UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA

SCUOLA DI DOTTORATO

DOTTORATO DI RICERCA IN

NUOVE TECNOLOGIE & INFORMAZIONE TERRITORIO AMBIENTE

CICLO XXIV

Tecniche di monitoraggio delle prestazioni energetiche nell'edilizia residenziale

Benedetti Chiara

RELATORE
Prof. Luigi Di Prinzio

COORDINATORE DEL CICLO
Prof. Luigi Di Prinzio

ANNI ACCADEMICI
2009-2010-2011

Un particolare ringraziamento va ai numerosi dipendenti e dirigenti del Comune di Trento, che mi hanno aiutata a reperire i dati utili all'elaborazione del lavoro. Si ringraziano soprattutto l'ingegner S. Simonini, l'architetto L. Codolo e la dottoressa S. Redolfi.
Si ringrazia il dottor R. Brunelli dell'Agenzia Provinciale per l'Energia della Provincia autonoma di Trento per l'aiuto dato in fase di revisione.
Un grazie va ovviamente al professor L. Di Prinzio, per aver coordinato lo sviluppo della tesi.

Infine, grazie a Michele ed alla mia famiglia, che supportano con entusiasmo ogni mia attività.

Chiara Benedetti

Laureata in architettura presso l'Università IUAV di Venezia nel 2007.

Dopo una breve esperienza lavorativa svolta in collaborazione con alcuni studi professionali, nel 2009 è divenuta dottoranda del corso in "Nuove Tecnologie & Informazione Territorio Ambiente", facente parte della Scuola di Dottorato dell'Università IUAV. Durante i tre anni di dottorato si è di giorno in giorno appassionata alle tematiche legate alla sostenibilità edilizia ed ai sistemi di monitoraggio delle prestazioni energetiche degli edifici.

Nella presente tesi, ha elaborato una metodologia d'indagine a supporto della definizione di quadri conoscitivi relativi alle caratteristiche energetiche degli edifici.

L'attività svolta per la realizzazione di questo lavoro le ha permesso di scoprire delle tematiche rivelatesi sempre più affascinanti, alle quali spera di continuare a dedicarsi nel corso della sua attività professionale.

SOMMARIO

Nel corso dell'ultimo decennio, il contesto nazionale ed europeo è stato teatro di un lungo ed intricato iter di produzione normativa dedicata al miglioramento degli standard energetici del settore edilizio. I lavori hanno preso per buona parte il via dall'impegno, formalizzato attraverso il Protocollo di Kyōto, di ottenere una riduzione dei livelli di concentrazione dei gas ad effetto serra nell'atmosfera, con lo scopo di frenare il fenomeno di surriscaldamento globale in atto.

Tra le misure previste per far fronte agli obblighi assunti con Kyōto, l'aumento dell'efficienza energetica degli edifici è stato individuato quale uno degli obiettivi di maggiore importanza. Una quota rilevante dei consumi energetici ad oggi sostenuti, caratterizzati da un uso massiccio di combustibili fossili e da un conseguente notevole impatto in termini di emissioni, è infatti riconducibile alla gestione degli edifici. Il potenziale di miglioramento dei livelli di efficienza energetica nel settore edile risulta essere tuttavia decisamente elevato.

L'orientamento delle norme attualmente in vigore prevede che il raggiungimento di alti standard di prestazione energetica debba essere garantito non solo in riferimento agli immobili di nuova costruzione, bensì anche a riguardo degli edifici esistenti, qualora soggetti ad interventi di recupero. Tale disposizione assume particolare valore per il territorio nazionale, caratterizzato dalla presenza di un corposo parco edilizio, tendenzialmente contraddistinto da bassi livelli di qualità ed efficienza, dove le possibilità di intervento risultano dunque essere particolarmente significative.

Le politiche sviluppate alla scala locale, coerentemente con gli obiettivi definiti a livello nazionale e sovranazionale, possono risultare decisive nel favorire l'esecuzione degli interventi di riqualificazione energetica. È implicito in tal senso che ai fini della programmazione di linee d'azione volte a migliorare i livelli di performance dei singoli edifici, non sia possibile prescindere dalla costituzione a monte di una conoscenza, adeguata e diffusa, delle condizioni caratterizzanti allo stato di fatto il patrimonio immobiliare sul quale si prevede di intervenire.

Nel contesto dei piani energetici redatti a scala locale, l'analisi della qualità energetica degli edifici esistenti e la verifica dei costi connessi alla loro gestione avvengono di norma considerando dati statistici, aggregati e riferiti all'intera area comunale o a porzioni di essa più o meno circoscritte. Ai fini di un esame più efficiente delle caratteristiche energetiche del sistema edilizio è evidente tuttavia l'importanza della costituzione di un quadro conoscitivo capace di restituire, per il singolo fabbricato, informazioni puntuali ad esso esclusivamente riferite. Un maggior livello di disaggregazione dei dati conoscitivi consente in altre parole di favorire una più salda connessione tra gli obiettivi di programmazione energetica e le strategie di pianificazione urbanistica, nell'ambito delle quali possono essere valutate azioni di intervento e di riqualificazione del patrimonio immobiliare. Essendo ad oggi poco probabile la possibilità di definire quadri conoscitivi specifici, estesi a numeri

significativi di edifici, attraverso le informazioni desumibili dagli attestati di certificazione energetica emessi, nel presente lavoro viene proposta una metodologia di analisi alternativa, a supporto principalmente delle amministrazioni locali per il monitoraggio delle prestazioni energetiche degli edifici siti sul territorio di propria competenza.

La tesi definisce un modello di indagine speditivo, facilmente trasferibile a qualsiasi realtà urbana, finalizzato alla valutazione, caratterizzazione e rappresentazione del consumo energetico degli edifici. Le tipologie edilizie alle quali l'analisi si rivolge sono in primo luogo quelle residenziali pur essendo comunque i fondamenti della tecnica adottata adattabili anche ad immobili con diversa destinazione.

La metodologia di indagine proposta evidenza la possibilità di utilizzare i dati relativi alla spesa sostenuta per il riscaldamento degli edifici, determinati dai consumi di metano distribuito in rete, al fine della definizione di un indice di prestazione rappresentativo della qualità energetica dell'edificio. Operativamente, si presuppone l'utilizzo di uno strumento GIS e di una base cartografica vettoriale a supporto dell'integrazione, elaborazione e visualizzazione delle banche dati adottate per lo svolgimento dell'indagine medesima. Noti i consumi sostenuti da ciascun edificio, le successive fasi di analisi prevedono la caratterizzazione degli indici definiti, attraverso l'integrazione di nuove banche dati relative a fattori ritenuti di probabile influenza sulla spesa energetica rilevata. Tra i possibili archivi di dati utili ai fini dell'indagine, numerosi risultano ad oggi già facenti parte del patrimonio informativo in possesso delle amministrazioni operanti sul territorio.

