

Energy at urban scale modeling: a tool for energy transition, urban regeneration and the reuse of existing buildings and empty spaces

Original

Energy at urban scale modeling: a tool for energy transition, urban regeneration and the reuse of existing buildings and empty spaces / Mutani, G., Todeschi, V.. - In: ATTI E RASSEGNA TECNICA. - ISSN 0004-7287. - LXXIII:2(2019), pp. 168-176.

Availability:

This version is available at: 11583/2804074 since: 2020-03-18T09:16:26Z

Publisher:

Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

I modelli energetici degli edifici a scala urbana: uno strumento per la transizione energetica, la rigenerazione urbana e il riuso del patrimonio edilizio e degli spazi vuoti

Energy at urban scale modeling: a tool for energy transition, urban regeneration and the reuse of existing buildings and empty spaces

GUGLIELMINA MUTANI, VALERIA TODESCHI

Guglielmina Mutani è laureata in Ingegneria Civile Edile, Dottore di Ricerca in Energetica e Ricercatore Universitario del Dipartimento Energia del Politecnico di Torino. È membro del consiglio scientifico del Responsible Risk Resilience Centre e membro del Dottorato Urban and Regional Development.

guglielmina.mutani@polito.it

Valeria Todeschi è laureata in Pianificazione territoriale, urbanistica e paesaggistico-ambientale al Politecnico di Torino. Nel 2018 ha iniziato un dottorato in Energetica al Politecnico di Torino all'interno del progetto di ricerca Smart Energy Solutions for Sustainable Cities and Policies del laboratorio FULL.

valeria.todeschi@polito.it

Abstract

Le politiche energetiche in passato sono state guidate dai principi di sostenibilità, affidabilità e accessibilità. In un mondo sempre più globale tali principi però sono strettamente interconnessi e in continua evoluzione. In tale contesto, vengono studiati i modelli sul consumo e produzione di energia a scala territoriale, che consentono di analizzare e quantificare i consumi di quartieri e aree urbane, fornendo energia dove c'è una domanda di energia, ipotizzando scenari futuri e identificando le politiche energetiche e ambientali più efficaci. In questa sezione è presentata una metodologia basata su Sistemi Informativi Territoriali che permette di caratterizzare le prestazioni energetiche del patrimonio edilizio di Torino. Con i modelli energetici è stata valutata la rigenerazione delle aree urbane dismesse, identificando una priorità di interventi in funzione delle caratteristiche del territorio.

In the past, energy policies have been driven by the principles of sustainability, affordability and accessibility. However, in an increasingly global world these principles are closely interconnected and constantly evolving. In this context, energy consumption and production models at territorial scale have been investigated. These models allow to analyze and quantify the consumption of neighborhoods and urban areas, supplying energy where there is a demand, hypothesizing future scenarios and identifying the effective energy and environmental policies. This section presents a methodology based on Geographic Information Systems that allow to characterize the energy performances of the Turin building heritage. With the energy models, the regeneration of empty spaces was evaluated, identifying a priority of interventions according to the characteristics of the territory.

1. Introduzione

La riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti energetiche rinnovabili (FER) sono uno dei principali driver per migliorare la sostenibilità, la vivibilità e la qualità di un territorio, verso l'indipendenza energetica. In termini di emissioni, nelle città i trasporti e le attività industriali possono variare molto, mentre gli edifici contribuiscono sempre in modo sostanziale. In quest'ottica gli edifici svolgono un ruolo fondamentale per la sostenibilità, e possono contribuire significativamente al raggiungimento dei target energetici e climatici grazie anche al supporto di meccanismi finanziari e incentivi fiscali.

Nei contesti urbani densamente costruiti, dove è necessario intervenire sull'esistente, è importante identificare corrette strategie per l'efficientamento degli edifici esistenti ma anche il riuso degli edifici e la rigenerazione degli spazi vuoti.

I modelli energetici degli edifici a scala urbana quindi permettono di: quantificare i consumi degli edifici in funzione delle caratteristiche del parco edilizio, ipotizzare scenari futuri a seconda delle misure di efficientamento energetico, identificare politiche efficaci e mirate per la riqualificazione energetica urbana. Le variabili usate per la costruzione di questi modelli descrivono non solo l'edificio ma anche la morfologia urbana, le caratteristiche degli spazi pubblici esterni e il comportamento e le condizioni socio-economiche degli abitanti. In linea con l'approccio multidisciplinare proposto dalla ricerca *Untitled* per l'esame dei fenomeni urbani, questo lavoro presenta alcuni risultati di ricerche effettuate dagli autori su modelli energetici a scala urbana applicati al caso studio della città di Torino.

2. Modelli energetici

Per promuovere la sostenibilità energetica in un contesto urbano densamente costruito, un aspetto cruciale è quello di ottimizzare la domanda di energia degli edifici per i diversi servizi energetici. Il consumo di energia degli edifici (EP, energy performance) può essere suddiviso in due componenti principali: la prima (EP_E) legata alle caratteristiche dell'edificio, all'efficienza degli impianti, alla tipologia di utenti e alle caratteristiche climatiche del luogo; la seconda (EP_U) riguarda le caratteristiche del contesto urbano, la tipologia di spazi aperti e le variazioni microclimatiche. La componente EP_E è stata ampiamente analizzata dalla letteratura e rappresenta il consumo medio di energia in funzione delle principali caratteristiche dell'edificio e dei suoi utenti; la seconda componente EP_U serve a caratterizzare il consumo energetico dell'edificio in funzione del contesto urbano in cui è inserito, tenendo conto delle variazioni di microclima. Un edificio con le stesse caratteristiche avrà consumi diversi in funzione dell'ambiente costruito circostante.

Recentemente la ricerca si è focalizzata sulla componente di contesto urbano EP_U , che avrà un ruolo importante soprattutto per edifici a energia quasi zero (nZEB) dove la componente EP_E è molto bassa e quella EP_U diventa rilevante. Ad esempio, l'effetto canyon (che dipende dalla morfologia urbana) influenza i consumi energetici degli edifici, poiché provoca un aumento della quota di assorbimento dell'irradiazione solare nel canyon urbano con un conseguente incremento della temperatura dell'aria esterna e riduzione dei consumi per il riscaldamento.

