

Un modello per valutare il consumo energetico per la climatizzazione invernale degli edifici residenziali: il caso studio di Torino

A model to evaluate the heating energy consumption for residential buildings in Turin

► di **Guglielmina Mutani*** e **Mario Pairona****

(*) *Ingegnere, DENERG, Politecnico di Torino*

(**) *Architetto, libero professionista*

In questo lavoro viene presentato un metodo per la valutazione del consumo energetico degli edifici residenziali della città di Torino elaborato nell'ambito del progetto di ricerca europeo "Cities on Power" (<http://www.citiesonpower.eu/it>). Il modello di calcolo si basa sul consumo energetico reale per la climatizzazione invernale del patrimonio edilizio Torinese. L'analisi su una serie di "edifici-tipo" ha consentito la valutazione del potenziale di risparmio energetico su tutti gli edifici residenziali a seguito di diversi interventi di riqualificazione energetica. La procedura individuata può essere applicata a scala urbana su qualsiasi città europea, consentendo di poter effettuare delle valutazioni sugli interventi di riqualificazione energetica più efficaci, tenendo conto delle caratteristiche reali del patrimonio edilizio esistente.

This work proposes a method for evaluating the energy consumption of residential buildings in Turin (Italy) elaborated for the European Research Project "Cities on Power" (<http://www.citiesonpower.eu/it>). The elaborated model depends on real data about energy consumption for buildings heating of Turin's real estate. Thermal analysis of typical buildings allowed the evaluation of the energy savings on renovated buildings. These considerations can be extended on a urban scale to European towns, calculating the overall energy savings obtained by different energy policies.

Introduzione

Da un'analisi sullo stato dell'arte è emerso che il consumo degli edifici può essere stimato sulla base di alcune caratteristiche quali: la destinazione d'uso, le dimensioni e la forma dell'edificio, la tipologia di struttura dell'involucro, di serramenti, di

copertura, di solai, di gestione dell'impianto e dei sottosistemi impiantistici utilizzati [Corrado *et al.*, 2011; Fracastoro, Serraino, 2010; Fracastoro, Raimondo, 2008; IReR, 2004; Magrini *et al.*, 2011; Mutani, Vicentini, lug. 2013; Steadman *et al.*, 2013]. Alcuni di questi dati possono essere desunti

su scala urbana dalle carte tecniche comunali, note le altezze degli edifici o il numero dei piani; altre caratteristiche possono invece essere ipotizzate conoscendo il periodo di costruzione degli edifici che definisce in modo abbastanza preciso le strutture edilizie, la tipologia di serramenti ed i sistemi impiantistici utilizzati. Basandosi sui consumi di energia per la climatizzazione invernale e confrontando questi dati con le caratteristiche degli edifici, si è cercato di individuare un modello che possa essere applicato attraverso sistemi informativi geografici GIS a scala urbana.

L'analisi descritta in questo lavoro si sviluppa attraverso le seguenti fasi: dopo una valutazione sui dati di consumo di energia per la climatizzazione invernale che devono essere associati alle caratteristiche degli edifici, vengono individuati gli edifici e le relative grandezze da cui dipendono i consumi attraverso un sistema georiferito. Quindi si elaborano i modelli di consumo attraverso un'analisi statistica dei dati che poi verranno applicati a scala urbana. La seconda parte di questo lavoro riguarda le opportunità di risparmio energetico. In questa fase, vengono scelti alcuni edifici tipo con caratteristiche tipiche e ricorrenti nel parco edilizio da analizzare. Su tali edifici si effettua una diagnosi energetica con la valutazione del risparmio energetico a seguito di alcuni interventi migliorativi. Anche questa analisi, verrà applicata su scala urbana a edifici con le stesse caratteristiche geometriche e tipologiche in modo da poter effettuare un'analisi su tutta la città di Torino.

I dati di consumo

Torino è una delle città più teleriscaldate in Europa con una volumetria riscaldata di 52,8 Mm³ (al dicembre 2012) ⁽¹⁾. Grazie alla collaborazione con gli enti che gestiscono il teleriscaldamento a Torino ⁽²⁾, per circa millecinquecento edifici residenziali con caratteristiche costruttive e tipologia edilizia differente, sono stati raccolti i consumi di energia registrati durante la stagione di riscaldamento 2010-2011. I consumi di energia termica raccolti si riferiscono solo alla climatizzazione invernale e non considerano la produzione di acqua calda sanitaria e l'uso cucina.

Il modello di consumo energetico per la climatizzazione invernale che viene descritto in questo lavoro, poiché verrà utilizzato su scala urbana con un sistema informativo geografico libero (QGIS Lisboa 1.8.0) e si basa sulle seguenti variabili per ogni edificio:

- il volume;
- il tasso di occupazione (che consente di valutare la quota parte abitata e riscaldata dell'edificio);
- l'epoca di costruzione (che influenza principalmente la tipologia di struttura edilizia utilizzata, il livello di isolamento termico delle superfici disperdenti e l'efficienza dell'impianto di riscaldamento);
- il fattore di forma degli edifici (consente di valutare l'entità delle superfici disperdenti in relazione al volume riscaldato).

Poiché tale modello sarà applicato a scala urbana, la scelta delle variabili è stata influenzata anche dalla disponibilità di tali dati per tutti gli edifici residenziali della città di Torino (per maggiori approfondimenti si veda [Fracastoro, Serraino, 2011; ISTAT, 2001]).

Rispetto ai dati raccolti per effettuare il modello, alcuni edifici sono stati esclusi in quanto bisogna considerare anche altri fattori che vanno ad influenzare il consumo per la climatizzazione invernale, quali ad esempio [Mutani, Vicentini, ott. 2013]:

- la temperatura dell'aria interna degli ambienti riscaldati (a volte diversa dai 20-22°C indicati dalla normativa);
- il numero di ore di accensione dell'impianto di riscaldamento;
- gli eventuali interventi di riqualificazione energetica effettuati sugli edifici considerati che modificano il consumo di energia rispetto a quello degli stessi edifici della stessa epoca di costruzione e tipologia.

Inoltre su scala urbana non è sempre facile associare il dato di consumo di un utente all'effettivo volume riscaldato di un edificio in quanto le carte tecniche disponibili non distinguono gli edifici per utenza ma per indirizzo. Quindi rispetto ai dati di partenza, il campione analizzato è costituito da circa trecento edifici residenziali multipiano costruiti tra il 1900 e il 2005, localizzati a Torino nelle circoscrizioni 1, 3 e 5.

I dati caratteristici del campione di edifici vengono riportati di seguito:

- il volume lordo riscaldato (V) ha un valore medio di 8477 m^3 ed un intervallo compreso fra 1300 a 31694 m^3 (su tutta Torino il volume medio degli edifici è pari a circa 3850 m^3);
- il rapporto di forma (S/V) ha un valore medio di $0,39 \text{ m}^{-1}$ ed è compreso tra $0,13$ e $1,02 \text{ m}^{-1}$ (su tutta Torino il fattore di forma medio degli edifici è pari a circa $0,54 \text{ m}^{-1}$).

Rispetto a tutti gli edifici di Torino, dai dati del campione analizzato, emerge la netta prevalenza di edifici con volumi lordi riscaldati elevati compresi tra i 3200 e i 9500 m^3 ; questi rappresentano oltre il 67% di quelli analizzati; inoltre, la distribuzione del rapporto di forma S/V è principalmente concentrata attorno molto più bassi rispetto alla media torinese: da $0,31$ a $0,51 \text{ m}^{-1}$.

La tipologia di edifici maggiormente rappresentata risulta essere quella dei grandi condomini compatti, come ben ci si può attendere da un contesto urbano come quello della città di Torino; inoltre come precedentemente evidenziato nel presente lavoro vengono esclusivamente considerati gli edifici teleriscaldati; la maggior parte di questi risultano essere grandi condomini.

Infine la maggior parte degli edifici considerati è stata costruita prima delle leggi sul contenimento dei consumi energetici (i.e. la legge 373/1976) con l'involucro non isolato e con tipologia compatta, tipica del parco edilizio delle città italiane.

La selezione degli edifici

Gli edifici sono stati individuati all'interno di tre circoscrizioni (su dieci) della città di Torino: queste risultano significative sia per la fitta distribuzione del teleriscaldamento, sia perché gli edifici hanno rapporti di forma e periodi di costruzione diversificati. Ad ogni edificio viene associato un consumo di energia per la stagione di riscaldamento 2010-2011, che quindi verrà rappresentato sulla Carta Tecnica Comunale (CTC:2006) con QGIS insieme a tutte le altre caratteristiche dell'edificio.