Scelta un'area di studio, nella fase di laboratorio la metodologia di indagine è stata testata esaminando l'andamento dei consumi energetici degli edifici siti nello specifico territorio e le relazioni esistenti con alcune delle variabili ritenute influenti sulla spesa sostenuta. Sono stati analizzati potenzialità e limiti in merito all'utilizzo delle banche dati resesi disponibili, verificando dunque l'effettiva possibilità di un utilizzo integrato di giacimenti informativi in possesso delle strutture locali, al fine del miglioramento della conoscenza delle caratteristiche energetiche degli edifici.

Si sono da ultimo individuati possibili scenari di intervento, definiti in relazione a quanto emerso dalle indagini, ed è stata verificata la trasferibilità del modello, analizzando la disponibilità e la qualità, ai fini dell'analisi, dei dati adottati.

ABSTRACT

Over the last decade, national and European context has been the scene of a long and intricate process of legislation production aimed at improving the energy standards in the construction industry. The work was formalized in the Kyoto Protocol and took off for the commitment to achieve a concentration reduction of the greenhouse gases.

The buildings energy efficiency's increase was identified as one of the most important objectives among the planned measures.

A major part of energy consumption incurred to date is characterized by a massive fossil fuels use and a considerable impact in terms of emissions, and is due to the building management. However the potential improvement of energy efficiency standards in the construction industry turns out to be very high.

The currently orientation of the rules in force provides that achieving high energy performance should be guaranteed not only in reference to newly constructed buildings, but also with regard to existing buildings, if they are subjected to restoration. This provision is particularly valid for the Italian country that is characterized by the presence of a substantial building stock with low levels of quality and efficiency and consequently high possibilities for action.

The policies developed at the local scale, consistent with the objectives set at national and supranational level, may be crucial in encouraging energy renovation implementation.

In this sense, for a good planning of action guideline promoted by local authorities and aimed to improve the performance levels of individual buildings, it is impossible to ignore the constitution of an adequate and widespread knowledge of the conditions characterizing the existing real estate on works are planned.

In fact in the context of energy plans drawn up at the local scale, the building-related consumption analysis is normally conducted considering statistical data, aggregated and reported to the entire municipal area or portions of it.

For the purposes of a more efficient use of buildings energy characteristics is evident the importance of a knowledge framework capable of returning timely information to the single building.

In other words a greater cognitive data disaggregation allows to promote a stronger connection between energy planning objectives and urban planning strategies that can evaluate intervention and rehabilitation actions on real estates.

As it's very unlikely to define specific cognitive frameworks through the information inferred from the energy performance certificates issued to date, the present work proposes a methodology for alternative analysis to support mainly local authorities to monitor the energy performance of buildings located on their territory. It's defined a methodology of quickly investigation, easily transferable to any urban reality that aims at evaluating and representing buildings energy consumption. The analysis is primarily aimed at residential buildings even if technique foundations is also adaptable to ones with different destination.

The proposed investigation method points to the possibility of using data on expenditure for heating of buildings to define a performance index representative of the building energetic quality. Operationally, It's assumed the use of a GIS tool and a vector based map to support adopted databases integration, processing and visualization. Note the consumption incurred by each building, the subsequent analysis stage includes the characterization of indices defined by the integration of new databases related to that factors considered likely influence on measured energy expenditure. Many data archives,

useful for the investigation, are now already part of the information assets held by the administrations.

The survey methodology is tested in a case study, analyzing the trend of energy consumption in buildings and evaluating the existing relationships with some of the variables that determinate the expenditure.

Potential and limits on the use of databases available for the specific area are analyzed, verifying the actual possibility of an integrated use of information fields in the possession of local structures in order to improve the knowledge about energy consumption in construction.

At the end possible intervention scenarios are identified, and the model transferability is verified by analyzing the data availability and quality needed for the analysis.

INDICE

0 **PRESENTAZIONE E STRUTTURA DELLA TESI 19**

PARTE 1 – SCENARIO E CONTESTO DI RIFERIMENTO

1 **AMBIENTE & ENERGIA 25**

1.1 Macro contesto di riferimento 26
1.1.1 La questione climatica 26
1.1.2 La questione energetica 31
1.2 20 20 20. La strategia integrata dell'Unione Europea 34
Bibliografia e Sitografia 36

2 **EDIFICIO, AMBIENTE & ENERGIA 39**

2.1 Gli usi civili: consumi energetici e risparmio potenziale 40
2.1.1 Il contesto nazionale: trend dei consumi energetici nel settore civile 42
2.1.2 Il contesto nazionale: dimensione e sviluppo del patrimonio edilizio esistente 46
2.2 Quadro normativo per la regolamentazione energetica in edilizia 50
2.2.1 Dalla 373 alla Legge 10. Primi tentativi di disciplina delle perfomance energetiche 50
2.2.2 L'Europa nell'era post Kyōto 55
2.2.3 La legislazione nazionale 59
2.3 La certificazione energetica quale analisi di dettaglio della prestazione dell'edificio 67
2.3.1 Concetto e calcolo del fabbisogno standard secondo le UNI/TS 11300 67
2.3.2 Limiti dello strumento di certificazione a supporto della costruzione di una conoscenza energetica diffusa 71
2.4 Nuove tecnologie e strumenti a supporto dell'informazione per l'edilizia 79
2.4.1 Tecniche di indagine non invasiva 79
2.4.2 Sistemi smart metering 86
Bibliografia e Sitografia 90

3 **PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE ENERGETICA A SCALA LOCALE 95**

3.1 Il nuovo ruolo degli enti locali 96
3.2 Il Piano Energetico Ambientale Comunale 100
3.2.1 Il contesto attuale 101
3.2.2 Articolazione e disaggregazione dei dati conoscitivi 102
Bibliografia e Sitografia 110

PARTE 2 - COSTRUZIONE DI UN LABORATORIO DI INDAGINE

4 **UNA METODOLOGIA DI INDAGINE DIFFUSA DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI 115**

4.1 Obiettivi e struttura dell'indagine 117
4.1.1 Motivazioni e metodologia 117
4.1.2 Principali fasi operative e semplificazioni adottate 120
4.1.3 Alcune esperienze di riferimento 126

4.2 Campo di applicabilità: contesto territoriale e patrimonio informativo di riferimento...132
4.2.1 Caratteristiche del contesto territoriale di riferimento 132
4.2.2 Caratteristiche del patrimonio informativo di riferimento 137

Bibliografia e Sitografia 148

5 **LABORATORIO PARTE 1. DEFINIZIONE DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA 151**

5.1 Descrizione dell'area di indagine 152

5.2 Realizzazione della mappatura energetica 154
5.2.1 Descrizione dei dati acquisiti 155
5.2.2 Integrazione dei dati 162
5.2.3 Analisi dei risultati 166

5.3 Utilizzi potenziali delle banche dati catastali 175
5.3.1 Descrizione dei dati acquisiti 176
5.3.2 Elaborazione degli archivi dei dati metrici 182
5.3.3 Trasposizione dei dati in GIS ed analisi dei risultati 185