Quindi il ruolo della pianificazione è fondamentale per la progettazione e/o riqualificazione di quartieri e città in un'ottica di sviluppo energetico sostenibile. Per queste analisi, è necessario lavorare ad una scala ampia, si passa quindi dalla scala di edificio a quella di isolato, quartiere, città o regione. I modelli sul consumo energetico degli edifici a scala

urbana sono modelli semplificati rispetto a quelli a scala di edificio, perché lavorano su un campione numeroso di edifici ma con un numero limitato di variabili disponibili per edificio; inoltre è anche importante poter fare delle analisi in tempi ragionevolmente brevi e quindi la quantità di dati deve essere contenuta.

In letteratura esistono diversi approcci per l'analisi energetica degli edifici a diverse scale; i principali possono essere raggruppati in tre categorie: modelli *top-down*, modelli *bottom-up* e modelli *ibridi*. Questi modelli hanno l'obiettivo di i) ricostruire i trend energetici (storici, attuali e futuri) a diverse scale, consentendo di poter valutare come le trasformazioni urbane possono influenzare il consumo di energia e ii) fare delle ipotesi di riqualificazione energetica promuovendo la rigenerazione di aree degradate e favorendo uno sviluppo sostenibile attraverso l'uso di FER.

Utilizzando strumenti GIS (*Geographic Information System*) è anche possibile rappresentare e quantificare la distribuzione spaziale del consumo di energia in un territorio.

2.1 Modelli bottom-up

I modelli *bottom-up* operano a scala di edificio e sono generalmente utilizzati per valutare il bilancio energetico di un singolo edificio avendo a disposizione informazioni dettagliate sulle sue caratteristiche. Per la validazione dei modelli è necessaria l'informazione dei consumi energetici per almeno due stagioni consecutive. Partendo dai modelli *bottom-up*, è possibile creare dei modelli semplificati a scala urbana che, utilizzando le variabili maggiormente correlate al consumo dell'edificio, ne stimano il consumo in funzione di queste variabili. Generalmente questi modelli fanno riferimento a gruppi di edifici con caratteristiche simili chiamati archetipi. I modelli *bottom-up* possono anche essere utilizzati per la valutazione del risparmio energetico a seguito di misure di efficientamento.

2.2 Modelli top-down

I modelli *top-down* partono da dati di consumo di energia a scala urbana e/o territoriale che vengono confrontati con le variabili climatiche, i dati di censimento e le indagini statistiche per determinare un consumo medio di energia degli edifici esistenti. Con questi modelli è possibile fare delle valutazioni su come variano i consumi in funzione delle variabili (ad es. dati socio-economici e climatici) e valutare i trend di consumo di energia. I modelli *top-down* a scala municipale generalmente utilizzano i dati energetici forniti dai Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES).

2.3 Modelli ibridi

I modelli ibridi integrano i modelli precedenti con metodi ingegneristici basati sui bilanci di energia su un edificio. Con questi modelli è possibile simulare variazioni del consumo di energia di un edificio dovute a condizioni climatiche, geometriche o tipologiche diverse da quelle reali.

Quindi questi modelli consentono anche di poter prevedere scenari energetici futuri ipotizzando dei cambiamenti nelle variabili energetiche, ambientali, socio-economiche o di tipo autorizzativo/legislativo. Anche i modelli *ibridi* possono essere semplificati per poter lavorare su una scala urbana.

3. Metodologia

In questa sezione viene presentata una metodologia per l'uso combinato di modelli energetici *bottom-up*, *top-down* e *ibridi* (ingegneristici) utilizzando un sistema GIS per georeferire le informazioni a una scala territoriale. In Figura 1 è descritta la procedura che viene utilizzata per la valutazione della sostenibilità, affidabilità e accessibilità energetica dei territori considerandone il consumo, la produzione e la producibilità. Tutte le informazioni vengono raccolte e georeferite attraverso un sistema GIS e quindi confrontate con i vincoli presenti sul territorio (ambientali, territoriali, tecnici, economici). In Figura 2 è rappresentato il confronto tra la domanda

e l'offerta di energia che viene effettuato attraverso la definizione dei profili (orari, giornalieri, mensili e annuali) di consumo, di produzione e di producibilità di energia. Per esempio coi dati di produzione di energia da FER e le ore di utilizzazione (Tabella 1) è possibile valutare l'energia prodotta e confrontarla con l'energia consumata e producibile.

Tabella 1. Modelli di produzione: le ore di utilizzazione equivalenti.

Impianto FER	Ore di utilizzazione equivalenti all'anno, h/anno
Biomassa	7500
Eolico	1700
Fotovoltaico	1200
Geotermico	7500
Idroelettrico	5000-6000
Solare termico	600 kWh/m ² /a