L'operazione descritta in precedenza è partita in modo manuale, utilizzando la piattaforma di *Google Maps* per individuare gli edifici. La difficoltà di questo primo passaggio è stata proprio l'associare l'indirizzo dell'edificio al relativo volume riscaldato. Infatti, sulla Carta Tecnica Comunale, non sono rappresentati gli indirizzi degli edifici, ma interi isolati o più edifici. Inevitabilmente questo limite fisico ha determinato l'esclusione di oltre il 60% dei dati di partenza.

I risultati ottenuti dall'associazione tra il consumo reale e le caratteristiche degli edifici sono stati inizialmente sottoposti a una verifica puntuale. Un campione significativo di edifici, è stato sottoposto a una ulteriore analisi tra le volumetrie riscaldate e le potenze installate degli scambiatori di calore del teleriscaldamento. Nella zona climatica di Torino, il dimensionamento degli scambiatori di calore viene effettuato in prima analisi ipotizzando una potenza termica di 30 W/m^3 (rapporto tra la potenza dello scambiatore ed il volume netto riscaldato dell'edificio). Confrontando la potenza dello scambiatore installato ed il volume dell'edificio è stata fatta un'ulteriore scrematura dei dati di consumo utilizzabili per il modello.

Gli edifici risultanti sono stati suddivisi infine per le epoche di costruzione secondo la classificazione ISTAT ⁽³⁾ (fino al 1918, dal 1919 al 1945, dal 1946 al 1960, dal 1961 al 1970, dal 1971 al 1980, dal 1981 al 1990 e dal 1991 al 2005) [ISTAT, 2001; IRER, 2004]. Poiché l'obiettivo di questo lavoro era quello di ottenere un modello di consumo degli edifici in funzione essenzialmente dell'epoca di costruzione e del rapporto di forma, la scelta degli edifici è stata effettuata in modo da avere un numero sufficiente di edifici per ogni epoca di costruzione e con un rapporto di forma il più variabile possibile.

I modelli di consumo per la climatizzazione invernale

L'obiettivo principale di questo lavoro è quello di creare un modello di consumo di energia per la climatizzazione invernale degli edifici e correlarlo rispetto al rapporto di forma S/V per ciascuna epoca di costruzione. A causa della gran dispersione dei dati di consumo e, come precedentemente affermato, poiché non si controllano tutte le grandezze che influenzano

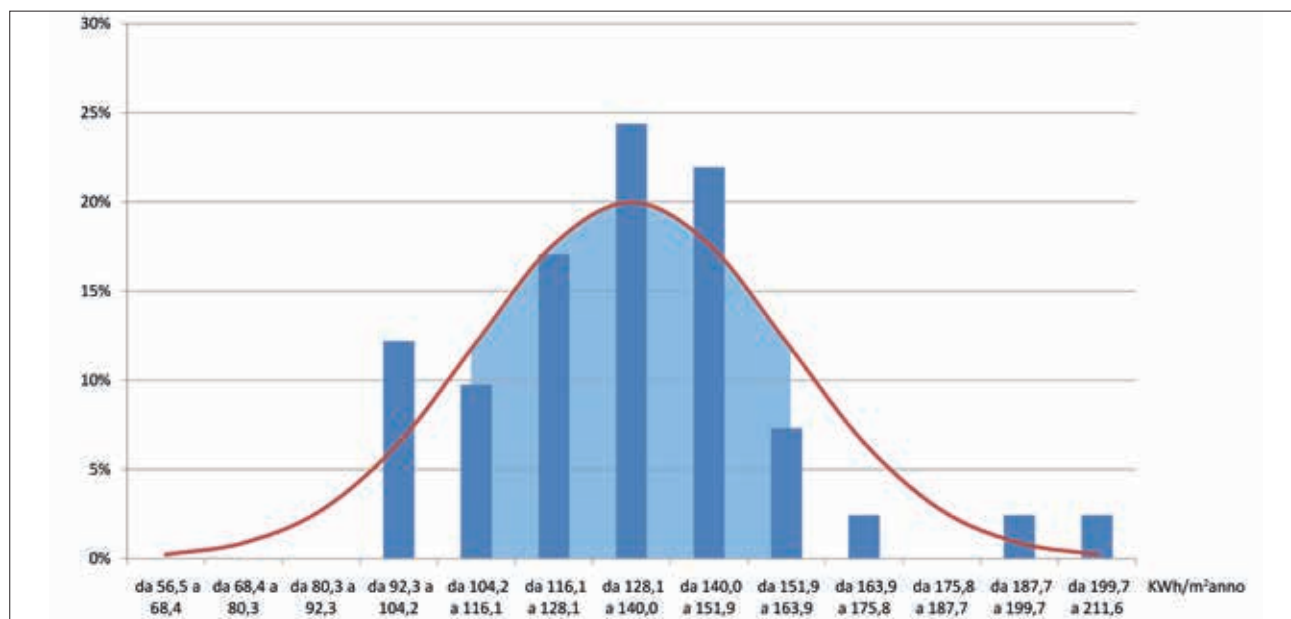


Figura 1 – Consumi specifici degli edifici con S/V compreso tra $0,21$ e $0,40 \text{ m}^{-1}$ per l'epoca di costruzione "prima del 1918" ($x_m = 134,04$ e $\mu = 23,86$)

Epoca di costruzione	Edifici analizzati	Edifici selezionati
<i>Prima del 1918</i>	73	53
1919-1945	55	42
1946-1960	63	46
1961-1970	42	31
1971-1980	41	30
1981-1990	8	6
1991-2005	6	5
Totale	288	213

Tabella 1 – Numero di edifici considerati per la costruzione del modello di consumo di energia

il consumo degli edifici, è stata applicata la teoria degli errori casuali [Vicario, Levi, 2001; Morano, 2002]. Tale teoria consente di selezionare gli edifici che hanno un consumo molto diverso rispetto al valore medio in modo da poterli scartare.

Data la ricerca di una correlazione tra i consumi ed i rapporti di forma S/V , i dati sono stati suddivisi per ciascuna epoca di costruzione in sottogruppi con S/V compreso tra: 0 a 0,2, da 0,21 a 0,4, da 0,41 a 0,6, da 0,61 a 0,8 e da 0,81 a 1).

In figura 1 è rappresentata l'applicazione di tale teoria per gli edifici più vecchi che corrispondono alla classe di epoca di costruzione "prima del 1918". In azzurro sono rappresentati i consumi specifici (kWh/m^2) degli edifici ed in rosso è rappresentata la distribuzione gaussiana noto il consumo medio (x_m) e il suo scarto quadratico medio (μ).

La teoria degli errori casuali considera accettabili i valori compresi nell'intervallo: $x_m \pm \mu$ che corrisponde al 68% dei dati.

In tabella 1 sono stati sintetizzati i risultati della selezione degli edifici che ha poi consentito di costruire il modello per ciascuna epoca di costruzione. Naturalmente, date le caratteristiche del parco edilizio di Torino caratterizzato da edifici vetusti, le più recenti epoche di costruzione sono meno numerose. A ciò si aggiunge il fatto che dagli anni '90 si sono diffusi gli impianti autonomi e quindi è più difficile che tali edifici siano teleriscaldati.

Per la costruzione del modello di consumo si è partiti da relazioni trovate in letteratura [IRER, 2004; Mutani, Vicentini, lug. 2013]. I dati risultanti sono stati successivamente normalizzati rispetto alle condizioni climatiche standard della città di Torino (UNI 10349:1994) ⁽⁴⁾.

In figura 2 sono rappresentate le linee di tendenza dei consumi per la climatizzazione invernale in funzione del rapporto di forma per ogni epoca di costruzione. La bontà di adattamento del modello di regressione lineare dei dati di consumo in funzione del rapporto di forma S/V può essere misurato attraverso il coefficiente di determinazione R^2 . R^2 indica la variabilità dei dati rispetto alla relazione individuata e quando tende a 1 la correlazione è perfetta.