5.4 Prime conclusioni 191

Bibliografia e Sitografia 192

6 **LABORATORIO PARTE 2. CARATTERIZZAZIONE DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA 193**

6.1 Integrazione età dell'edificio 194
6.1.1 Potenziali fonti di derivazione dei dati 195
6.1.2 Descrizione dei dati acquisiti 198
6.1.3 Elaborazione degli archivi 201
6.1.4 Trasposizione dei dati in GIS ed analisi dei risultati 206

6.2 Definizione del fattore di forma dell'edificio 224
6.2.1 Descrizione della metodologia adottata e definizione del fattore di forma 226
6.2.2 Analisi dei risultati 232

6.3 Integrazione del dato utente 237
6.3.1 Descrizione dei dati acquisiti 238
6.3.2 Elaborazione degli archivi 239
6.3.3 Trasposizione dei dati in GIS ed analisi dei risultati 240

6.4 Conclusioni e risultati dell'analisi....251
Bibliografia e Sitografia....253

PARTE 3 - RIFLESSIONI E SVILUPPI

***7* CONCLUSIONI....257**
7.1 Trasferibilità dell'indagine....258
7.2 Scenari di possibile intervento....260
Bibliografia e Sitografia....264

Glossario....265
Bibliografia e Sitografia (riepilogo)....269

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 Confronto tra le serie storiche di temperatura e della concentrazione di gas serra in atmosfera ... 27
Fig. 2 Evoluzione negli ultimi 2000 anni della concentrazione atmosferica dei principali gas serra: anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), protossido di azoto (N_2O) ... 28
Fig. 3 Confronto tra le variazioni di temperatura osservate e simulate ... 30
Fig. 4 Costo accumulato dall'Italia al 1 settembre 2001 per il ritardo nel raggiungimento degli obiettivi di Kyōto ... 31
Fig. 5 Incremento della domanda di energia primaria per fonte (1995-2008) ... 32
Fig. 6 Ripartizione dei consumi energetici per funzione d'uso nel settore residenziale (2007) .. 44
Fig. 7 Edifici abitativi per epoca di costruzione ... 47
Fig. 8 Evoluzione del prezzo del petrolio (1950-2006), in dollari correnti ed in dollari costanti al 2003 ... 50
Fig. 9 Legge 373/76, schema sintetico delle componenti considerate per definire la potenza termica dispersa dall'edificio ... 51
Fig. 10 Legge 10/91, schema sintetico delle componenti considerate per definire il bilancio energetico dell'edificio ... 54
Fig. 11 Sintesi dei principali atti legislativi nazionali ed europei in materia di efficienza energetica in edilizia ... 59
Fig. 12 Valori limite consentiti per il fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale (kWh/m² anno), applicabili dal primo gennaio 2010, validi per gli edifici residenziali ... 61
Fig. 13 Sistema di classificazione nazionale delle prestazioni energetiche per la climatizzazione invernale ... 64
Fig. 14 Sistema di classificazione nazionale delle prestazioni energetiche per la produzione di acqua calda sanitaria, valido per gli edifici residenziale ... 65
Fig. 15 Sistema di classificazione nazionale delle prestazioni energetiche globali, valido per gli edifici residenziali ... 65
Fig. 16 Rappresentazione schematica dei sottosistemi dell'impianto e del processo di definizione del fabbisogno di energia fornita all'impianto ... 70
Fig. 17 Quadro legislativo regionale e delle provincie autonome in tema di certificazione energetica ... 75
Fig. 18 Sistema di classificazione ad intervalli costanti (Provincia autonoma di Trento) ... 76
Fig. 19 Schematizzazione dello spettro elettromagnetico ... 80
Fig. 20 Termografia: ponti termici in evidenza ... 81
Fig. 21 Termografia aerea della città di Borunemouth - UK (dicembre 2008) ... 82
Fig. 22 Schematizzazione indagine termoflussimetrica ... 83
Fig. 23 Blower door ... 84
Fig. 24 Blower door in esecuzione e flussi d'aria fredda in entrata ... 85
Fig. 25 Contatori elettronici Enel ... 87
Fig. 26 Smart grid ... 88

Fig. 27 Andamento dei consumi energetici (ktep) e delle emissioni di CO_2 (ktep CO_2) nell'ambito dell'aggiornamento al Piano Energetico Ambientale della Provincia autonoma di Trento 97
Fig. 28 Piano Energetico Ambientale della Provincia di Bologna 98
Fig. 29 Metodologia operativa della struttura di piano tipo 104
Fig. 30 PEC Bologna: consumi di gas metano ad uso residenziale (tep), disaggregati e georiferiti per isola censuaria 107
Fig. 31 PEC Bologna: indicatori di consumo di gas metano ad uso residenziale per unità di superficie abitata (kWh/m² anno), georiferiti per singolo edificio 107
Fig. 32 Elementi chiave per la definizione di una nuova conoscenza diffusa sulle caratteristiche energetiche degli edifici 118
Fig. 33 Ripartizione percentuale per funzione d'uso del gas naturale utilizzato nel settore residenziale…..... 122
Fig. 34 Rapporto tra edifici, civici e POD 124
Fig. 35 Mappa degli edifici monitorati 127
Fig. 36 Mappa dei consumi termici rilevati 127
Fig. 37 Scheda di dettaglio edificio 128
Fig. 38 Stima dell'energia incidente sulle falde dei tetti 129
Fig. 39 Comuni coinvolti nei tre anni di bando 129
Fig. 40 Mappa dei consumi termici rilevati per gli edifici di Arcene (BG) 130
Fig. 41 Indici di consumo termico medio rilevati nei comuni della provincia di Bergamo 131
Fig. 42 Tessuto edilizio in un contesto di centro storico (Trento): visione da terra, ripresa aerea e restituzione cartografica 136
Fig. 43 Tessuto edilizio in un contesto di area pericentrale (Trento): visione da terra, ripresa aerea e restituzione cartografica 136
Fig. 44 Irraggiamento solare medio annuo dell'Italia 139
Fig. 45 Le zone climatiche urbane di Oke 141
Fig. 46 Trappola termica urbana 142
Fig. 47 Radiazione solare ed orientamento dell'edificio 144
Fig. 48 Determinazione semplificata della trasmittanza termica dei componenti opachi in edifici esistenti 145
Fig. 49 Il territorio di Gardolo all'interno del comune di Trento 152
Fig. 50 Principale nucleo a destinazione abitativa 153
Fig. 51 Rapporto edificio e civico 157
Fig. 52 Verifica dell'univocità dell'attributo chiave 159
Fig. 53 Anomalie cartografiche ai fini dell'indagine 160
Fig. 54 Relazione tra lo shapefile *grafo.shp* e le tabelle consumi 163
Fig. 55 Aggiornamento della tabella consumi con l'inserimento dell'attributo chiave 163
Fig. 56 Definizione dei consumi rilevati nei POD facenti capo ad ogni singolo civico 164
Fig. 57 Definizione della media dei consumi complessivamente rilevati in ogni singolo civico .. 164
Fig. 58 Georeferenziazione dei consumi, integrati nella tabella attributi dello shapefile dei numeri civici 165
Fig. 59 Integrazione dei dati di consumo e superficie (campo *kWh_sum*/ campo *sp_utile*) 166