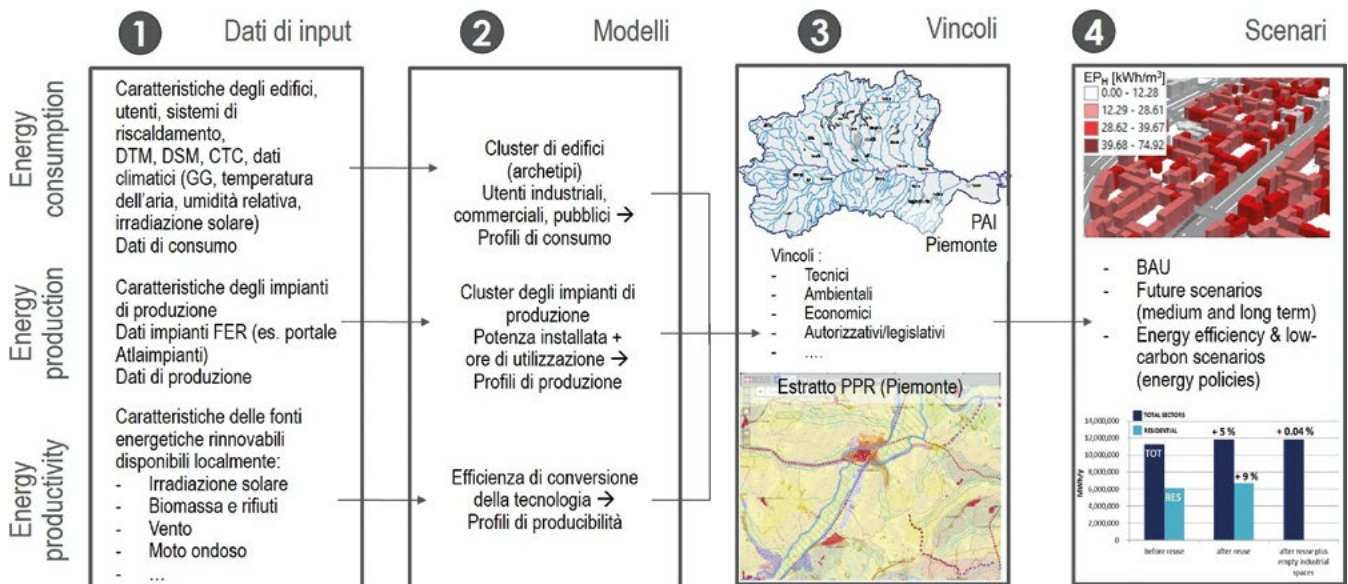


Figura 1. Metodologia GIS di consumo, produzione e producibilità dell'energia.

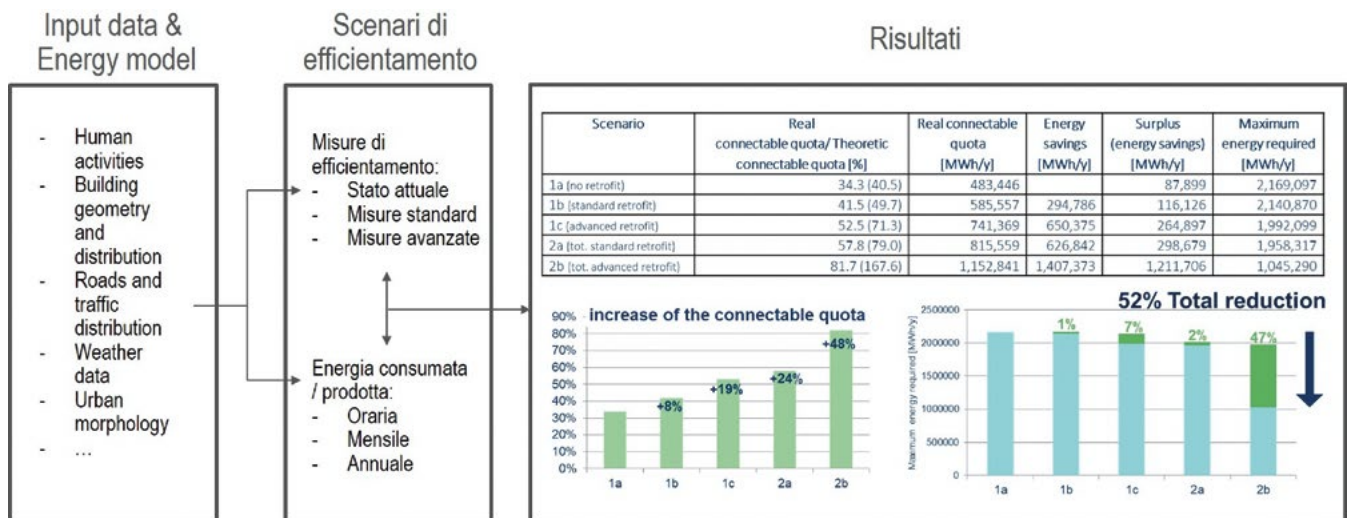


Figura 2. Modelli energetici e scenari di efficientamento energetico.