Rispetto ai consumi per la climatizzazione invernale derivanti dal modello, si possono ricavare anche i consumi per gli edifici non teleriscaldati andando ad ipotizzare un rendimento medio globale dell'impianto [Fracastoro, Serraino, 2010 e UNI/TS 11300-

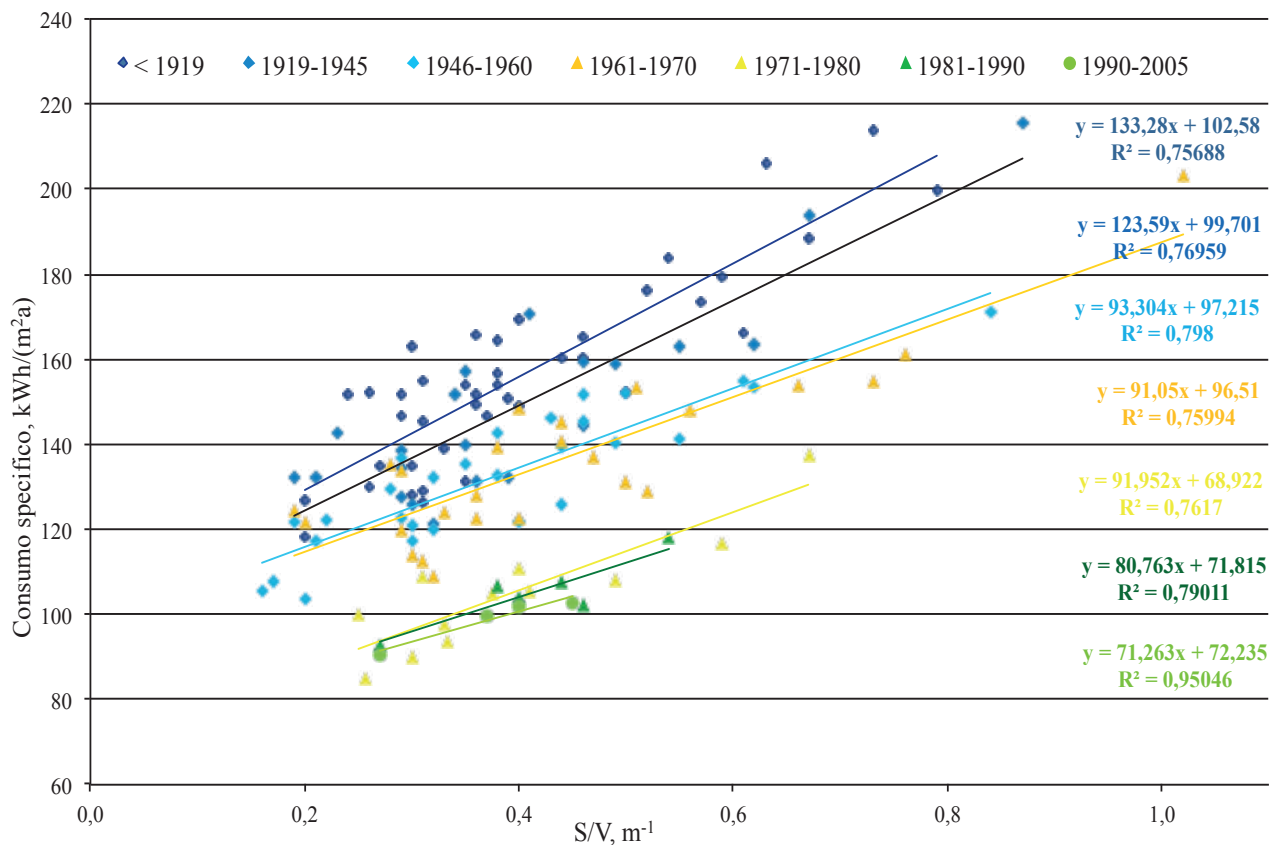


Figura 2 – Consumi specifici di energia per la climatizzazione invernale (kWh/m²a) degli edifici residenziali a Torino per fattore di forma S/V ed epoca di costruzione

2:2008]. Nelle tabelle 2 e 3 sono rappresentati dei valori di riferimento per i rendimenti degli impianti autonomi e centralizzati per gli edifici con diversa epoca di costruzione; nell'ultima riga sono indicati i coefficienti di correzione che possono essere utilizzati per calcolare il consumo di energia per la climatizzazione invernale degli edifici non serviti dal teleriscaldamento.

La scelta degli edifici tipo

Per la valutazione del risparmio energetico sono stati scelti degli edifici ricorrenti che possono essere considerati caratteristici del parco edilizio torinese. L'obiettivo è stato quello di individuare uno, due o tre edifici tipo per ogni epoca di costruzione sui quali effettuare una diagnosi energetica ipotizzando diversi interventi di riqualificazione per individuare il relativo risparmio energetico.

Per ogni epoca di costruzione sono stati individuati da un minimo di uno ad un massimo di tre edifici considerati significativi grazie anche ad un confronto con la letteratura [IRER, 2004; AA.VV., 2006; Fracastoro, Raimondo, 2008; Corrado *et al.*, 2011]. Anche la scelta degli edifici tipo, è stata condizionata dall'impossibilità di reperire alcune informazioni soprattutto cartografiche quali:

planimetrie, piante, prospetti e sezioni. Come si può osservare dalla figura 3 gli edifici tipo considerati sono principalmente nelle circoscrizioni 1 e 5 che rispettivamente rappresentano una zona più storica ed una zona più recente di Torino. Come già anticipato gli edifici sono quasi tutti grossi condomini e ciò è anche dovuto al fatto che abbiamo utilizzato i dati di consumo del teleriscaldamento a cui si allacciamo principalmente grandi utenze.

Per completezza è stato anche inserito un edificio isolato (corso Moncalieri) in modo da poter caratterizzare tutto il parco edilizio. Per tale edificio sono state sostituite le strutture disperdenti tenendo conto della relativa epoca di costruzione [Fracastoro, Raimondo, 2008] per poter rappresentare edifici singoli costruiti in anni diversi.

Per ciascun edificio tipo è stata poi ridisegnata la pianta del piano terra, dell'ultimo piano e di un piano intermedio. Ciò ha consentito di effettuare un modello termico per tutto l'edificio ma anche per differenti alloggi dislocati in posizioni differenti. Le simulazioni sono state effettuate utilizzando il software di calcolo Termolog Epix 3⁽⁵⁾.

L'analisi a scala di edificio ha inoltre permesso di

Impianto autonomo	prima del '76	1976-1990	1991-2005	dopo il 2006
<i>emissione</i>	0,90	0,94	0,94	0,94
<i>regolazione</i>	0,93	0,93	0,93	0,93
<i>distribuzione</i>	0,96	0,97	0,99	0,99
<i>generazione</i>	0,83	0,83	0,83	0,99
	67%	70%	72%	86%
<i>con TLR</i>	80%	85%	87%	87%
coeff. correttivo	120%	120%	120%	101%

Tabella 2 – Rendimenti medi dell'impianto servito da una caldaia autonoma e dal teleriscaldamento (TLR)

evidenziare un aumento medio del rapporto di forma pari al 37,16% rispetto ai valori calcolati a scala urbana con QGIS; infatti a scala urbana non si possono considerare tutte le superfici disperdenti di un edificio e si sovrastima il volume riscaldato (senza detrarre ad esempio il vano scala non riscaldato).

Successivamente gli “edifici tipo” sono stati catalogati attraverso una schedatura con le informazioni necessarie per un’analisi sul consumo energetico. All’interno di ciascuna scheda (figure 4a e 4b) sono contenute le seguenti informazioni (tabella 4):

- informazioni generali: indirizzo, classe ed epoca di costruzione, tipologia edilizia, dati geometrici significativi, il Fid ⁽⁶⁾ della C.T.C. 2006, volume netto riscaldato ($V_{\text{netto risc.}}$), S/V_{reale} (che considera tutte le superfici disperdenti ed i vani scala non riscaldati), diff. % S/V_{reale} e S/V (differenza percentuale tra il rapporto di forma, che considera solo le superfici disperdenti esterne e il volume globale, ed il fattore di forma $_{\text{reale}}$), la S_{utile} (superficie calpestabile riscaldata dell’intero edificio) e il numero di piani riscaldati;
- caratteristiche dell’involucro e dell’impianto: tipologia costruttiva, parametri prestazionali dell’involucro edilizio attuale ed in progetto (considerando un’eventuale riqualificazione energetica), tipologia impiantistica (indicazione dei sottosistemi di generazione, emissione, distribuzione e regolazione);
- indicatori energetici: percentuale di superficie trasparente rispetto a quella disperdente, esposizione ottimale della copertura (per l’installazione di pannelli solari fotovoltaici e termici), l’ EP_{acs} (indice di prestazione energetica per l’acqua calda sanitaria), l’ EP_i (indice di prestazione energetica per il riscaldamento invernale), l’ EP_{gl} (indice di prestazione energetica globale) ed il consumo reale per il riscaldamento registrato nella stagione 2010-2011 normalizzato rispetto ai dati climatici standard UNI 10349:1994;
- prestazioni energetiche degli appartamenti: localizzazione, numero di affacci, rapporto di forma reale dell’appartamento, l’ EP_i (indice di prestazione energetica per il riscaldamento invernale) e infine il consumo reale per il riscaldamento registrato nella stagione 2010-2011 normalizzato rispetto ai dati climatici standard UNI 10349:1994.