Fig. 60 Classificazione in funzione del fabbisogno di energia primaria (kWh/m² anno) per il riscaldamento invernale 167
Fig. 61 Mappatura energetica 168
Fig. 62 Mappatura energetica 169
Fig. 63 Mappatura energetica 170
Fig. 64 Mappatura energetica 171
Fig. 65 Istogramma della distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato 172
Fig. 66 Nuovo istogramma della distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato 173
Fig. 67 Ripartizione edifici per classe di efficienza 173
Fig. 68 Difformità potenziali tra la superficie reale e la superficie stimata 176
Fig. 69 Ortofoto 2009 e sistema delle particelle catastali 177
Fig. 70 Particella edificiale 178
Fig. 71 Sovrapposizione dello shapefile degli edifici da cartografia comunale con lo shapefile catastale 179
Fig. 72 Struttura delle tabelle *.sch, .ide, .met* componenti l'archivio dei dati metrici acquisito 180
Fig. 73 Rapporto tra poligoni, unità immobiliari e particella edificiale 183
Fig. 74 Correlazione fra i tre archivi 183
Fig. 75 Superficie complessiva dei vani A, categoria A, di ciascuna particella edificiale 185
Fig. 76 Trasferimento degli attributi delle particelle edificiali alle geometrie degli edifici 186
Fig. 77 Cartografia catastale: poligoni distinti, caratterizzati dal medesimo numero di particella 187
Fig. 78 Superficie catastale (*poliA* = 2940 m²) contemporaneamente riferita ad una pluralità di poligoni 188
Fig. 79 Difformità tra il dato di superficie delle unità A00 e la superficie reale 189
Fig. 80 Linea temporale dei principali provvedimenti nazionali ed europei in materia di efficienza energetica 194
Fig. 81 Questionario edificio (Mod. Istat CP.ED.), 14° Censimento generale della popolazione e Censimento generale delle abitazioni 196
Fig. 82 Questionario edificio (Mod. Istat EDI.1), 15° Censimento generale della popolazione e Censimento generale delle abitazioni 197
Fig. 83 Epoca di costruzione degli edifici per sezione censuaria 198
Fig. 84 Evoluzione dell'area attualmente pertinente alla p.ed. 1677 205
Fig. 85 Istogramma della distribuzione degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (ante 1993) 207
Fig. 86 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali) 208
Fig. 87 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali) 208
Fig. 88 Nucleo storico per il quale non si rilevano concessioni edilizie 209
Fig. 89 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato (fino 1992) 210
Fig. 90 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato: edifici realizzati fino al 1976 ed edifici realizzati tra il 1977 ed il 1992 211

Fig. 91 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione e del numero di interventi eseguiti 212
Fig. 92 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione e del numero di interventi eseguiti 212
Fig. 93 Istogramma della distribuzione degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (post 1992) 215
Fig. 94 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali) 216
Fig. 95 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali) 216
Fig. 96 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali) 217
Fig. 97 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato (post 1992) 217
Fig. 98 Distribuzione degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione 218
Fig. 99 Mappatura degli edifici per epoca di costruzione e indicazione della classe energetica 219
Fig. 100 Mappatura degli edifici per epoca di costruzione e indicazione della classe energetica 220
Fig. 101 Mappatura degli edifici per epoca di costruzione e indicazione della classe energetica 221
Fig. 102 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato 222
Fig. 103 Geometrie caratterizzate da un diverso grado di compattezza 224
Fig. 104 Confronto dei fattori di forma di due cubi di diversa dimensione 225
Fig. 105 Confronto dei fattori di forma per tipologie edilizie distinte 225
Fig. 106 Volume riscaldato e relativo involucro 226
Fig. 107 Volumi riscaldati contigui 227
Fig. 108 Volumi riscaldati contigui 228
Fig. 109 Linea di intersezione tra l'edificio A e l'edificio B 229
Fig. 110 Coppia di record associati alla linea di intersezione tra gli edifici 3450 e 3453 229
Fig. 111 Definizione della superficie di contatto 230
Fig. 112 Trasposizione in GIS dei valori di superficie laterale riscaldata 231
Fig. 113 Definizione in GIS del fattore di forma 232
Fig. 114 Distribuzione degli edifici in relazione al fattore di forma 232
Fig. 115 Mappatura degli edifici in relazione al fattore di forma e indicazione della classe energetica 233
Fig. 116 Mappatura degli edifici in relazione al fattore di forma e indicazione della classe energetica 234
Fig. 117 Mappatura degli edifici in relazione al fattore di forma e indicazione della classe energetica 235
Fig. 118 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato 236
Fig. 119 Integrazione dei dati sui residenti 240
Fig. 120 Mappatura degli edifici per numero di residenti e indicazione della classe energetica 241
Fig. 121 Mappatura degli edifici per numero di residenti e indicazione della classe energetica 242
Fig. 122 Mappatura degli edifici per numero di residenti e indicazione della classe energetica 243
Fig. 123 Distribuzione degli edifici sulla base del numero complessivo di abitanti 244

Fig. 124 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato (edifici con meno di 7 abitanti) 244
Fig. 125 Valori di consumo medi e mediani per le diverse classi di indagine (edifici con meno di 7 abitanti) 245
Fig. 126 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato (edifici con più di 7 abitanti) 247
Fig. 127 Indicatori di distribuzione dei valori di fattore di forma 248
Fig. 128 Distribuzione degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (edifici con più di 15 abitanti) 249
Fig. 129 Valori di consumo medi e mediani per le diverse classi di indagine (edifici con più di 15 abitanti) 249
Fig. 130 Grafico isometrico dei valori di consumo in relazione al fattore di forma e all'anno di costruzione dell'edificio 251
Fig. 131 Grafico isometrico dei valori di consumo in relazione al numero di residenti e all'anno di costruzione dell'edificio 252
Fig. 132 Grafico isometrico dei valori di consumo in relazione al numero di residenti ed al fattore di forma dell'edificio 252

