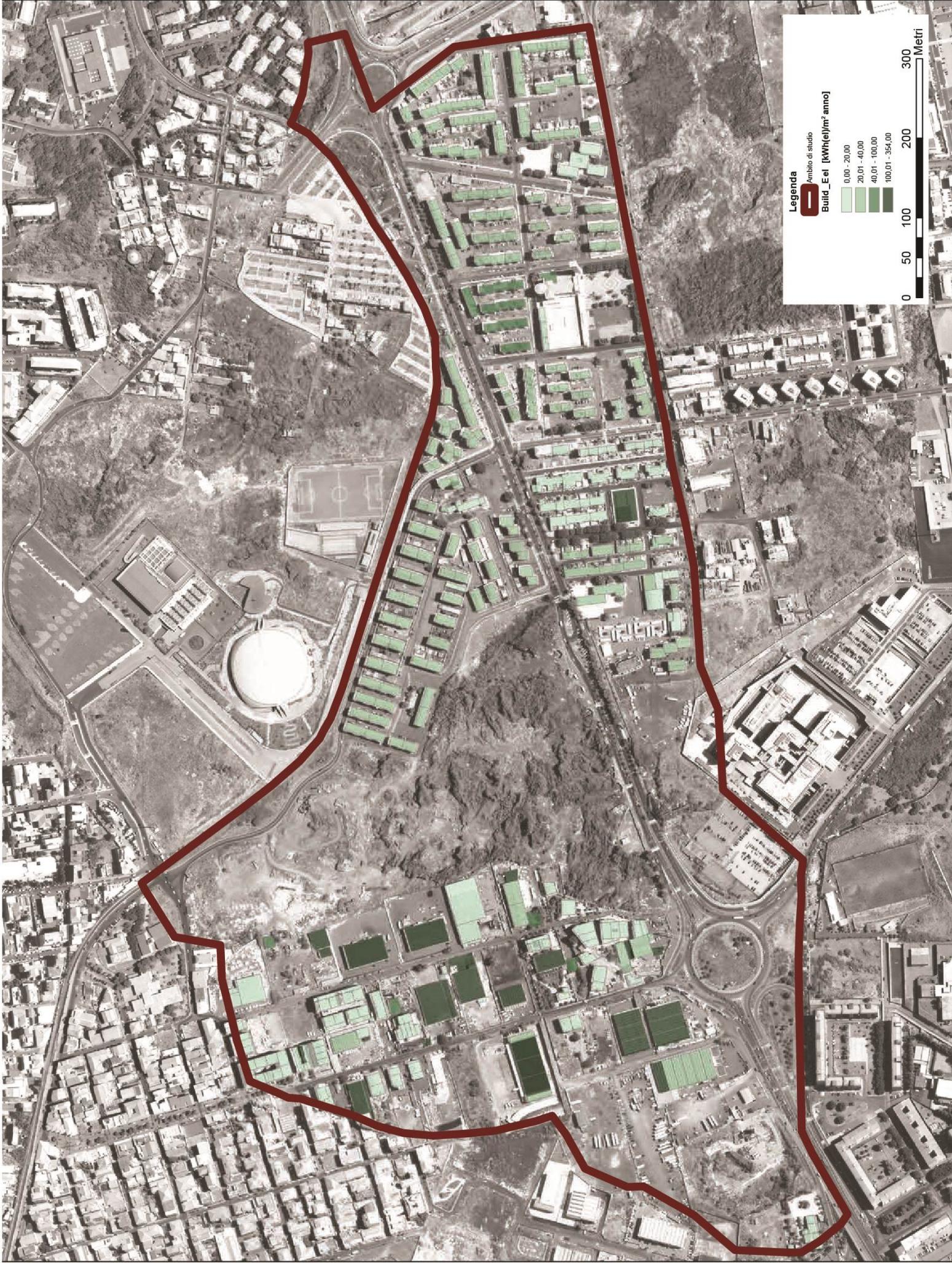




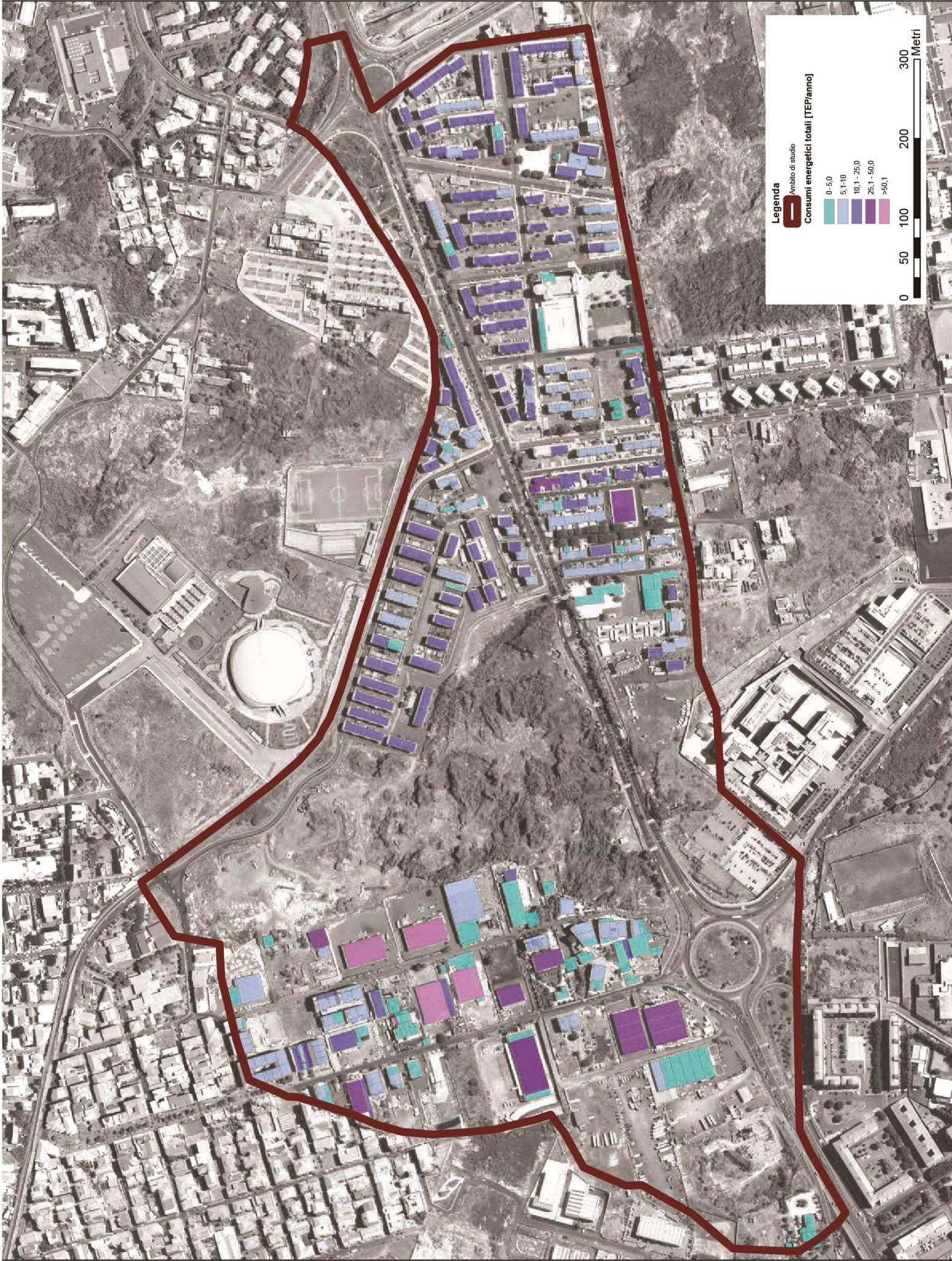


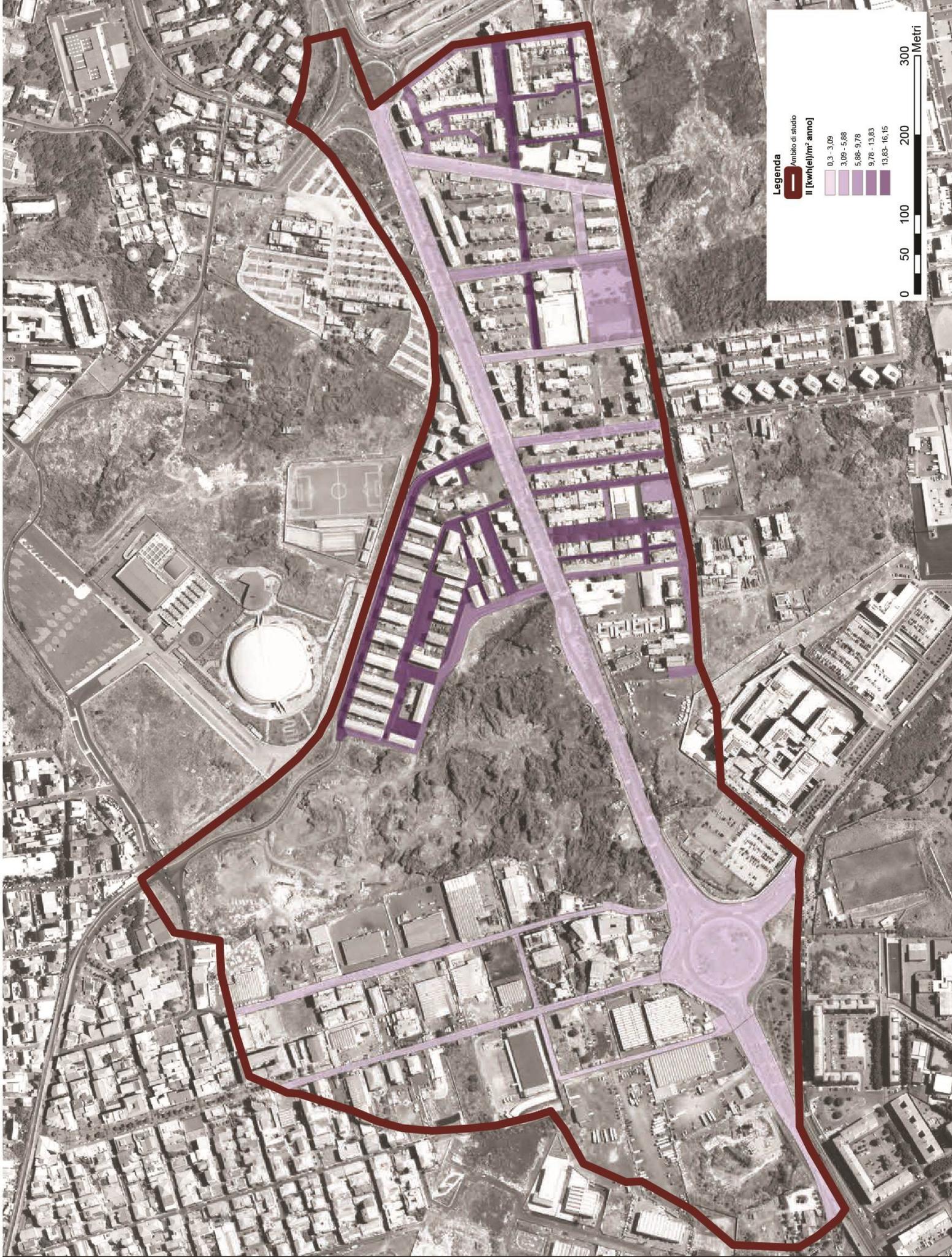


EDIFICI - ENERGIA ELETTRICA [BUILD - EEL]

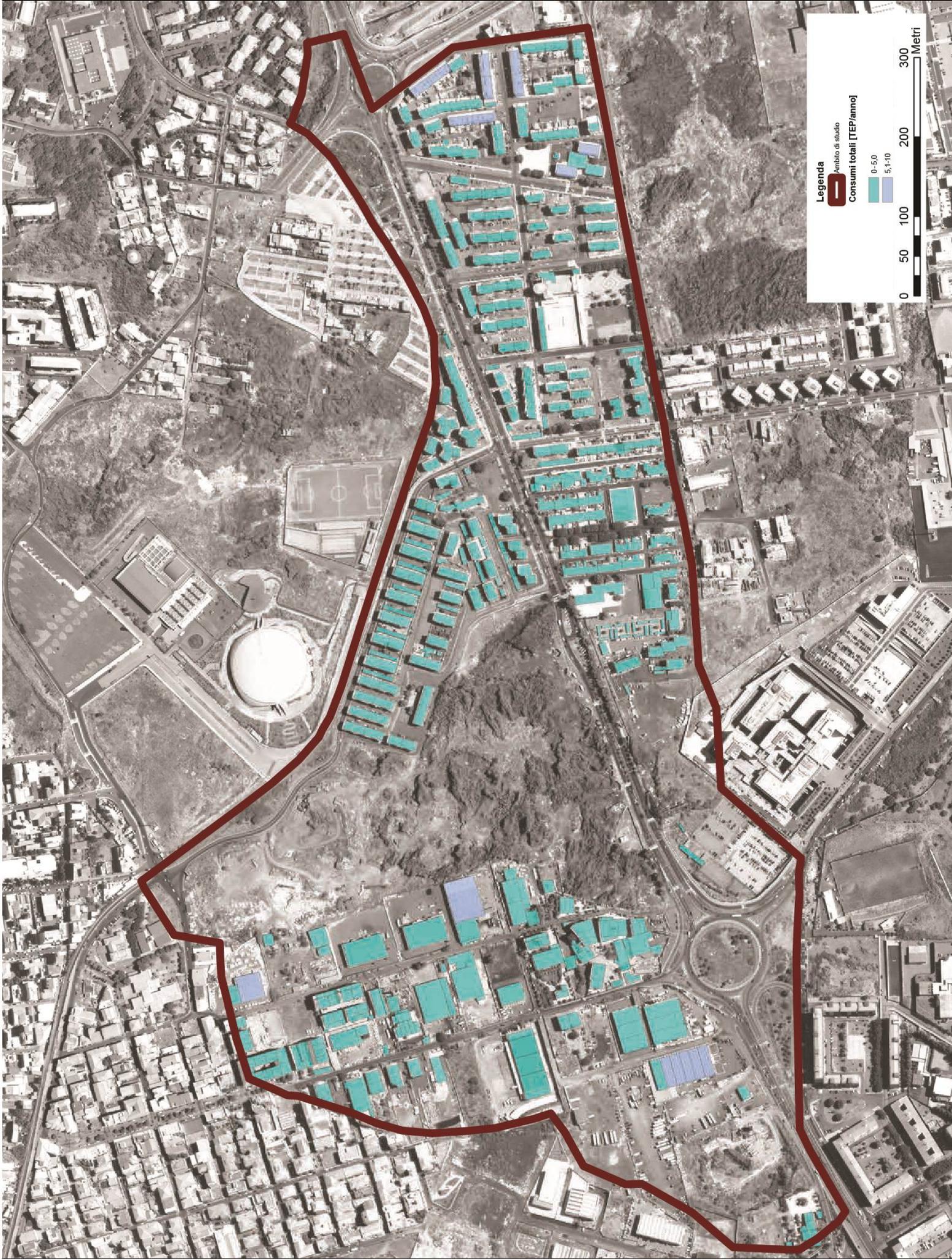


EDIFICI - ENERGIA TOTALE





EDIFICI - SCEN. MASSIMA EFFICIENZA



Indice delle figure

FIGURA 1: ANDAMENTO DELLE EMISSIONI DEI GAS SERRA TRA IL 1990 E IL 2008	11
FIGURA 2: RELAZIONE TRA MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	22
FIGURA 3: SCHEMA DI INTERAZIONE TRA LE MISURE DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	23
FIGURA 4: FABBISOGNO ENERGETICO IN PERCENTUALE SUL TOTALE PER FONTE E RELATIVE EMISSIONI (2005)	36
FIGURA 5: EMISSIONI GLOBALI DI ANIDRIDE CARBONICA PER SETTORE	37
FIGURA 6: CONSUMI ENERGETICI NELLE REGIONI DEL MONDO TRA IL 1991-2001	38
FIGURA 7: CONSUMI ENERGETICI IN ALCUNE CITTÀ IN PAESI DALLE ECONOMIE AVANZATE	39
FIGURA 8: CONSUMI ENERGETICI PER IL SETTORE EDILIZIO DAL 1990 AL 2009 IN EUROPA	44
FIGURA 9: CONFRONTO DEI CONSUMI PER USO NEL SETTORE RESIDENZIALE 1990-2010	44
FIGURA 10: PROFILI DELL'ÉPOCA DI COSTRUZIONE DEGLI EDIFICI	46
FIGURA 11: DISTRIBUZIONE DEGLI USI ENERGETICI PER CATEGORIA DI EDIFICIO	48
FIGURA 12: PIRAMIDE ENERGETICA PER GLI EDIFICI	50
FIGURA 13: TENDENZE DELLE EMISSIONI IN ATMOSFERA PER SETTORE DAL 1990 AL 2012	52
FIGURA 14: RIPARTIZIONE DELLE EMISSIONI DI GAS	53
FIGURA 15: RIPARTIZIONE DEI CONSUMI IN ATMOSFERA PER MODO DI TRASPORTO	53
FIGURA 16: L'EFFICIENZA ENERGETICA NEI TRASPORTI URBANI	55