Impianto centralizzato	prima del '76	1976-1990	1991-2005	dopo il 2006
<i>emissione</i>	0,90	0,94	0,94	0,94
<i>regolazione</i>	0,88	0,88	0,88	0,88
<i>distribuzione</i>	0,89	0,92	0,96	0,96
<i>generazione</i>	0,83	0,83	0,83	0,99
	59%	63%	66%	79%
<i>con TLR</i>	70%	76%	79%	79%
coeff. correttivo	120%	120%	120%	101%

Tabella 3 – Rendimenti medi dell’impianto servito da una caldaia centralizzata e dal teleriscaldamento (TLR)

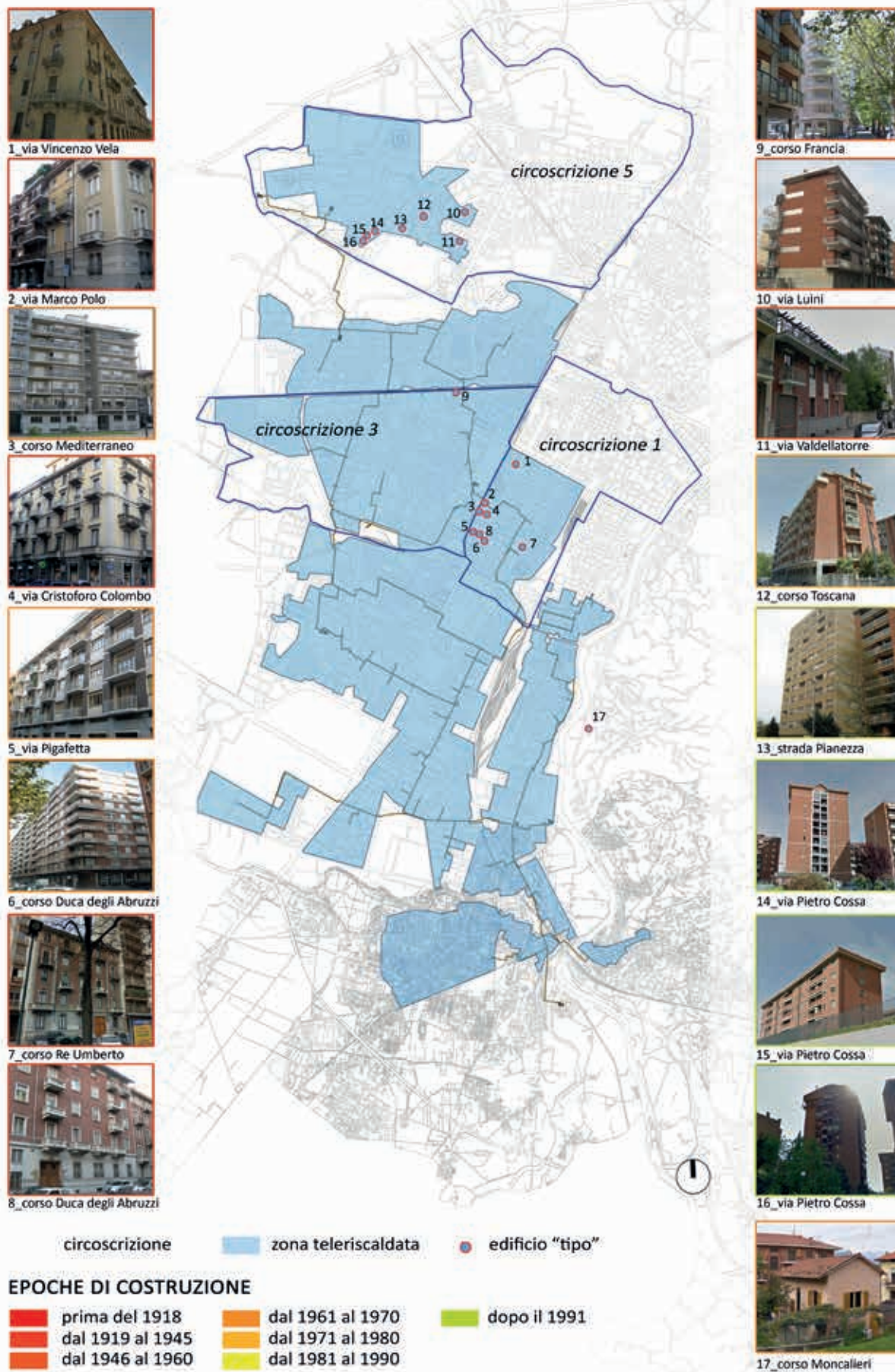


Figura 3 – Gli edifici tipo considerati








Edificio	Caratteristiche	Edificio	Caratteristiche
 1-via Vela	$S_{\text{utile}} = 3136 \text{ m}^2$ $S/V = 0,31 \text{ m}^{-1}$ (136%) 12% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,77 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 4,76 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,791$ $EP_i = 145,29 \text{ (m)} - 201,42 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 291,26-132,26-289,19$ $EP_{\text{acs}} = 48,58 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$	 10-via Luini	$S_{\text{utile}} = 741 \text{ m}^2$ $S/V = 0,57 \text{ m}^{-1}$ (152%) 10% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,10-1,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 4,55 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,780$ $EP_i = 147,73 \text{ (m)} - 200,85 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 260,60-162,55-180,17$ $EP_{\text{acs}} = 62,57 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$
 2-via Marco Polo	$S_{\text{utile}} = 855 \text{ m}^2$ $S/V = 0,30 \text{ m}^{-1}$ (135%) 14% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,55-1,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 2,58 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,779$ $EP_i = 128,22 \text{ (m)} - 194,86 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 75,79-159,03-284,22$ $EP_{\text{acs}} = 54,74 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$	 11-via Valdellatorre	$S_{\text{utile}} = 257 \text{ m}^2$ $S/V = 0,69 \text{ m}^{-1}$ (153%) 11% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,15-1,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 2,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,759$ $EP_i = 151,09 \text{ (m)} - 224,81 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 226,55-161,84-234,25$ $EP_{\text{acs}} = 45,78 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$
 3-corso Mediterraneo	$S_{\text{utile}} = 1767 \text{ m}^2$ $S/V = 0,32 \text{ m}^{-1}$ (138%) 19% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,15-1,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 4,60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,791$ $EP_i = 109,03 \text{ (m)} - 151,77 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 192,25-98,93-162,96$ $EP_{\text{acs}} = 43,70 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$	 12-corso Toscana	$S_{\text{utile}} = 3064 \text{ m}^2$ $S/V = 0,39 \text{ m}^{-1}$ (119%) 15% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 0,85-0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 3,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,843$ $EP_i = 105,42 \text{ (m)} - 141,84 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 142,07-133,01-186,13$ $EP_{\text{acs}} = 26,59 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$
 4-via Cristoforo Colombo	$S_{\text{utile}} = 2138 \text{ m}^2$ $S/V = 0,34 \text{ m}^{-1}$ (125%) 20% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,25-1,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 4,76 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,781$ $EP_i = 157,70 \text{ (m)} - 179,73 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 335,59-139,39-275,44$ $EP_{\text{acs}} = 51,13 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$	 13-strada Pianezza	$S_{\text{utile}} = 1999 \text{ m}^2$ $S/V = 0,42 \text{ m}^{-1}$ (139%) 15% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 0,80-0,75 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 3,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,877$ $EP_i = 107,78 \text{ (m)} - 117,76 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 139,05-74,09-175,50$ $EP_{\text{acs}} = 23,93 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$
 5-via Pigafetta	$S_{\text{utile}} = 2495 \text{ m}^2$ $S/V = 0,38 \text{ m}^{-1}$ (137%) 18% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,15-1,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 3,91 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,791$ $EP_i = 139,69 \text{ (m)} - 158,88 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 206,87-106,44-152,74$ $EP_{\text{acs}} = 40,67 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$	 14-via Cossa	$S_{\text{utile}} = 4129 \text{ m}^2$ $S/V = 0,39 \text{ m}^{-1}$ (140%) 0,39% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 0,70-0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 2,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,898$ $EP_i = 115,04 \text{ (m)} - 93,76 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 169,58-91,68-144,37$ $EP_{\text{acs}} = 24,78 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$
 6-corso Duca degli Abruzzi	$S_{\text{utile}} = 4671 \text{ m}^2$ $S/V = 0,38 \text{ m}^{-1}$ (160%) 16% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,10-2,19 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 4,55 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,791$ $EP_i = 164,84 \text{ (m)} - 163,14 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 261,91-129,02-248,01$ $EP_{\text{acs}} = 40,29 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$	 15-via Cossa	$S_{\text{utile}} = 3285 \text{ m}^2$ $S/V = 0,40 \text{ m}^{-1}$ (122%) 12% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 0,70-1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 2,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,898$ $EP_i = 95,84 \text{ (m)} - 87,38 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 122,80-80,52-135,44$ $EP_{\text{acs}} = 25,35 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$
 7-corso Re Umberto	$S_{\text{utile}} = 752 \text{ m}^2$ $S/V = 0,38 \text{ m}^{-1}$ (135%) 13% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,6-2,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,778$ $EP_i = 156,81 \text{ (m)} - 206,67 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 130,14-207,84-244,40$ $EP_{\text{acs}} = 57,88 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$	 16-via Cossa	$S_{\text{utile}} = 3450 \text{ m}^2$ $S/V = 0,27 \text{ m}^{-1}$ (114%) 12% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 0,70-1,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 2,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,899$ $EP_i = 80,85 \text{ (m)} - 93,96 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 145,13-90,56-154,37$ $EP_{\text{acs}} = 25,85 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$
 8-corso Duca degli Abruzzi	$S_{\text{utile}} = 1059 \text{ m}^2$ $S/V = 0,29 \text{ m}^{-1}$ (152%) 20% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,39-1,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 4,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,781$ $EP_i = 137,69 \text{ (m)} - 173,36 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 239,84-125,78-219,69$ $EP_{\text{acs}} = 53,21 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$	 17-corso Moncalieri	$S_{\text{utile}} = 80 \text{ m}^2$ $S/V = 1,06 \text{ m}^{-1}$ (128%) 6% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,10-2,19 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 4,07 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,766$ $EP_i = 217,90 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 217,90 \text{ kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{acs}} = 11,90 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$
 9-corso Francia	$S_{\text{utile}} = 2327 \text{ m}^2$ $S/V = 0,37 \text{ m}^{-1}$ (136%) 12% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 1,25-1,77 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 4,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,781$ $EP_i = 164,35 \text{ (m)} - 162,63 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 229,90-108,92-186,01$ $EP_{\text{acs}} = 58,23 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$	 17-corso Moncalieri	$S_{\text{utile}} = 80 \text{ m}^2$ $S/V = 1,06 \text{ m}^{-1}$ (128%) 6% di sup.trasp./S $U_{\text{pareti}} = 0,59 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_{\text{infissi}} = 1,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\eta_{\text{g,H}} = 0,819$ $EP_i = 102,12 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{(alloggi)}} = 102,12 \text{ kWh(m}^2\text{a)}$ $EP_{\text{acs}} = 11,90 \text{ (c) kWh(m}^2\text{a)}$