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1 Stime del potenziale di risparmio energetico per i settori d'uso finale in Europa 41
Tab. 2 Bilancio sintetico degli impieghi finali di energia in Italia (in milioni di tep) 43
Tab. 3 Indagine Legautonomie: risposte dei comuni con PEC approvato 102
Tab. 4 PEC: livello di disaggregazione territoriale delle informazioni sui consumi energetici associati all'utilizzo degli edifici 109
Tab. 5 Peso delle periferie in Italia 133
Tab. 6 Potenziali variabili di influenza sui consumi rilevati 147
Tab. 7 Caratteristiche ed attributi dei principali shapefile acquisiti 156
Tab. 8 Attributi delle tabelle sui consumi acquisite 162
Tab. 9 Caratteristiche ed attributi dello shapefile delle particelle catastali acquisito 177
Tab. 10 Attributi dell'archivio delle concessioni edilizie 199
Tab. 11 Attributi dell'archivio delle dichiarazioni di abitabilità/agibilità 200
Tab. 12 Attributi del nuovo archivio, identificativo delle concessioni edilizie rilasciate per le nuove costruzioni 201
Tab. 13 Attributi dei nuovi archivi, identificativi delle concessioni edilizie rilasciate per interventi su edifici esistenti 203
Tab. 14 Attributi del nuovo archivio, identificativo delle dichiarazioni di agibilità/abitabilità rilasciate per le nuove costruzioni 204
Tab. 15 Edifici pre '77 con consumo minore al valore medio e relativi interventi eseguiti 214
Tab. 16 Tabella attributi dello shapefile *intersezioni.shp* 230
Tab. 17 Tabella superfici riscaldata 231
Tab. 18 Attributi della tabella sui residenti acquisita 239
Tab. 19 Accessibilità ed utilità delle risorse informative contemplate nell'indagine 259
Tab. 20 Linee di intervento per tipologie edilizie specifiche 263

0 PRESENTAZIONE E STRUTTURA DELLA TESI

La presente tesi nasce da una lettura, quasi casuale, di una direttiva europea, la 2002/91/CE, nel contesto della quale si evidenziano a chiare lettere il contributo determinato dai consumi energetici degli edifici all'innalzamento dei livelli di gas serra in atmosfera e la conseguente necessità di definire degli strumenti utili al monitoraggio delle prestazioni energetiche del settore edilizio. L'approfondimento delle tematiche energia/edificio ed il parallelo studio delle possibilità offerte dalle tecnologie informatiche per la gestione e l'integrazione delle informazioni geo-localizzate, hanno condotto alla realizzazione del lavoro riportato.

L'obiettivo di questa tesi è la definizione di un modello di conoscenza dello stock edilizio esistente, basato sull'utilizzo del patrimonio informativo già disponibile presso le amministrazioni locali operanti sul territorio, finalizzato alla realizzazione di un quadro conoscitivo utile a tarare in maniera più consapevole gli interventi e le azioni volti al miglioramento dell'efficienza energetica.

L'elaborato prodotto si articola in tre parti. Le prime due, le più corpose, riguardano l'analisi dello scenario e del contesto di riferimento e lo sviluppo della metodologia di indagine proposta. La terza, un'appendice alle sezioni precedenti, definisce invece le prime basi per la programmazione delle linee di intervento future.

Nella fattispecie, le tre sezioni sono costituite così come segue.

PARTE 1 - SCENARIO E CONTESTO DI RIFERIMENTO

capitolo 1, Ambiente & Energia

Nel capitolo si individuano le motivazioni che hanno portato alla sottoscrizione del Protocollo di Kyōto, gli obblighi che da esso derivano e la componente determinata dagli usi energetici nel processo di immissione dei gas climalteranti nell'atmosfera. Si riportano inoltre le strategie messe in atto dalla politica climatica ed energetica europea.

capitolo 2, Edificio, Ambiente & Energia

Al settore civile è riconducibile una larga parte dei consumi energetici ad oggi complessivamente sostenuti. Nel capitolo si descrive il percorso compiuto dalla legislazione nazionale ed europea in materia di efficienza energetica degli edifici e si individuano gli orientamenti e gli obblighi previsti dalle norme attualmente in vigore. Sono descritti i sistemi ed i metodi di verifica della qualità delle strutture edilizie, tra i quali rientra in primo luogo lo strumento della certificazione energetica.

capitolo 3, Pianificazione e programmazione energetica a scala locale

Gli enti locali possono giocare un ruolo fondamentale nel promuovere la riqualificazione energetica degli edifici contraddistinti da una maggiore criticità. A scala urbana, l'analisi delle caratteristiche energetiche del comparto edilizio, prodotta nel contesto di piani redatti al fine di garantire nel medio e lungo periodo la sicurezza degli approvvigionamenti energetici e la contestuale riduzione dei livelli di CO_2, avviene di norma considerando informazioni aggregate per aree territoriali più o mento vaste. Generalmente, nel contesto dei piani energetici redatti dagli enti locali, non sono quindi definite informazioni riconducibili al singolo e specifico edificio.

PARTE 2 - COSTRUZIONE DI UN LABORATORIO DI INDAGINE

capitolo 4, Una metodologia di indagine diffusa delle prestazioni energetiche degli edifici

Al fine di definire e programmare gli interventi propedeutici ad un miglioramento degli standard energetici del settore edilizio, è indispensabile strutturare a monte un quadro conoscitivo relativo alle condizioni in cui versa allo stato di fatto il patrimonio immobiliare esistente. Nel capitolo si individua pertanto una tecnica di indagine delle prestazioni energetiche delle singole strutture edilizie, basata sull'utilizzo delle banche dati relative alla spesa termica sostenuta per il riscaldamento delle stesse e sulla successiva integrazione di ulteriori archivi informativi, utili ad una caratterizzazione dei consumi rilevati.

capitolo 5, Laboratorio parte 1. Definizione degli indici di prestazione energetica

La metodologia descritta è stata verificata su di un'area studio per la quale è stato possibile acquisire un set di dati utile allo svolgimento dell'indagine. Nel capitolo è riportata la prima parte del laboratorio, dedicata alla definizione degli indicatori sintetici espressione della qualità energetica degli edifici.

capitolo 6, Laboratorio parte 2. Caratterizzazione degli indici di prestazione energetica

In questa fase del laboratorio, gli indici precedentemente calcolati sono integrati da banche dati relative ad alcuni fattori di potenziale influenza della spesa energetica sostenuta (età dell'edificio, caratteristiche geometriche, occupanti). La combinazione delle informazioni disponibili consente di individuare le situazioni più critiche, per le quali i consumi risultano essere più elevati, nei confronti delle quali è auspicabile dirigere delle analisi più approfondite e programmare degli eventuali interventi correttivi.

PARTE 3 - RIFLESSIONI E SVILUPPI

capitolo 7, Conclusioni

Nel capitolo viene verificata la replicabilità dell'indagine, misurata in termini di disponibilità e di utilità delle risorse informative adottate. Si individuano infine alcuni possibili scenari di intervento, da ritenersi più o meno appropriati in riferimento a tipologie edilizie specifiche, delineate sulla base delle analisi sviluppate.

PARTE 1 - SCENARIO E CONTESTO DI RIFERIMENTO

1 AMBIENTE & ENERGIA

Le problematiche inerenti la sicurezza degli approvvigionamenti energetici e la necessità di mitigare i processi di cambiamento climatico in atto assumono una posizione di rilievo nel complesso delle sfide eminenti che la società contemporanea si trova ad affrontare. In tale contesto, come meglio analizzato nei prossimi capitoli, l'edilizia viene chiamata in causa in quanto settore ad elevato impatto ambientale, cui sono imputabili gran parte dei consumi energetici sostenuti, pari, nel territorio europeo, a più del 40% del totale di quelli annualmente rilevati.