FIGURA 17: ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA PRIMARIA (PER TIPO DI COMBUSTIBILE) UE-28, 2003-2013	58
FIGURA 18: PRODUZIONE DI ENERGIA PRIMARIA, UE-28, 2013 (% DEL TOTALE, DATI RIFERITI A TEP)	59
FIGURA 19: RELAZIONE TRA GLI INTERVENTI DI PIANIFICAZIONE SPAZIALE E LE PRINCIPALI POLITICHE DI CONTRASTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI	68
FIGURA 20: CONCEPT DELLA STRUTTURA DELLO STRUMENTO	102
FIGURA 21: CONCEPT DI SINTESI DELLA PROCEDURA DI USO DELLO STRUMENTO	103
FIGURA 22: PROCESSO DI SINTESI DELLE ANALISI NECESSARIE ALLA CONFIGURAZIONE DEL MODELLO	106
FIGURA 23: APPROFONDIMENTO METODOLOGICO DELLA FASE ANALITICA	108
FIGURA 24: SCHEMA DI SINTESI DELLE PROCEDURE E DEI DATI UTILIZZATI PER IL SETTORE EDIFICI	109
FIGURA 25: LEGGI DI REGRESSIONE LINEARE CHE METTONO IN RELAZIONE I VALORI DI E_p CON S/V	114
FIGURA 26: RAPPRESENTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI CONTIGUITÀ	118
FIGURA 27: SCHEMA PER IL CALCOLO SEMPLIFICATO DELLE SUPERFICI VETRATE	119
FIGURA 28: VALORI DI $Q_{H,Nb}$ PER GLI EDIFICI CAMPIONE CALCOLATO CON LA PROCEDURA SEMPLIFICATA E CON LA PROCEDURA ANALITICA	120
FIGURA 29: SCOSTAMENTO TRA I VALORI DI $Q_{H,Nb}$ OTTENUTI DALLE DUE PROCEDURE	121
FIGURA 30: SINTESI DELLE SEMPLIFICAZIONI APPORTATE NEL MODELLO	130
FIGURA 31: DIAGRAMMA DEL SUB-MODELLO PER IL CALCOLO DEL TED	132
FIGURA 32: PROCEDURA ALLA BASE DELLA SCELTA MODALE	135
FIGURA 33: INDICATORI DELLA COMPONENTE ANALITICA DEL MODELLO	138
FIGURA 34: DRIVER E CATEGORIE DI CAMBIAMENTO E CORRELAZIONE CON I SETTORI COINVOLTI	148