Tabella 4 – Sintesi delle caratteristiche degli edifici tipo (c = dati calcolati; m = dati misurati).

Circoscrizione: 1 zona Crocetta
 Classe ed epoca di costruzione: prima del 1918
 Tipologia edilizia: edificio in linea
 Spessore medio pareti: 50 cm
 Fid C.T.C 2006: 1250



Figura 4a - Scheda caratteristiche costruttive e impiantistiche dell'edificio sito in zona Crocetta (Torino)

V netto risc. (m ³)	S/V reale (m ³)	diff % S/Vreale e S/V	S. utile (m ²)	numero piani riscaldati
3232	0,38	135	752	5

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI		SOLAIO (superiore, verso ambiente non riscaldato)	SOLAIO (inferiore, su ambiente non riscaldato)	SERRAMENTO	
COPERTURA (attuale e in progetto)	PARETI (attuale e in progetto)		SOLAIO (attuale e in progetto)	SOLAIO (attuale e in progetto)	SERRAMENTO (attuale e in progetto)	
U (W/(m ² K))	U ₁ (W/(m ² K))	U ₂ (W/(m ² K))	U (W/(m ² K))	U (W/(m ² K))	U (W/(m ² K))	g _{gl,m} (-)
1,80	1,60	2,28	1,87	1,70	5,00	0,77
0,20	0,23		0,20	0,23	1,50	-

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO rendimento globale dell'edificio $\eta_{g,V} = 0,778$

GENERAZIONE	$\eta_{gen} = 1,00$	EMISSIONI	$\eta_e = 0,90$	DISTRIBUZIONE	$\eta_{d,r} = 0,913$	REGOLAZIONE	$\eta_r = 0,97$
Teleriscaldamento, con sottostazione installata nella centrale termica P _n = 125 kW		Su parete esterna non isolata (U > 0,8 W/m ² K), senza superficie riflettente.		montanti correnti nell'intercapedine. Periodo di costruzione: prima del 1976, isolamento tubazioni insufficiente.		climatica più zona con regolazione, p. banda pro. 1°C.	

CARATTERISTICHE ENERGETICHE INTERO EDIFICIO

superficie trasparente	EPacs KWh/m ² anno	EPgl KWh/m ² anno
13%	57,88	264,55
esposizione ottimale tetto	EPI risc. (Termolog) KWh/m ² anno	consumo reale risc. AES KWh/m ² anno
sud-est	206,67	156,81

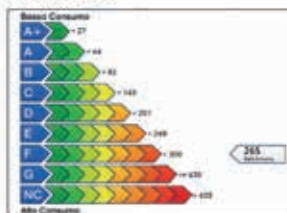


Figura 4b - Caratteristiche energetiche dell'edificio sito in zona Crocetta (Torino)

	S/V reale	consumo reale AES kWh/m ² anno	EPI kWh/m ² anno	
	0,540	174,03	244,40	
	S/V reale	consumo reale AES kWh/m ² anno	EPI kWh/m ² anno	
	0,250	133,41	130,14	
	S/V reale	consumo reale AES kWh/m ² anno	EPI kWh/m ² anno	
	0,510	169,83	207,84	