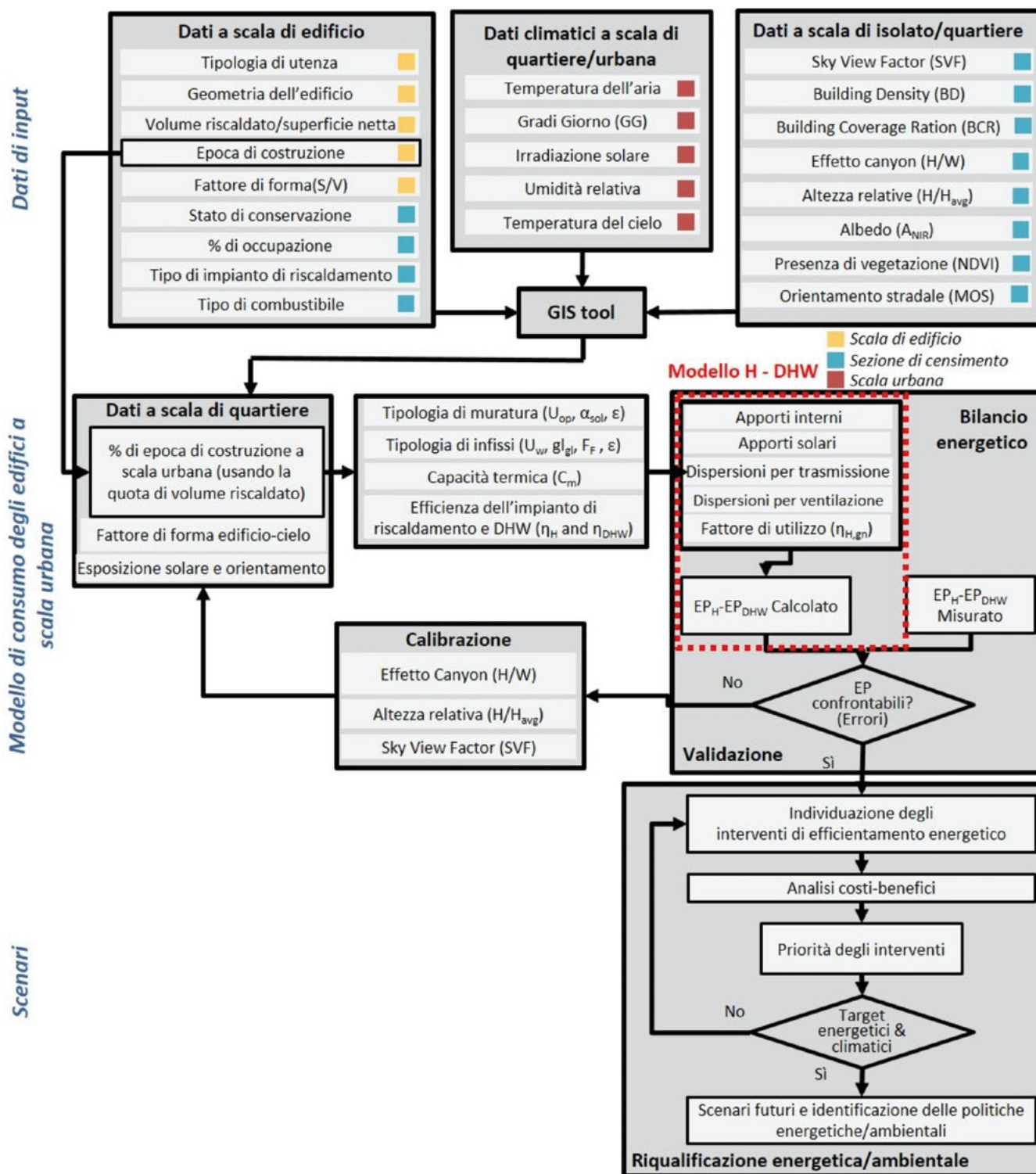


Figura 3. Metodologia di calcolo: dati di input (a scala di edificio e a scala urbana & dati climatici), creazione del modello di consumo degli edifici a scala urbana, ipotesi di riqualificazione energetica/ambientale (scenari futuri).

Soprattutto quando si considerano le FER, caratterizzate da una generazione discontinua legata principalmente alle variabili climatiche di una località o territorio, è necessario fare un bilancio tra domanda e offerta di energia giornaliera o mensile. Questo perché i sistemi di accumulo disponibili sul mercato non hanno ancora una capacità di tipo stagionale e comunque il costo di investimento dipende dalla capacità di questi sistemi.

Per la costruzione dei modelli di consumo semplificati a scala urbana, vengono usate una serie di variabili da cui dipendono i consumi energetici che sono disponibili a scala territoriale. La Figura 3 mostra la metodologia di calcolo usata per la costruzione di modelli energetici *ibridi* (bilancio di energia a scala urbana) per il calcolo del consumo per il riscaldamento degli edifici a scala urbana; si distinguono tre fasi principali: la raccolta e la georeferenziazione dei dati di

input, la creazione e la validazione del modello di consumo, e l'identificazione scenari di riqualificazione. Nella prima fase vengono raccolti i dati utili per il calcolo delle variabili correlate ai consumi. I dati di input fanno riferimento a diverse scale e attraverso l'uso del GIS è possibile sovrapporre le diverse informazioni a scala diversa, calcolare le variabili e visualizzarne la distribuzione a scala territoriale. I dati a scala di edificio descrivono le geometrie, forniscono informazioni sui materiali costruttivi, sulla tipologia di impianto e sui vettori energetici. Oltre ai dati a scala di edificio, ci sono altri fattori che influenzano significativamente il consumo energetico, come le caratteristiche climatiche e la morfologia urbana. Le principali variabili climatiche che vengono usate si riferiscono a: temperatura e umidità relativa dell'aria esterna, gradi giorno (GG), temperatura del cielo, irradiazione solare e velocità/direzione del vento. Per la valutazione del contesto urbano si sono considerati i parametri che servono a descrivere la relazione tra gli edifici e il contesto circostante: lo sky view factor (SVF), la densità edilizia (BD), il rapporto di copertura degli edifici (BCR), l'effetto canyon (H/W), l'altezza relativa (H/H_{avg}), il coefficiente di albedo (A_{NIR}), la presenza di aree verdi e acqua (NDVI) e l'orientamento delle strade (MOS). Dopo aver raccolto e calcolato i dati di input, si passa alla fase di georeferenziazione associando i dati all'unità territoriale a cui si riferirà

il modello (scala di isolato, quartiere, comune ecc.). Nella fase successiva di simulazione, si definiscono i flussi di energia che caratterizzano il bilancio energetico di un edificio; i risultati ottenuti dal modello vengono confrontati coi dati misurati (fase di validazione) finché l'errore è accettabile e quindi il modello è affidabile. Per perfezionare il modello si può intervenire migliorando le variabili che influenzano il consumo attraverso la fase di calibrazione, andando a modificare ad esempio anche variabili di contesto urbano. Con questo tipo di modelli, si possono ipotizzare anche scenari futuri di riqualificazione energetica attraverso l'applicazione di misure di efficientamento sui sistemi e quindi identificando le politiche energetiche più efficaci per un determinato ambiente costruito.

3.1 Dati di input

In questo lavoro, i dati di input di un modello *ibrido* per il consumo, la produzione e la producibilità di energia degli edifici a scala urbana si basa su un supporto GIS, che consente di gestire diverse tipologie di dati con unità di misura diverse e varie scale di rappresentazione. Nella Tabella 2 sono stati riportati i principali dati di input a scala Nazionale, Regionale e Comunale (facendo riferimento ad alcuni casi studio analizzati dagli autori: Torino, Pantelleria, il territorio del Pinerolese, la Regione Piemonte e il territorio italiano).

Tabella 2. Dati di input per i modelli GIS-based di consumo, produzione e producibilità di energia.