FIGURA 35: DIAGRAMMA DEL PROCESSO CONCETTUALE DELLA PROCEDURA PER LA CONFIGURAZIONE DEGLI SCENARI	151
FIGURA 36: SCHEMA RAPPRESENTATIVO DELLE CATEGORIE DI CAMBIAMENTO E DEI SETTORI CORRISPONDENTI	151
FIGURA 37: PARAMETRI IN GIOCO PER OGNI SETTORE E CATEGORIA DI CAMBIAMENTO	153

FIGURA 38: POSSIBILI COMBINAZIONI NELLA CONFIGURAZIONE DEGLI SCENARI	155
FIGURA 39: PERCORSI DELLE LINEE BRT PER LA CITTÀ DI CATANIA	180
FIGURA 40: SUDDIVISIONE DEL TERRITORIO IN ZONE DI TRAFFICO CON L'IDENTIFICAZIONE DELLA ZONA N°29 E RELATIVA VISTA DALL'ALTO DELLA ZONA DI NESIMA SUPERIORE, AREA OGGETTO DI STUDIO.	181
FIGURA 41: VISTA DEL QUARTIERE DI NESIMA SUPERIORE, IN PARTICOLARE LA CHIESA DI SAN PIO X E IL CARATTERISTICO CAMPANILE IN MATTONI ROSSI	182
FIGURA 42: TAVOLA DEL PIANO DI ZONA NESIMA SUPERIORE AI SENSI DELLA L. 167/62	183
FIGURA 43 E FIGURA 44: VISTE DEL QUARTIERE DI NESIMA SUPERIORE	184
FIGURA 45: STRALCIO TAVOLA P4B DEL PRG 2012	185
FIGURA 46: AS 6. SOTTOZONE NESIMA – SUSANNA. SCHEMA PROGETTUALE	187
FIGURA 47: DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DELL'EPOCA DI COSTRUZIONE DEI TESSUTI URBANI PER L'AREA OGGETTO DI STUDIO	192
FIGURA 48: DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DELLE SUPERFICI DEGLI USI DEL SUOLO DEL TESSUTO URBANO PER L'AREA OGGETTO DI STUDIO	194
FIGURA 49: DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DELLE SUPERFICI PER TIPO MORFOLOGICO DI TESSUTO URBANO PER L'AREA OGGETTO DI STUDIO	194