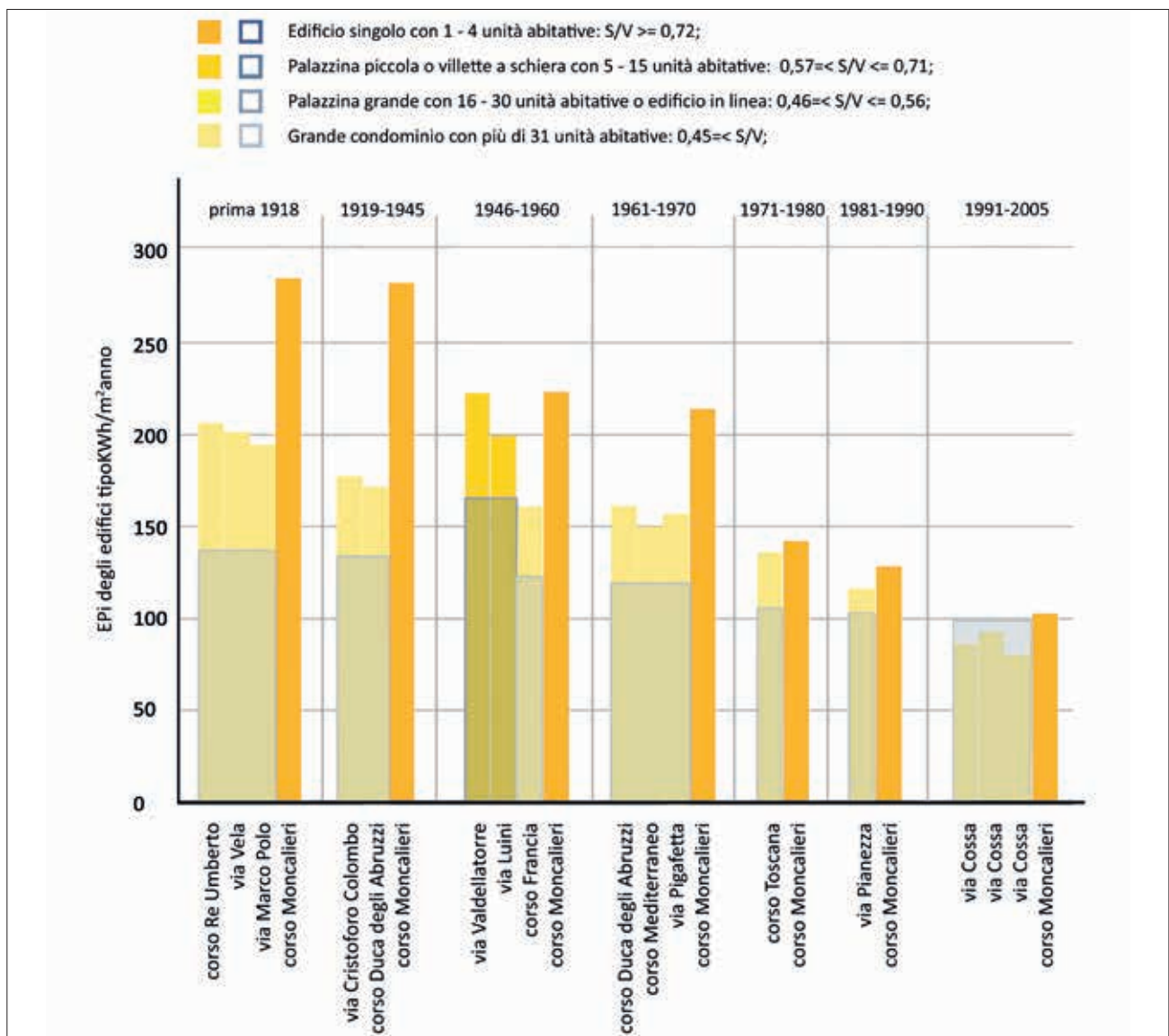


Figura 5 – I consumi reali (in grigio) ed i consumi calcolati con Termolog Epix 3 (in giallo)

Confronto tra i consumi reali e calcolati

Le principali differenze riscontrate confrontando i valori ottenuti dalle diagnosi energetiche ed i consumi reali, sono anche imputabili al diverso comportamento che può avere l'utenza. Possono influenzare significativamente i consumi (rispetto a quanto previsto considerando un'utenza standard) le seguenti variabili:

- il tasso di ventilazione,
- gli apporti interni di calore e,
- la modalità di gestione e regolazione dell'impianto.

In figura 5 sono stati rappresentati i consumi reali degli edifici tipo ed i consumi calcolati con la diagnosi energetica. Nella maggior parte dei casi, il consumo calcolato è superiore a quello registrato

dalle bollette con differenze che variano dal +22% al -12%. La classe di certificazione energetica si riferisce alle leggi della Regione Piemonte ⁽⁷⁾ e considera l'indicatore di prestazione energetica calcolato per la climatizzazione invernale considerando anche la prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria.

Le differenze riscontrate tra i consumi calcolati e quelli misurati sono in parte imputabili alle differenze di gestione dell'edificio da parte degli utenti. Ad esempio nell'edificio di via Valdellatorre si riscontra un consumo inferiore del 14% rispetto a quello calcolato. In questo caso l'edificio è di tipo bifamiliare e l'utenza tende a controllare in modo oculato l'utilizzo dell'impianto di riscaldamento, molto di più rispetto a quanto avviene in un grande condominio.

Sempre nella figura 5 si possono confrontare edifici tenendo conto della tipologia edilizia (attraverso le classi di rapporto di forma) e dell'anno di costruzione. Si nota una diminuzione dei consumi di energia dopo gli anni '70 e gli anni '90 (dall'entrata in vigore della L. 373/1976 e della L. 10/1991). Per gli edifici costruiti prima degli anni '60 con 170 kWh/(m²a), si scende a valori prossimi ai 100 kWh/(m²a) per gli edifici costruiti dopo il 1990 con una riduzione dei consumi del 40-54%. Questo divario risulta ancora più marcato se osserviamo il trend degli edifici singoli: in questo caso si passa dai 280 ai 100 kWh/(m²a) per il periodo 1971-1980.

Gli interventi di riqualificazione energetica

Il patrimonio edilizio che caratterizza le città italiane è in larga parte composto da edifici costruiti prima degli anni '70, in un periodo in cui non vi erano ancora le leggi sul contenimento del consumo energetico; infatti la prima legge italiana, la Legge 373/1976, è nata solo in seguito alla prima crisi energetica internazionale causata dalla guerra del Kippur nel 1973.

L'assenza di normativa specifica ha permesso la costruzione di edifici con caratteristiche inadeguate agli standard attuali che spesso quindi non garantiscono le condizioni di benessere e salubrità per gli occupanti.

In questo lavoro, la scelta sui possibili interventi di riqualificazione energetica è stata influenzata anche dalla tipologia del parco edilizio esistente. Trovandoci di fronte ad un contesto molto vario, con caratteristiche architettoniche e tecnologiche assai diverse, si è deciso di escludere gli edifici storici da possibili interventi sulle facciate. La realizzazione di un cappotto ⁽⁸⁾ sarebbe molto efficace sotto l'aspetto energetico, ciò nonostante, considerando anche la localizzazione della maggior parte di questi edifici nel centro storico con vincoli architettonici, si è preferito escludere tale intervento. Infine si è deciso di non intervenire sull'impianto di riscaldamento in quanto si parte già da edifici serviti dal teleriscaldamento.

Si sono quindi scelti i seguenti interventi (tabella 5), distinti in due macrogruppi:

- per le prime tre epoche di costruzione (fino al 1918, 1919-1945, 1946-1960) si è proposto l'isolamento termico dei solai verso gli ambienti interrati non riscaldati, la coibentazione del sottotetto e la sostituzione degli infissi;
- per le epoche che spaziano dal 1961 al 2005, si è proposta la realizzazione di un cappotto, l'isolamento termico dei solai verso gli ambienti interrati, la coibentazione del sottotetto e la sostituzione degli infissi.

Nell'individuare la possibile riduzione di energia per la climatizzazione invernale è stata anche inserita una villetta monofamiliare "corso Moncalieri" con S/V pari a 1,06 m⁻¹; ciò si è reso necessario per considerare anche il risparmio energetico attribuibile alla presenza (seppure scarsa) di questa tipologia edilizia nel tessuto costruito della città di Torino e per poter estendere queste valutazioni ad altre realtà urbane.

Dai dati di consumo emerge una diminuzione media del 35% per le prime tre epoche di costruzione; tra questi, l'intervento maggiormente efficace risulta essere la sostituzione dei serramenti, con una flessione del consumo pari al 17%. La sostituzione dei serramenti, tra gli interventi proposti risulta però il più dispendioso, con ritorni economici variabili tra i 15 e i 25 anni (senza incentivi).

La coibentazione del sottotetto e dei solai disperdenti porta ad un risparmio compreso tra il 6% e il 48% (nel caso della villetta), con un risparmio medio del 13% e con costi di realizzazione più bassi e tempi di ritorno inferiori ai 10 anni.

Per gli edifici costruiti dal 1961 al 2005, otteniamo una diminuzione media dei consumi energetici per la climatizzazione invernale pari al 60%. In questo caso prevale il risparmio ottenuto dal cappotto termico: considerando solo questo tipo di intervento otteniamo una riduzione dei consumi pari al 32%. Attraverso la sostituzione dei serramenti si ha una diminuzione dei consumi pari al

19%, mentre con la coibentazione del sottotetto e dei solai disperdenti si riscontra una riduzione del 6-7%.

Facendo riferimento alla riduzione del consumo energetico a seguito della riqualificazione globale degli edifici tipo, la sostituzione dei serramenti consente un risparmio medio del 28%, la coibentazione del sottotetto del 13%, i solai disperdenti del 10% ed il cappotto del 49%.

In tabella 5 sono indicati nel dettaglio tutti i dati relativi ad ogni singolo intervento ed alla riqualificazione globale di tutti gli edifici considerati.