Dati di input	Tipologia	Fonte (link)
Modelli di consumo		
Carta Tecnica Comunale (CTC), Regionale (CTR), Nazionale (CTN)	Ambiente costruito / Morfologia urbana / Caratteristiche consumatori	<ul style="list-style-type: none"> Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali: https://geodati.gov.it/geoportale/; http://www.logis-srl.it/?page_id=800; http://www.sinanet.isprambiente.it/it/rete-sinanet CTR del Piemonte, Geoportale: http://www.geoportale.piemonte.it/cms/; CTC di Torino, Geoportale: http://geoportale.comune.torino.it/web/; CTN di Pantelleria, Geoportale: http://download.geofabrik.de/europe/italy/isole.html.
Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti (BDTRE)		<ul style="list-style-type: none"> BDTRE del Piemonte, Geoportale: http://www.geoportale.piemonte.it/cms/bdtre; BDTRE di Torino: http://www.datigeo-piem-download.it/static/regp01/BDTRE2019_VECTOR/BDTRE_DATABASE_GEOTOPOGRAFICO_2019-LIMI_COMUNI_10_GAIMSDWL-001272-EPG32632-SHP.zip.
Andamento del terreno/costruito (DEM, DSM, DTM)		<ul style="list-style-type: none"> DEM della Nazione (precisione 20 m), ISPRA: http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/dem20/view; DTM del Piemonte (precisione 10 m): http://www.datigeo-piem-download.it/direct/Geoportale/RegionePiemonte/DTM10/DTM10.zip; DEM (precisione 20 m) di Pantelleria, ISPRA: http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/dem20/view.
Immagini satellitari (es. Landsat 8)		<ul style="list-style-type: none"> USGS Earth Explorer (Landsat): https://earthexplorer.usgs.gov/; Raster (precisione 30 m) di Pantelleria: https://earthexplorer.usgs.gov/.
Uso del Suolo		<ul style="list-style-type: none"> Groupware - Uso, copertura e consumo di suolo della Nazionale: http://groupware.sinanet.isprambiente.it/uso-copertura-e-consumo-di-suolo/library/; CORINE Land Cover della Nazione, ISPRA: http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/corine-land-cover.

Dati di input	Tipologia	Fonte (link)
Censimento popolazione	Caratteristiche socio-economiche	<ul style="list-style-type: none"> Dati ISTAT Nazionali: http://www.logis-srl.it/?page_id=815; http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS_POPRES1.
Temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità del vento, irradiazione solare, gradi giorno (GG)	Caratteristiche climatiche	<ul style="list-style-type: none"> UNI 10349-1, -2, -3:2016; PVGIS, JRC: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html; Arpa Piemonte: https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteorologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html; http://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/selezione-gradi-giorno/selezione-gradi-giorno.html.
Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES)	Dati di consumo	<ul style="list-style-type: none"> https://www.pattodeisindaci.eu/piani-e-azioni/piani-d-azione.html; PAES di Torino: http://www.comune.torino.it/ambiente/bm~doc/tape-3.pdf; PAES di Pantelleria: http://www.smartisland.eu/images/documenti_report/Pantelleria_Paes.pdf.
Attestati di Prestazione Energetica (APE)		<ul style="list-style-type: none"> APE del Piemonte, SIPEE: www.sistemapiemonte.it; http://www.portale4e.it/centrale_dettaglio_pa.aspx?ID=7
Lecture contatori; Questionari/ Campagne di monitoraggio		<ul style="list-style-type: none"> e-distribuzione di Pantelleria: https://private.edistribuzione.it/PortaleClienti/PED_SiteLogin; http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/condizionamento/rse165.pdf http://www.assimmobiliare.it/wp-content/uploads/Rapporto_Benchmark-Consumi-Uffici_Enea-Assoimmobiliare_2019-00000002.pdf
Modelli di Produzione		
Questionari/ Campagne di monitoraggio; Portali on-line	Dati di produzione	<ul style="list-style-type: none"> Atlaimpianti GSE della Nazione: https://www.gse.it/dati-e-scenari/atlaimpianti
Modelli di Producibilità		
Dati di irradiazione solare	Fonti energetiche rinnovabili	<ul style="list-style-type: none"> Fotovoltaico GIS, JRC: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html; Solar Radiation Data SODA: http://www.soda-pro.com/web-services/atmosphere/linke-turbidity-factor-ozone-water-vapor-and-angstroembeta; Portale solare, Cities On Power: http://energia.sistemapiemonte.it/ittb-torino.
Dati Biomassa		<ul style="list-style-type: none"> Sistema Informativo Forestale Regionale (SIFOR) del Piemonte: http://www.sistemapiemonte.it/cms/privati/territorio/servizi/526-sistema-informativo-forestale-regionale; Ente Nazionale Risi di Pantelleria: http://www.enterisi.it/servizi/Menu/dinamica.aspx?idSezione=17505&idArea=17548&idCat=17552&ID=17552&TipoElemento=categoria.
Dati Rifiuti (es. produzione di rifiuti urbani pro-capite)		<ul style="list-style-type: none"> Osservatorio rifiuti di Pantelleria, ISPRA: https://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it/index.php?pg=&width=1093&height=615.
Dati Vento		<ul style="list-style-type: none"> Istituto meteorologico ECMWF di Reading, Atlante Eolico Italiano: http://atlanteolico.rse-web.it/.
Vincoli ambientali, territoriali (SIC, ZPS, SIR), tecnici		Limiti per l'installazione di impianti da FER

3.2 Scenari di riqualificazione energetica

In base ai dati di input disponibili e al tipo di modello sviluppato a scala urbana, è possibile identificare diversi scenari futuri di riqualificazione energetica e rigenerazione urbana, ipotizzando politiche e azioni volte al raggiungimento della sostenibilità e sicurezza energetica.

A titolo esemplificativo, si riportano di seguito gli scenari di efficientamento energetico analizzati per la città di Torino

attraverso l'ottimizzazione e l'espansione della rete del teleriscaldamento (TLR). Con il supporto del GIS è stato creato un database aggiornato degli edifici con tutte le informazioni disponibili a diverse scale: i dati tipologici e dimensionali degli edifici; le caratteristiche impiantistiche e i vettori energetici utilizzati; la distribuzione spaziale degli edifici; le caratteristiche della popolazione; l'attuale domanda e offerta di energia riferita ai consumi per il riscaldamento; gli edifici

collegati alla rete del TLR e quelli potenzialmente collegabili; l'identificazione degli edifici che necessitano di ristrutturazione; le informazioni relative agli interventi di riqualificazione energetica (attraverso gli Attestati di Prestazione Energetica, APE).