1.1 Macro contesto di riferimento

1.1.1 La questione climatica

Gli ultimi due decenni hanno potuto vedere il consolidarsi nelle cronache quotidiane di una grande attenzione rivolta alle questioni connesse al fenomeno del *global warming*, o surriscaldamento globale, tematiche che hanno coinvolto in maniera diffusa non solo l'attenzione degli addetti ai lavori e dei governi delle diverse nazioni del mondo, bensì anche quella generale del pubblico non specializzato.

La comunità scientifica aveva sollevato il problema del riscaldamento climatico già prima del 1900 (Kandel, 2004). Alla fine del diciannovesimo secolo, il chimico svedese Svante Arrhenius osservava infatti come la combustione di carburanti fossili (carbone, gas naturale, petrolio) dovesse necessariamente aumentare la quantità di anidride carbonica (biossido di carbonio CO_2) nell'atmosfera, formulando l'ipotesi che ciò avrebbe rinforzato l'effetto serra portando ad un riscaldamento della superficie terrestre. Svante Arrhenius vinse il Premio Nobel nel 1903 ma la sua previsione rimase fondamentalmente ignorata per i cinquant'anni successivi.

Sul piano diplomatico, si è cominciato a fare il punto sulla situazione climatica del nostro pianeta e sulla sua evoluzione globale in occasione dei lavori svolti durante la prima *Conferenza mondiale delle Nazioni Unite sul Clima* (Ginevra, 1979), a seguito della quale si sono avviate numerose forme di collaborazione scientifica internazionale in merito a temi prioritari per la ricerca, il monitoraggio e le osservazioni climatiche.

È ormai generale il consenso sull'evidenza dei cambiamenti climatici e sulle relative cause. Il sistema climatico è alimentato dall'energia proveniente dal sole, la quale interagisce con la superficie terrestre e con l'atmosfera in modo che il sistema terra-sole permanga in uno stato di equilibrio. Tale equilibrio può essere alterato da cambiamenti diretti dell'energia in arrivo dal sole o da alterazioni dei processi radiativi che ridistribuiscono l'energia solare tra terra ed atmosfera. Nella fattispecie, i rapporti elaborati dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)[1] rilevano che, a parità di radiazione solare incidente, l'aumento della concentrazione dei gas serra e degli aerosol in atmosfera e l'alterazione delle caratteristiche del suolo terrestre causata dalle attività umane, stanno modificando il bilancio energetico del sistema climatico. In altre parole, le attuali tesi scientifiche evidenziano una correlazione tra la mutata composizione dell'atmosfera e l'aumento delle temperature osservato: la composizione atmosferica influenza infatti

[1] L'IPCC fu costituito nel 1988 dalla WMO *(World Metereological Organization)* e dall'UNEP (*United Nations Environment Programme*) quale organismo scientifico consultivo con il mandato di valutare le informazioni scientifiche disponibili sui cambiamenti climatici, esaminare gli impatti sociali ed economici delle modificazioni del clima e proporre strategie per prevenire e controllare i cambiamenti climatici.

l'equilibrio energetico tra l'energia solare che viene assorbita dalla terra e quella che viene rinviata o riceduta al cosmo.

È errato pensare che durante il corso del tempo le componenti del sistema climatico siano rimaste sempre invariate: le analisi condotte indicano infatti che la concentrazione dei diversi gas in atmosfera, così come il clima globale, si è evoluta nelle diverse ere storiche che si sono succedute (Fig. 1).

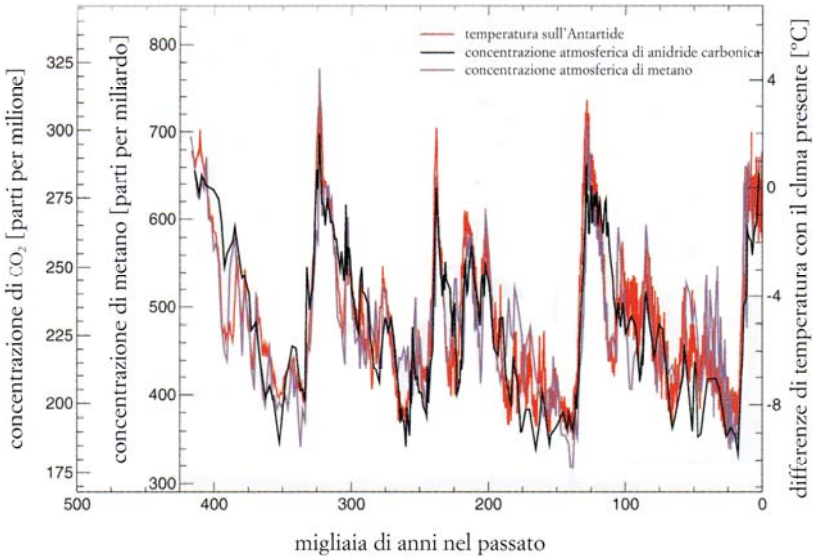


Fig. 1 Confronto tra le serie storiche di temperatura e della concentrazione in atmosfera di anidride carbonica e metano
Fonte Pasini A. (2003), *"I cambiamenti climatici",* edizioni Mondadori

Sebbene, come premesso, il sistema climatico si sia trasformato ed evoluto nel tempo, le alterazioni che si sono verificate a seguito della rivoluzione industriale (Fig. 2), dovute in larga parte a cause di natura antropogenica, sono state caratterizzate da un'intensità e da una rapidità di progressione del fenomeno di surriscaldamento che non ha precedenti (Kandel, 2004). Le concentrazioni globali in atmosfera di anidride carbonica, metano e protossido di azoto (tra i gas serra principali) sono infatti considerevolmente aumentate quale risultato dell'attività umana dal 1750 in poi. Per quasi un milione di anni, le quantità nell'aria di anidride carbonica sono rimaste comprese tra i 170 ed i 300 ppm[2] mentre, nel corso di soli tre secoli, la concentrazione di CO_2 è cresciuta da un valore pre-industriale di circa 280 ppm ad un valore, nel 2005, di quasi 380 ppm. Nel periodo 1960-2005 è stato registrato un aumento medio di 1.4 ppm l'anno[3], derivante fondamentalmente dall'uso dei

[2] ppm (parti per milione) e ppb (parti per miliardo) rappresentano il rapporto tra il numero di molecole di gas serra ed il numero totale di molecole di aria secca.

[3] Il tasso di aumento è stato crescente negli anni: tra il 1995 ed il 2005 si sono rilevati aumenti annui della concentrazione di CO_2 pari ad 1.9 ppm.

combustibili fossili e, in maniera minore, dai cambiamenti di uso del suolo. La crescita della concentrazione di metano (da circa 715 ppb nell'era pre-industriale a 1774 ppb nel 2005) è anch'essa dovuta ad attività antropiche; per larga parte infatti le emissioni sono connesse ai processi agricoli, all'intensificazione degli allevamenti ed allo sfruttamento dei carburanti fossili, il quale favorisce, fra le altre cose, un aumento della fuoriuscita del gas naturale presente nei giacimenti di carbone e nei pozzi petroliferi. Analogamente, più di un terzo delle emissioni di protossido di azoto (concentrazione in atmosfera da 270 a 319 ppm dal periodo pre-industriale al 2005), sono fatte risalire a cause antropogeniche e sono dovute principalmente all'agricoltura[4].