FIGURA 50 E FIGURA 51: TAVOLE DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE DEL GAS PER L'AREA OGGETTO DI STUDIO	197
FIGURA 52: LEGGI DI CORRELAZIONE TRA IL RAPPORTO DI FORMA S/V E LA PRESTAZIONE DEGLI EDIFICI	199
FIGURA 53: CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA PER ABITANTE IN ITALIA PER REGIONE 2012 E 2013	200
FIGURA 54: SEZIONI CENSUARIE COMPRESSE NELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	203
FIGURA 55: ELABORAZIONE GRAFICA DEI CONSUMI COMPLESSIVI DEI SINGOLI EDIFICI INCLUSI NELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	204
FIGURA 56: RETE DEL TRASPORTO PUBBLICO (IN ROSSO) E VIARIA (IN NERO) DELLA CITTÀ DI CATANIA	205
FIGURA 57: CONTRIBUTI PER SETTORE DEL CONSUMO ENERGETICO COMPLESSIVO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	208
FIGURA 58: SCREENSHOT DEL PROGETTO IN CUI SONO ATTIVE LE FINESTRE DI POPUP CHE VISUALIZZANO I CONTENUTI DEGLI OGGETTI, APPARTENENTI A LAYER DIVERSI	209
FIGURA 59: DATABASE ELABORATO PER IL SETTORE EDIFICI	210
FIGURA 60: DATABASE ELABORATO PER IL SETTORE DELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA	210
FIGURA 61: SCHEMA SINTETICO DELLE CONDIZIONI IMPOSTE PER CIASCUNA CATEGORIA DI CAMBIAMENTO NEI TRE SETTORI	211
FIGURA 62: RISULTATO SUL SETTORE DEGLI EDIFICI DELL'ATTUAZIONE DEI SET DI MISURE AFFERENTI ALLA CATEGORIA DI CAMBIAMENTO "TECNOLOGIA"	215
FIGURA 63: CONSUMO GLOBALE DI ENERGIA PRIMARIA DEGLI EDIFICI DEL QUARTIERE (PRIMA E DOPO IL SET DI INTERVENTI C) SUDDIVISI PER EPOCA DI COSTRUZIONE	216