Indirizzo	Epoca	Edificio esistente			Sostituzione infissi		Isol. solaio tetto		Isol. solaio inferiore		Isol. Pareti verticali		Riqualificazione globale			
		EPI	EPacs	EPgl	post	diff%	post	diff%	post	diff%	post	diff%	EPI	EPacs	EPgl	diff%
via Vela	< 1919	201	49	250	158	22%	174	14%	177	12%	-	-	112	49	161	44%
corso Re Umberto		207	58	265	177	14%	180	13%	190	8%	-	-	134	58	192	35%
corso Moncalieri		287	22	298	247	14%	155	46%	267	7%	-	-	142	22	164	49%
corso Duca degli Abruzzi	1919-1945	173	53	227	140	19%	148	15%	158	9%	-	-	100	53	153	42%
via Cristoforo Colombo		180	51	231	150	17%	155	14%	165	8%	-	-	111	51	162	38%
corso Moncalieri		284	22	296	244	14%	148	48%	265	7%	-	-	135	22	157	47%
via Luini	1946-1960	201	63	263	171	15%	189	6%	194	3%	-	-	152	63	215	24%
corso Francia		163	58	221	145	11%	148	9%	156	4%	-	-	125	58	183	23%
corso Moncalieri		222	22	233	183	18%	140	37%	209	6%	-	-	130	22	152	42%
via Pigafetta	1961-1970	159	41	199	136	15%	142	10%	151	5%	109	32%	62	41	103	61%
corso Mediterraneo		152	44	195	127	16%	136	10%	145	4%	109	28%	62	44	106	59%
corso Duca degli Abruzzi		163	40	203	115	30%	151	8%	154	5%	124	24%	55	40	95	66%
corso Moncalieri		218	22	230	179	18%	136	38%	204	6%	153	30%	49	22	71	77%
corso Toscana	1971-1980	142	27	168	105	26%	133	6%	127	10%	114	20%	55	27	81	61%
corso Moncalieri		140	22	152	106	24%	110	21%	127	10%	96	31%	39	22	61	65%
strada Pianezza	1981-1990	118	24	142	100	15%	112	5%	110	7%	77	34%	46	24	70	61%
corso Moncalieri		127	22	139	94	26%	98	23%	116	9%	94	26%	37	22	59	70%
via Cossa	1991-2005	81	26	107	72	11%	77	5%	77	5%	58	28%	43	26	69	46%
via Cossa		94	25	119	89	5%	90	4%	91	3%	46	51%	35	25	60	63%
via Cossa		87	25	113	84	4%	81	7%	83	6%	58	34%	44	25	69	50%
corso Moncalieri		102	22	114	73	28%	79	23%	95	7%	78	24%	30	22	52	70%

Tabella 5 – Consumi energetici considerando diversi interventi di riqualificazione energetica.

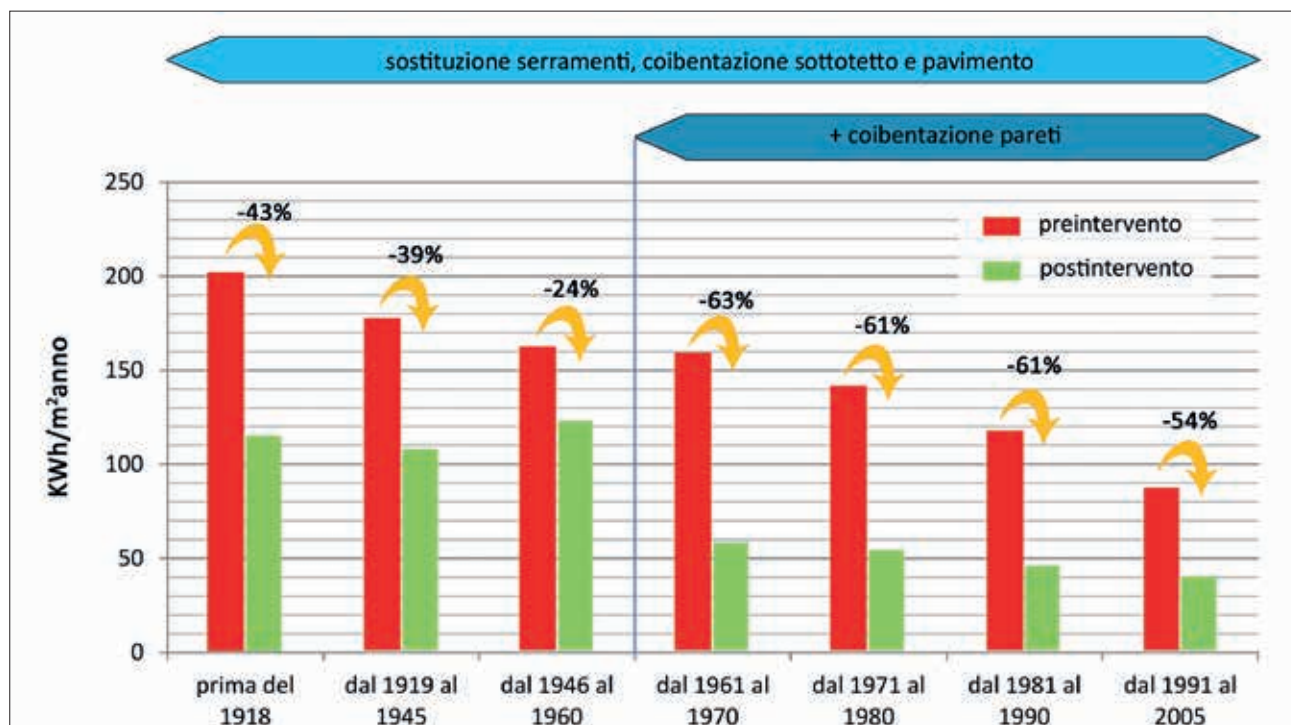


Figura 6 – Riduzione dei consumi in kWh applicato agli edifici tipo analizzati

Applicazione del modello di consumo alla Città di Torino

Il modello di calcolo per la valutazione del consumo energetico per la climatizzazione invernale del parco edilizio residenziale del Comune di Torino (rappresentato in figura 2) è stato quindi applicato con il sistema informativo geografico libero QGIS a tutti gli edifici della città. Per semplicità tale modello è stato applicato anche nella zona della città non teleriscaldata.

Il calcolo del risparmio medio per ciascuna epoca di costruzione rappresentato considera la media pesata del consumo rispetto alla superficie utile di ogni edificio (figura 6).

La percentuale di risparmio individuata è stata applicata ad ogni edificio in funzione della sua epoca di costruzione (vedi figura 7) andando a determinare il consumo globale degli edifici pre e post intervento di riqualificazione. Il dato di consumo globale di energia per il settore residenziale è stato anche con-

frontato con i dati registrati nel 2005 dalla Provincia di Torino [AA.VV., 2010].

Tali dati sono utili per individuare gli edifici che conviene riqualificare da un punto di vista energetico. Come si può evincere dalla figura 7, gli edifici degli anni '60 sono tra quelli che sicuramente possono dare migliori risultati in termini di risparmio energetico.

Conclusioni

Dalle valutazioni effettuate si può ipotizzare che riqualificando da un punto di vista energetico gli edifici residenziali con gli interventi descritti, si potrebbe ottenere una riduzione di consumo per il riscaldamento di circa il 47%. Ipotizzando un consumo globale di energia per il riscaldamento pari a 430 M€/a ([AA.VV., 2010] tolta l'energia per la produzione di acqua calda sanitaria e gli usi cucina) il risparmio è di circa 200 M€/a, pari in media a 223 €/a per abitante.