Per ottimizzare il funzionamento della rete del TLR, sono stati identificati degli scenari di efficientamento con l'obiettivo di ridurre l'energia richiesta dagli edifici (a seguito di misure di riqualificazione) e aumentare il numero degli utenti collegati, considerando gli edifici potenzialmente collegabili. Questa valutazione ha tenuto conto dei vincoli economici dell'allacciamento alla rete di TLR legati alla presenza di edifici con impianti autonomi e di edifici unifamiliari con volumetrie limitate.

Le principali fasi per questo tipo di valutazione sono state:

- i. analisi dei dati del TLR e calcolo della quota massima allacciabile considerando i vincoli territoriali, economici e tecnici;
- ii. identificazione delle aree critiche valutando il rapporto tra la quota collegabile reale e la quota collegabile teorica (a seguito di misure di riqualificazione) degli edifici;
- iii. valutazione del trend di risparmio energetico attraverso l'analisi degli APE; sono stati identificati due scenari di risparmio energetico: "standard" e "avanzato".
- iv. ipotesi di efficientamento energetico: con l'obiettivo di aumentare gli edifici collegabili alla rete del TLR; una prima ipotesi prevede misure di intervento nelle aree più critiche valutando una riqualificazione standard e una avanzata; una seconda ipotesi prevede misure di efficientamento in tutta l'area servita dal TLR con una riqualificazione standard e una avanzata.

4. Caso studio

In questa sezione vengono presentate, a titolo esemplificativo, alcune applicazioni dei modelli a scala urbana di consumo di energia sulla città di Torino. Gli elementi chiave del Piano di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES) della città di Torino sono il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici esistenti, il ricorso alle fonti rinnovabili di energia, un piano del trasporto che favorisce quello pubblico e l'estensione della rete del TLR. A Torino infatti la domanda di energia degli edifici è piuttosto consistente, la maggior parte degli edifici è stata costruita prima delle leggi sul contenimento dei consumi energetici ed ha vincoli storici e architettonici che limitano le possibili azioni di riqualificazione energetica; inoltre, il complesso contesto territoriale torinese circondato da montagne, la presenza della collina, dei parchi, di quattro fiumi e di grandi aree industriali influenza significativamente i processi di pianificazione energetica ed ambientale. In questo ambito, un modello a scala urbana, può considerare le caratteristiche degli edifici ma anche i vari vincoli territoriali, ambientali, tecnici ed economici, che potrebbero ad esempio influenzare la potenziale espansione della rete del TLR nelle diverse zone della città.

In precedenti lavori di ricerca è stato stimato il consumo di energia termica annuale per tutte le utenze di Torino con un modello di tipo *bottom-up* per il settore residenziale (sono stati georeferiti i consumi di oltre 2000 edifici) e un modello *top-down* a scala municipale per tutte le utenze (residenziali e non). In una successiva analisi è stato creato un modello annuale *top-down* a una scala territoriale di 1 km x 1 km (maglie quadrate) e sono stati ipotizzati diversi scenari di riqualificazione energetica a scala urbana degli edifici residenziali di Torino facendo anche delle ipotesi sull'espansione della rete di TLR. Inoltre, l'applicazione di un modello mensile *ibrido*, applicato a circa il 50% degli edifici residenziali di Torino, ha permesso di valutare l'influenza dei parametri urbani sul consumo energetico degli edifici. Anche in questo caso è stato possibile ipotizzare scenari futuri di efficientamento energetico ma con profili mensili. Infine, con dati orari è stato possibile fare delle analisi ancor più dettagliate; applicando un modello orario *ibrido* sono state fatte delle valutazioni sull'energia termica ed elettrica producibile da tecnologie solari integrate sui tetti degli edifici. Come accennato precedentemente, questo dettaglio è necessario quando si fanno delle valutazioni sull'uso delle FER.

Naturalmente i modelli descritti sono facilmente replicabili in altri contesti urbani proprio grazie alla metodologia di analisi basata sui sistemi GIS, che consentono di georeferire le informazioni dalla scala di edificio alla quella territoriale. Ad esempio, questi modelli sono già stati applicati alle città dell'area metropolitana di Torino, a Ginevra (CH), a Essen (DE) e alla area di Gran Mendoza (AR).

5. Risultati e conclusioni

Con l'applicazione dei modelli di consumo e di risparmio di energia a scala urbana sugli edifici della città di Torino, sono stati ipotizzati scenari futuri in funzione di possibili misure di efficientamento energetico di tipo "standard" e "avanzate". Le misure di efficientamento energetico adottate considerano sia un maggior isolamento termico dell'involucro degli edifici, sia sistemi impiantistici più efficienti, compatibili con i vincoli presenti sul territorio. In particolare, sono state valutate le aree più critiche della città identificando le zone in cui gli edifici necessitano interventi urgenti al fine di ottimizzare la distribuzione del calore attraverso le rete del TLR (Figura 4). Intervendendo sugli edifici potenzialmente allacciabili, si ha un moderato risparmio energetico; in particolare, la quota volumetrica collegabile varia dall'8,5% (scenario standard) al 16,3% (scenario avanzato). Intervendendo su tutti gli edifici (anche quelli attualmente collegati) la percentuale della quota allacciabile raggiunge il 57,9% (scenario avanzato). Nella seconda fase, si applica la stessa metodologia di efficientamento a tutti gli edifici di Torino allacciati e potenzialmente allacciabili. I risultati dimostrano una notevole riduzione dei consumi di energia termica, con la possibilità di collegare quasi tutti gli edifici potenziali. Tenendo conto dei risparmi energetici

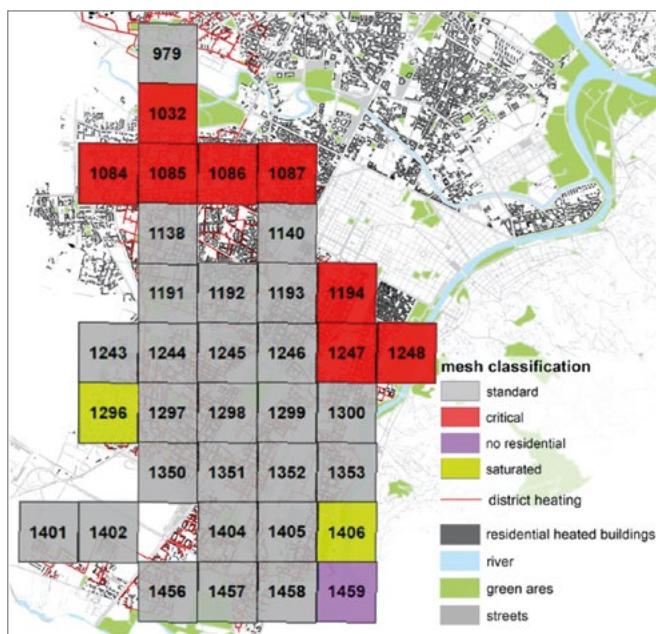


Figura 4. Classificazione di 36 maglie: aree standard, critiche, non residenziali e sature (100% collegato alla rete del TLR).