FIGURA 64: CORRELAZIONE TRA RAPPORTO DI FORMA S/V E PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI PER LO STATO DI FATTO E IL SET DI MISURE (C)	217
FIGURA 65: CONSUMO GLOBALE DI ENERGIA PRIMARIA DELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA (PRIMA E DOPO L'INTERVENTO)	217
FIGURA 66: RISULTATI DELLA COMBINAZIONE TRA USO DEL SUOLO E TECNOLOGIA PER IL SETTORE EDIFICI (SOLO RISCALDAMENTO)	218
FIGURA 67: RISULTATI DELLA COMBINAZIONE TRA USO DEL SUOLO E TECNOLOGIA PER IL SETTORE EDIFICI	219
FIGURA 68: RISULTATI DELLA COMBINAZIONE TRA USO DEL SUOLO E INFRASTRUTTURE PER IL SETTORE DEI TRASPORTI	220

FIGURA 69: CONFRONTO TRA I CONSUMI ENERGETICI DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO PER LO STATO DI FATTO E LO SCENARIO DI MASSIMA EFFICIENZA	224
FIGURA 70: AREA DI RIGENERAZIONE Rp 7.1 DEL PRG 2012 PER LA CITTÀ DI CATANIA	226
FIGURA 71: SCHEDA NORMA AREA RIGENERAZIONE Rp 7.1 DEL PRG 2012 PER LA CITTÀ DI CATANIA	227
FIGURA 72: CORRELAZIONE TRA RAPPORTO DI FORMA S/V E PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI PER LO STATO DI FATTO, IL SET DI MISURE (C) E L'AREA RISORSA Rp 7.1	229
FIGURA 73: MODELLAZIONE DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO ATTRAVERSO MATLAB E ARCGIS	233
FIGURA 74: (A) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 25 M; (B) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 100 M; (C) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 175 M; (D) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 250 M	234