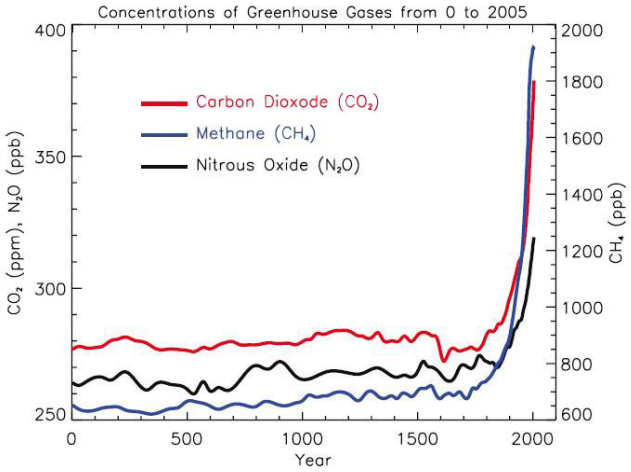


Fig. 2 Evoluzione negli ultimi 2000 anni della concentrazione atmosferica dei principali gas serra: anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), protossido di azoto (N_2O)
Fonte http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf

Il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, così come si evince dalle osservazioni in merito all'aumento delle temperature medie globali dell'aria e degli oceani, allo scioglimento diffuso di neve e ghiaccio ed all'innalzamento del livello del mare medio globale (IPCC, 2007). Nel corso del XX secolo si è registrato un aumento della temperatura media terrestre di 0.74 °C, manifestatosi in maniera più intensa in alcune aree geografiche piuttosto che in altre. È stata contemporaneamente evidenziata un'entità degli incrementi sempre crescente: il trend di riscaldamento degli ultimi cinquant'anni (0.13 °C per decade), è stato quasi il doppio di quello rilevato negli ultimi cento (0.74 °C per secolo).

L'aumento delle temperature ha comportato parallelamente un innalzamento del livello del mare medio globale, il quale è cresciuto ad un tasso di 1.8 mm l'anno durante il periodo 1961-2003 e ad un tasso di 3.1 mm durante il periodo 1993-2003. Il mutamento delle

[4] I dati riportati nel presente paragrafo fanno generalmente riferimento al quarto Rapporto IPCC (2007) "*Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (Contribution of Working Group I)*"
http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/italian/ar4-wg1-spm.pdf

temperature climatiche ha implicato inoltre tra i suoi effetti estese variazioni delle precipitazioni, della salinità degli oceani e delle strutture dei venti ed una maggiore frequenza del verificarsi di eventi estremi quali siccità, forti precipitazioni, cicloni tropicali ed ondate di calore ed intensità (IPCC, 2007).

Il quarto rapporto di valutazione pubblicato dall'IPCC conferma l'evidenza dell'effetto determinato dal fattore umano tra le cause del riscaldamento globale, ritenendo *estremamente probabile*[5] che i cambiamenti climatici globali rilevati durante gli ultimi cinquant'anni non possano essere spiegati senza la presenza di forzanti esterni. L'immagine di seguito riportata (Fig. 3) è relativa ad un confronto tra le variazioni di temperatura osservate su scala continentale e globale ed i valori di temperatura ottenuti nei risultati di simulazioni, effettuate con modelli climatici che contemplano forzanti naturali ed antropici. Nei grafici in figura, sono raffigurate nel centro del decennio (linea nera) le variazioni delle temperature medie decennali rilevate, rispetto alla temperatura media registrata nel periodo 1901-1950. Le bande ombreggiate in blu mostrano l'intervallo dei valori delle simulazioni realizzate per mezzo di modelli climatici che contemplano esclusivamente forzanti naturali, dovuti all'attività solare ed ai vulcani, mentre quelle ombreggiate in giallo mostrano i risultati di simulazioni definite attraverso modelli climatici che considerano sia i forzanti naturali che quelli antropogenici.

[5] Con il concetto di *estremamente probabile*, l'IPCC fa riferimento ad una probabilità superiore al 95%.

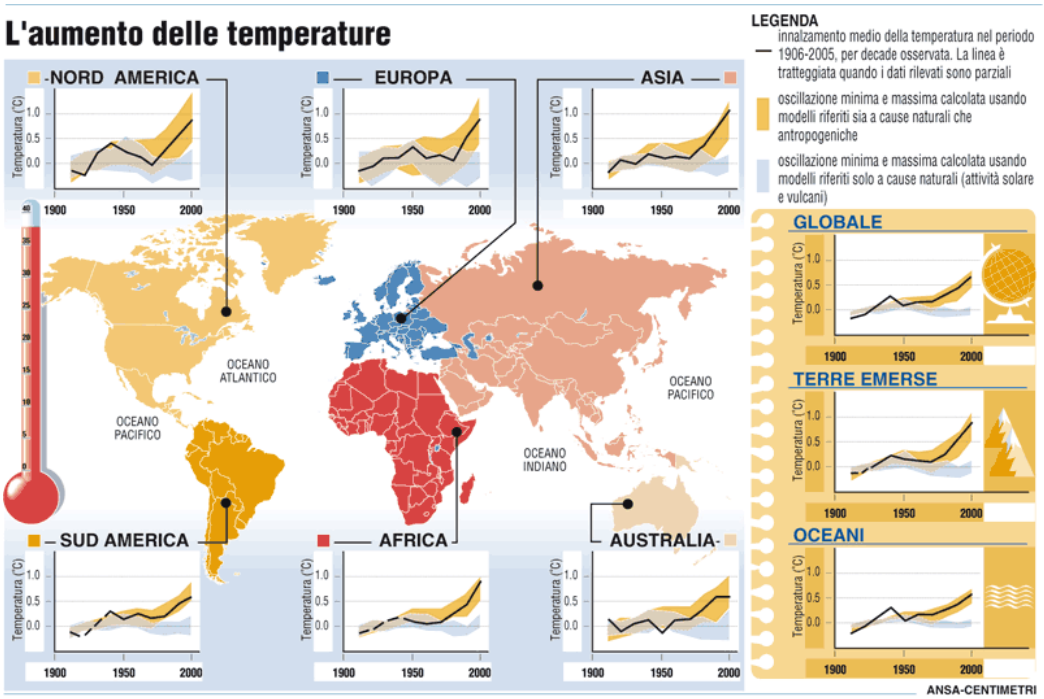


Fig. 3 Confronto tra variazioni della temperatura osservate e simulate
Fontehttp://www.ansa.it/web/notizie/postit/copenhagen/copenhagen_clima_infografica.html

Le proiezioni IPCC per i due decenni che seguiranno prevedono, nell'ambito di scenari che non includono iniziative alcune sul clima, un aumento di circa 0.2°C per decade. Gli esperimenti modellistici mostrano, inoltre, che anche se la concentrazione dei gas serra fosse mantenuta costante ai livelli del 2000, nei prossimi due decenni si verificherebbe comunque un ulteriore trend di aumento delle temperature di circa 0.1°C dovuto alla risposta degli oceani. Tutelare il clima in modo efficiente implica dunque in primo luogo stabilizzare e ridurre significativamente la concentrazione di gas serra presenti nell'atmosfera.