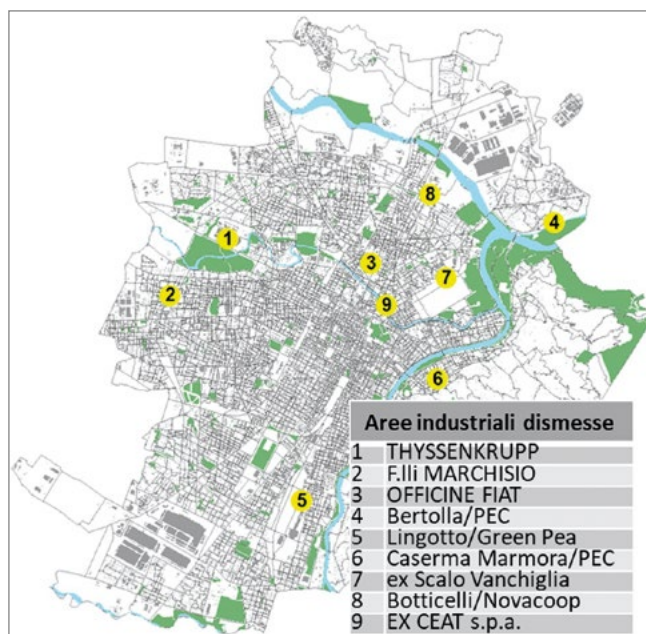


Figura 5. Censimento degli spazi industriali dismessi a Torino.

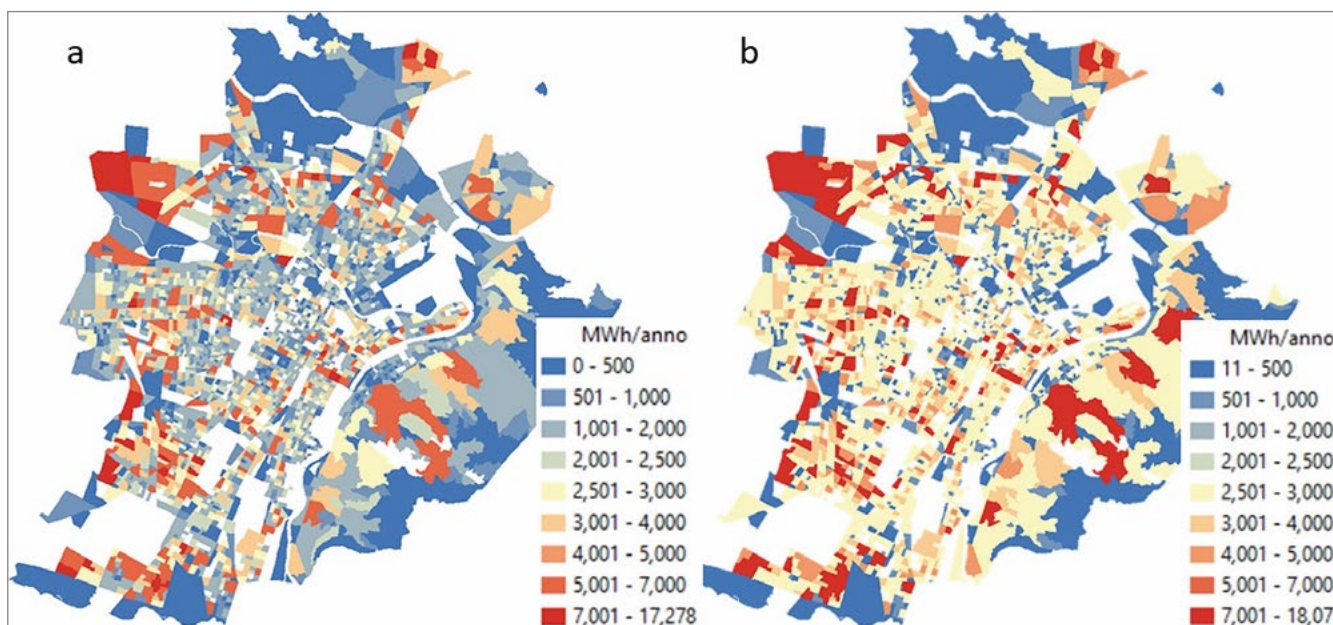


Figura 6. Valutazione dei consumi residenziali attuali (a) e a seguito di riqualificazione degli spazi vuoti (b).

per i diversi scenari, l'energia fornita può essere considerevolmente ridotta da 2,169,097 MWh/anno (aree critiche) a 1,045,290 MWh/anno (l'energia richiesta si riduce del 52%). Ad oggi la percentuale di edifici collegabili è pari al 34.3%, ipotizzando un'efficientamento energetico di tutti gli edifici allacciati e potenzialmente allacciabili alla rete del TLR, la percentuale aumenta del 23,5%.