FIGURA 75: (A) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 25 M; (B) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 100 M; (C) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 175 M; (D) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 250 M PER SCENARIO C1	235
FIGURA 76: (A) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 25 M; (B) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 100 M; (C) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 175 M; (D) TOPOLOGIA INIZIALE DELLA RETE PER 250 M PER SCENARIO C3	235
FIGURA 77: RAPPRESENTAZIONE DELL'ANDAMENTO DELL'INDICE DI RETE	236
FIGURA 78: COLLEGAMENTI ATTIVI PER L'INTERVALLO DI GENERAZIONE 56% E DISTANZA PARI 25 M	238
FIGURA 79: COLLEGAMENTI ATTIVI PER L'INTERVALLO DI GENERAZIONE 56% E DISTANZA PARI 250 M	238
FIGURA 80: MAPPATURA DEI CONSUMI ENERGETICI DEI BACINI ENERGETICI URBANI	248
FIGURA 81: SCHEMA DELLA GENERAZIONE E ATTRIBUZIONE DEI CREDITI	255
FIGURA 82: CONCENTRAZIONE DEI CREDITI EDILIZI NELLE ZONE DI ATTERRAGGIO	256
FIGURA 83: MECCANISMO DEL CARBON OFFSET FUND	260
FIGURA 84: CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLO STRUMENTO CARBON OFFSET FUND	263
FIGURA 85: AREA DI PROGETTO NEL 2003	267
FIGURA 86: AREA DI PROGETTO NEL 2013	268
FIGURA 87: VISTA DEL COMPARTO B DELL'AREA "LA FILANDA"	269
FIGURA 88: STRALCIO TAVOLA 1 DEL PROGETTO ESECUTIVO RELATIVO AL PLANIVOLUMETRICO	271
FIGURA 89: RENDERING FOTOREALISTICI DEL PROGETTO FINALE	272

Indice dei simboli e delle abbreviazioni