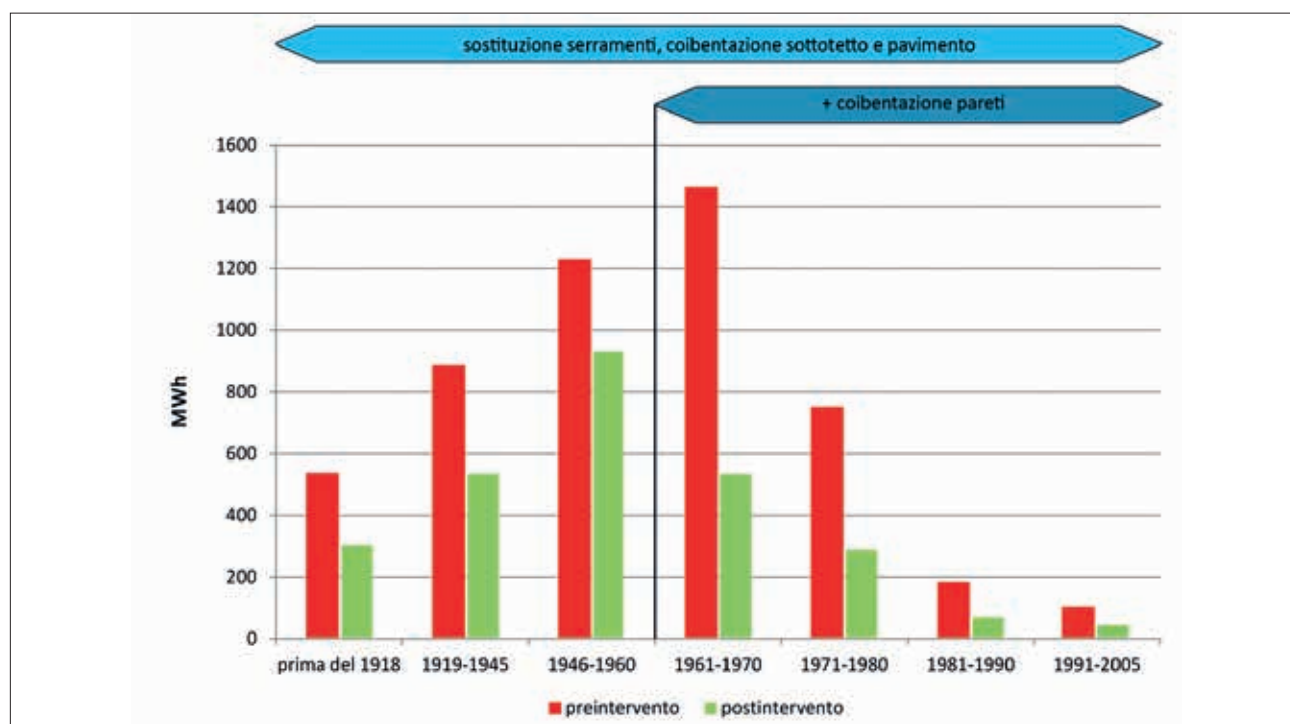


Figura 7 – Riduzione complessiva dei consumi sul parco edilizio del Comune di Torino

Il grafico (figura 7) evidenzia come la grande maggioranza dei metri quadrati del parco edilizio torinese sia stato costruito nel periodo dal 1946 al 1970. Oltre il 51% dei MWh consumati annualmente serve a riscaldare gli edifici residenziali costruiti in queste due epoche.

Queste valutazioni sono state effettuate con il sistema informativo geografico QGIS e che possono essere lette su scala urbana, ma anche su scala di edificio [Mutani, Vicentini, ott. 2013]. Quindi possono servire alle amministrazioni per una pianificazione del risparmio energetico a scala urbana, provinciale o regionale, ma anche ai cittadini per fare delle verifiche sulla propria abitazione e valutare quali possano essere le opportunità di risparmio energetico.

Inoltre tale strumento consente anche di sovrapporre più informazioni come ad esempio la disponibilità delle fonti rinnovabili. Uno dei risultati del progetto di ricerca "Cities on Power" è stato anche quello di realizzare il portale solare per l'area metropolitana torinese ⁽⁹⁾ in cui è possibile valutare la fattibilità

tecnico-economica della fonte solare di energia. In questo modo, noto il fabbisogno termico, è possibile valutare la quota di energia che potrebbe essere coperta dalla fonte solare.

Naturalmente tutti gli interventi di riqualificazione del patrimonio edilizio necessitano di un investimento e quindi andrebbero fatte delle valutazioni anche sulla disponibilità economica che i cittadini ed un determinato territorio sono in grado di sostenere. Alcune valutazioni sono state effettuate ed è stato dimostrato che gli obiettivi europei del Pacchetto Energia ⁽¹⁰⁾ che l'Italia ha sottoscritto, sono raggiungibili anche a breve termine [Mutani, Vicentini, dic. 2013]. Inoltre la convenienza ad effettuare lavori di riqualificazione energetica dovrebbe essere valutata tenendo conto anche dell'incremento di valore di mercato dell'immobile (che dipende anche dalla zona della città in cui è ubicato l'edificio) ma che in futuro verrà sicuramente considerato dato che il costo dell'energia è destinato ad aumentare [Mutani, Zanforlin, 2010].

Infine i risultati di questo lavoro potrebbero servire ad informare sia i cittadini sulle potenzialità di risparmio energetico che hanno gli edifici, sia le amministrazioni in modo da individuare nuove forme incentivanti più efficaci calate sul reale parco edilizio di ogni Comune, Provincia o Regione.

Bibliografia

- CORRADO V., BALLARINI I., CORGNATI S.P., TALÀ N., *Building Typology Brochure – Italy. Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana*, Torino, 2010.
- FRACASTORO G.V., SERRAINO M., *Proposta di una metodologia per definire le prestazioni energetiche di grandi parchi edilizi, basata sulla distribuzione statistica dell'area di pavimento degli edifici in funzione del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento. In E-SDOB per una migliore conoscenza dei grandi parchi edilizi*. AICARR Journal. pp. 12-16, 2010.
- FRACASTORO G.V., SERRAINO M., *A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications*. In *Energy and Buildings* vol. 43. pp. 844-852, 2011.
- FRACASTORO G.V., RAIMONDO L., *Progetto di ricerca finanziato con contributo della Fondazione CRT "Caratterizzazione energetica del patrimonio edilizio presente sul territorio piemontese e valutazione degli interventi di riqualificazione. Relazione finale*, Torino, 2008.
- IReR Istituto Regionale di Ricerca della Lombardia. (2004). *Produzioni e uso razionale e sostenibile dell'energia. PARTE II Efficienza energetica in Lombardia: scenario e strumenti di intervento*. In programma delle ricerche strategiche 2004/2005. Rapporto finale. (Milano).
- ISTAT. (2001). *Censimento della popolazione*. A cura di Istituto Nazionale di Statistica.
- MAGRINI A., PERNETTI R., MAGNANI L., *Consumi energetici del parco edilizio esistente. Alcune considerazioni*. In *La Termotecnica*, maggio 2011.
- MORANO P. (2008). *L'analisi di regressione per le valutazioni di ordine estimativo*. Celid. (Torino).
- MUTANI G., VICENTINI G., *Analisi del fabbisogno di energia termica degli edifici con software geografico libero. Il caso studio di Torino*. In *La Termotecnica*, luglio-agosto 2013.
- MUTANI G., VICENTINI G., *Gli open data per l'analisi del fabbisogno di energia primaria degli edifici residenziali e del potenziale risparmio energetico*. Smart City Exhibition. (Bologna). Ed. Forum Pa. pp. 15-37, 2013 (<http://saperi.forumpa.it/story/75007/la-smart-city-al-servizio-del-cittadino-la-call-papers-di-sce-2013#.Utk0EieQskE>).
- MUTANI G., VICENTINI G., *La fattibilità degli interventi di riqualificazione energetica per gli edifici residenziali. L'applicazione ed i risultati di un'analisi socio-economica nella Provincia di Torino*. In *Il Progetto Sostenibile*, dicembre 2013. Edicom Edizioni. pp. 80-87 (http://www.ilprogettosostenibile.it/custom/sez_magazine.php?browse_id=1996).
- MUTANI G., ZANFORLIN A., *Prestazioni energetiche degli edifici e valutazioni economiche*. In *La Termotecnica*, maggio 2010. pp. 61-64 (http://www.latermotecnica.net/pdf_riv/201005/20100515002_1.pdf).
- Regione Piemonte e Cresme, *Il sistema abitativo in Piemonte – 2006*. In *Rapporto informativo per l'Osservatorio Edilizia della Regione*, Roma, 2006.
- STEADMAN P., HAMILTON I., EVANS S., *Energy and urban built form: an empirical and statistical approach, research paper*. A cura di Building Research & Information, Taylor & Francis, pp. 1-15, 2013.

Note

- ⁽¹⁾ <http://www.aes.torino.it/aes-il-teleriscaldamento>.
- ⁽²⁾ Si ringraziano per la preziosa collaborazione: l'ing. Sonia Bertocci (Azienda Energia e Servizi Torino S.p.A.) e il dott. Marco Gorzegno (Iren Mercato S.p.a.).
- ⁽³⁾ <http://www.istat.it/it/archivio/104317>.
- ⁽⁴⁾ Dati climatici. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Aprile 1994.
- ⁽⁵⁾ http://www.logical.it/software_termolog.aspx.
- ⁽⁶⁾ Numero che identifica ogni edificio sulla Carta Tecnica Comunale che è rappresentato da un poligono.
- ⁽⁸⁾ L.r. 13/2007 e d.g.r. n. 43-11965/2008.
- ⁽⁹⁾ Isolamento termico delle pareti verticali dall'esterno.
- ⁽¹⁰⁾ http://www.provincia.torino.gov.it/speciali/2013/portale_solare/.
- ⁽¹¹⁾ <http://www.energiaenergetica.enea.it/politiche-e-strategie-1/politiche-e-strategie-in-europa-1/strumenti-di-indirizzo-il-pacchetto-20-20-20.aspx>.