Questi modelli possono essere anche usati per valutare le politiche urbane di riutilizzo di edifici esistenti e spazi vuoti, problema tipico delle città post-industriali come Torino. Nell'ambito del progetto *Untitled*, per la città è stata fatta

una valutazione dei consumi energetici dopo il riutilizzo di aree ex-industriali (Figura 5) e di edifici residenziali disabitati. Naturalmente, il riutilizzo di spazi vuoti causerà un aumento del consumo di energia a beneficio però di altri aspetti, ad esempio un minore necessità di altre costruzioni e una migliore qualità degli spazi urbani. La Figura 6 mostra il consumo di energia a scala di sezione di censimento per il riscaldamento di edifici residenziali prima e dopo il loro riutilizzo. I consumi attuali del settore residenziale corrispondono a circa 6,095,726 MWh/anno, a seguito del riutilizzo degli spazi vuoti raggiungono 6,683,799 MWh/

anno. Di conseguenza le emissioni passano da **1,280,103** a 1.403.598 $t_{CO_2,eq}$ /anno (coefficiente di emissione del gas naturale: 0,21 $t_{CO_2,eq}/MWh$). Considerando anche i dati di consumo che si avrebbero andando a riqualificare le aree industriali dismesse, si avrebbe un consumo aggiuntivo di **4,504** MWh/anno e una conseguente quota di emissioni pari a **2,072** $t_{CO_2,eq}$ /anno (coefficiente di emissione dell'energia elettrica: 0,46 $t_{CO_2,eq}/MWh$).

Per migliorare la sostenibilità della città in un contesto urbano ad alta densità è necessario riutilizzare gli edifici esistenti e gli spazi vuoti ottimizzando: la domanda di energia dei diversi utenti; la fornitura di energia ad esempio attraverso la rete del TLR; la produzione di energia da fonti rinnovabili sfruttando le tecnologie che si possono integrare nell'involucro degli edifici o nelle strutture urbane. I meccanismi e gli incentivi finanziari volti al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici dovrebbero avere un ruolo centrale nella riduzione della domanda di energia a breve e a lungo termine (EPDB, 2018/31/EU). In Italia le detrazioni fiscali, a seguito di riqualificazioni energetiche, sono state confermate fino al 31 dicembre 2021; lo schema *Ecobonus* può essere un efficace strumento per stimolare l'efficientamento energetico degli edifici con incentivi attraverso esenzioni, indennità o benefici fiscali (ad esempio, la detrazione fiscale consente di accedere ad uno sconto del 50-65% della spesa sostenuta).

I modelli energetici degli edifici descritti possono essere utili per pianificare strategie a scala urbana o territoriali per uno sviluppo più sostenibile del territorio, al fine di aiutare le amministrazioni locali nella definizione di politiche di intervento adattate al reale contesto costruito.

Riferimenti bibliografici

- M. Carozza, G. Mutani, S. Coccolo, J. H. Kaempf, *Introducing a hybrid energy-use model at the urban scale: the case study of Turin (IT)*, in *3rd BSA-Italy Conference Proceedings*, BU Press 3rd IBPSA-Italy Conference, Bolzen 8-10.2 2017, 8 pp. non numerate.
- C. Delmastro, G. Mutani, L. Schranz, G. Vicentini, *The role of urban form and socio-economic variables for estimating the building energy savings potential at the urban scale*, in «International Journal of Heat and Technology», n. 33-4, 2015, pp. 91-100.
- E. Guelpa, G. Mutani, V. Todeschi, V. Verda, *A feasibility study on the potential expansion of the district heating network of Turin*, in «Energy Procedia», n. 122, 2017, pp. 847-852.
- E. Guelpa, G. Mutani, V. Todeschi, V. Verda, *Reduction of CO₂ emissions in urban areas through optimal expansion of existing*

district heating networks, in «Journal of Cleaner Production», n. 204, 2018.

G. Mutani, V. Cristino, M. Bullita, *The urban heat island of the Metropolitan City of Turin. Strategies for a sustainable urban planning*, in *XXIII Conference A.I.P.T.* (Associazione Italiana Proprietà Termofisiche), Torino, 21-22 settembre 2017, Torino 2018, pp. 105-123.

G. Mutani, F. Fiermonte, *The Urban Microclimate and the Urban Heat Island. A model for a sustainable urban planning*, in R. Ingaramo, A. Voghera (eds.), *Topics and Methods for Urban and Landscape Design*, Urban and Landscape Perspectives n. 19, Springer, Cham 2016, on line.

G. Mutani, M. Fontanive, M.E. Arboit, *Energy-use modelling for residential buildings in the metropolitan area of Gran Mendoza (AR)*, in «Italian Journal of Engineering Science», vol. 61+1, n. 2, December 2018, pp. 74-82.

G. Mutani, A. Gamba, S. Maio, *Space heating energy consumption and urban form. The case study of residential buildings in Turin (Italy)*, in *11th Conference on Sustainable of Energy, Water and Environmental Systems*, Lisbon 2016, pp. 1-17.

G. Mutani, V. Todeschi, *An energy balance model at a neighbourhood scale for residential buildings*, in *Energy Efficiency*, Springer, under revision.

G. Mutani, V. Todeschi, V. Coors, J. Kaempf, M. Fitzky, *Building energy consumption modelling at urban scale: three case studies in Europe*, in *INTELEC[®] 2018 - International Telecommunications Energy Conference*, Torino 7-11th October 2018.

G. Mutani, V. Todeschi, *Energy Resilience, Vulnerability and Risk in Urban Spaces*, in «Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems», n. 6-4, 2018, pp. 694-709.

G. Mutani, V. Todeschi, G. Grisolia, U. Lucia, *Introduction to Constructal Law Analysis for a Simplified Hourly Energy Balance Model of Residential Buildings at District Scale*, in «Tecnica Italiana-Italian Journal of Engineering Science», n. 63-1, 2019, pp. 13-20.

G. Mutani, V. Todeschi, E. Guelpa, V. Verda, *Buildings efficiency models and the optimization of the district heating network for low-carbon transition cities*, in Paolo Bertoldi (Ed.), *Building Efficiency Models and the Optimization of the District Heating Network for Low-Carbon Transition Cities*, Springer, Cham 2013.

G. Mutani, V. Todeschi, *Space heating models at urban scale for buildings in the city of Turin (Italy)*, in «Energy Procedia», n. 122, 2017, pp. 841-846.

G. Mutani, V. Todeschi, *Urban Building Energy Modeling: hourly energy balance model of residential buildings at district scale*, in *37th UIT Heat Transfer Conference*, Padova, June 24th-26th 2019.