ACH	RICAMBI D'ARIA ORARI	EP	INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA
A _{PAV}	SUPERFICIE UTILE ORIZZONTALE	FAR	FIRST ASSESSMENT REPORT
ATA	ASSESSORATO TERRITORIO AMBIENTE	GG	GRADI GIORNO
BAU	BUSINESS AS USUAL	GHG	GREENHOUSE GAS (GAS CLIMALTERANTI)
BPIE	BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE	GIS	GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM(S)
BRT	BUS RAPID TRANSIT	Hel	ORE DI FUNZIONAMENTO LAMPADE
BU	BOTTOM UP	HTR	COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE
Build_Eel	INDICATORE DI CONSUMO ELETTRICO	HV	COEFFICIENTE DI VENTILAZIONE
Cc	COEFFICIENTE DI CONTIGUITÀ	IAM	INTEGRATED ASSESSMENT MODELS
COF	CARBON OFFSET FUND	ICLEI	INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES
COP	CONFERENZA DELLE PARTI	IEA	INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
CTR	CARTA TECNICA REGIONALE	IFF	INDICE DI FABBRICABILITÀ FONDIARIA
Cv	CAPACITÀ DEL VEICOLO	IGM	ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE
DES	SISTEMI ENERGETICI DISTRIBUITI	I	IRRADIANZA
EC	COMMISSIONE EUROPEA	II	LIGHTING INDEX
EEA	AGENZIA EUROPEA DELL'AMBIENTE	I _N	INDICE DI RETE
ED	DOMANDA ENERGETICA	IPCC	INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGE
E _{GI}	PRODUZIONE ENERGETICA	ISOCARP	THE INTERNATIONAL SOCIETY OF CITY AND REGIONAL PLANNERS
EM	METODI INGEGNERISTICI	ISTAT	ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA
ENEA	AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE		

L _{FV}	FATTORE DI CARICO	TD	TOP DOWN
L _{OD}	DISTANZA TRA ORIGINE E DESTINAZIONE	TED	TRANSPORT ENERGY DEPENDANCE
MSE	MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO	TEP	TONNELLATE EQUIVALENTI DI PETROLIO
OI	CONSUMO ILLUMINAZIONE PUBBLICA	T _{OD}	NUMERO DI SPOSTAMENTI TRA ORIGINE E DESTINAZIONE
P	POTENZA LAMPADE	TOD	TRANSIT ORIENTED DEVELOPMENT
PAES	PIANO D'AZIONE PER L'ENERGIA SOSTENIBILE	U	TRASMITTANZA
PAESC	PIANO D'AZIONE PER L'ENERGIA SOSTENIBILE E IL CLIMA	UE	UNIONE EUROPEA
ppm	PARTI PER MILIONE	UNDESA	UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS
Q _{END}	GUADAGNO TERMICO DOVUTO AGLI APPORTI GRATUITI INTERNI	UNEP	UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME
Q _{H,ND}	FABBISOGNO IDEALE DI ENERGIA TERMICA PER IL RISCALDAMENTO	UNFCCC	CONVENZIONE QUADRO DELLE NAZIONI UNITE SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI
Q _{SOL}	GUADAGNO TERMICO DOVUTO AGLI APPORTI SOLARI	UNHABITAT	UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME
Q _{H,TR}	PERDITE DI CALORE PER TRASMISSIONE	UNI	ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE
Q _{H,VE}	PERDITE DI CALORE PER VENTILAZIONE	V _N	VOLUME NETTO
SD	SUPERFICIE DISPERDENTE	WMO	WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION
SEU	SISTEMI EFFICIENTI DI UTENZA	WRI	WORLD RESOURCE INSTITUTE
SF	SUPERFICIE FINISTRATA	η_{hg}	FATTORE DI UTILIZZAZIONE
SH	SUPERFICIE DELLE CHIUSURE ORIZZONTALI	η	RENDIMENTO
SM	METODI STATISTICI	θ_{end}	GUADAGNO ENDOGENO
SP	SUPERFICIE DI SPAZIO PUBBLICO		
STR	SOCIETÀ TOPOGRAFICA RILIEVI AEROFOTOGRAMMETRICI		
SVERT	SUPERFICIE VERTICALE		