La progressiva presa di coscienza dei governi delle varie nazioni del mondo riguardo al fenomeno in corso, ha raggiunto un'importante tappa nel 1997 con la ratifica del Protocollo di Kyōto. I Paesi aderenti al Protocollo si sono infatti impegnati ad operare nel periodo 2008-2012 una riduzione non inferiore al 5% del livello di emissione degli elementi inquinanti fautori della crescita dell'effetto serra (in particolar modo del biossido di carbonio, CO_2) rispetto al livello delle emissioni registrate nel 1990. Il Protocollo rappresenta il primo strumento assunto a livello internazionale per dare una risposta comune alla sfida dei cambiamenti climatici. Come noto, esso ha introdotto degli obiettivi quantitativi di riduzione per i Paesi industrializzati, in base al principio di responsabilità comune ma differenziata; nello specifico, gli obiettivi assegnati all'Italia, sono stati stabiliti pari in una riduzione del 6.5% rispetto alle emissioni del 1990. Va osservato a tal proposito

che, allo stato attuale, nel nostro Paese le emissioni invece che diminuire sono aumentate e che il mancato raggiungimento degli obiettivi del Protocollo comporterebbe un cospicuo esborso monetario per l'acquisto di diritti dei emissioni e la realizzazione di progetti di cooperazione per il conseguimento di tali riduzioni all'estero.

Fig. 4 Costo accumulato dall'Italia al primo settembre 2011 per il ritardo nel raggiungimento degli obiettivi del Protocollo di Kyōto
Fonte Montaggio dal sito http://www.kyotoclub.org/

Al fine di contenere il surriscaldamento globale medio tra i 2 ed i 2.4°C, l'IPCC ritiene necessaria una prosecuzione degli impegni assunti con Kyōto, prospettando la necessità di conseguire entro il 2050 una riduzione delle emissioni globali di CO_2 pari almeno al 50% rispetto ai livelli registrati nel 2000.

1.1.2 La questione energetica

L'energia è all'origine dell'80% delle emissioni di gas serra nell'Unione Europea, alla base dei cambiamenti climatici e, in massima parte, dell'inquinamento atmosferico[6]. Gli usi energetici sono infatti caratterizzati da un notevole impatto in termini di emissioni, determinato sostanzialmente dal massiccio utilizzo dei combustibili di tipo fossile, attraverso la cui combustione vengono sprigionati in atmosfera gas e sostanze climalteranti.

Le analisi sull'evoluzione della domanda mondiale di energia primaria hanno evidenziato un trend in continua crescita dagli anni '80 in poi, arrestatosi solo nel 2009 quale effetto della crisi economica (ENEA, 2009). Numerosi scenari prevedono comunque nel futuro prossimo un nuovo incremento della domanda energetica, determinato in parte dall'aumento, stimato, della popolazione mondiale[7] e dal bisogno di migliorare gli standard di vita della parte più povera, nonché, soprattutto, dal vigoroso sviluppo delle economie emergenti in paesi quali l'India o la Cina.

[6] Comunicazione della Commissione Europea al Consiglio Europeo ed al Parlamento Europeo del 10 gennaio 2007, *"Una Politica Energetica per l'Europa"*.

[7] La popolazione mondiale, pari a circa 6 miliardi di persone alla fine dello scorso secolo, secondo una stima delle Nazioni Unite, potrebbe crescere al 2050 fino a 9 miliardi.

Il petrolio è la risorsa complessivamente più sfruttata per il soddisfacimento della domanda mondiale di energia, seguito dal carbone e dal gas naturale. Allo stato attuale, le fonti utilizzate per soddisfare le necessità energetiche derivano dunque per la maggioranza, all'incirca per l'80%, da combustibili fossili, ovvero da risorse esauribili. Per alcune di queste sono già stati evidenziati palesi problemi di scarsità, acutizzati dalla distribuzione geografica delle stesse risorse, per buona parte concentrate in zone caratterizzate da numerosi problemi di natura geopolitica. L'intensificarsi della competizione internazionale, determinata da un progressivo aumento da parte dei paesi in via di sviluppo della richiesta di risorse che tendono a divenire sempre più carenti, ha comportato quale conseguenza un aggravio dei problemi di dipendenza energetica e di sicurezza degli approvvigionamenti. La figura che segue (Fig. 5) evidenzia la rilevanza del contributo apportato dai paesi emergenti alla forte crescita della domanda energetica, durante l'ultima quindicina d'anni[8].

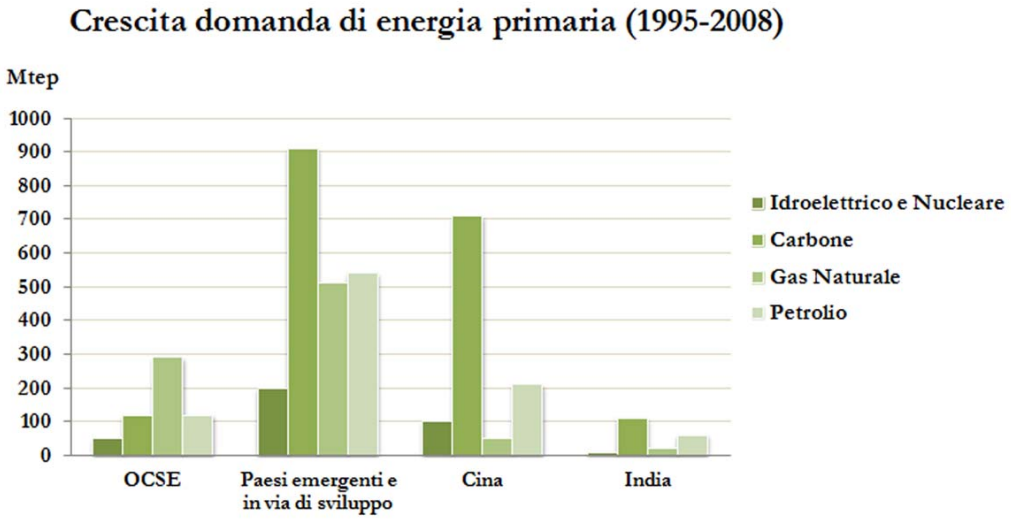


Fig. 5 Incremento della domanda di energia primaria per fonte
Fonte Elaborazione su dati IEA - International Energy Agency (Pubblicati da ENEA)

Se la domanda e la produzione di energia sono complessivamente cresciute a ritmo elevato durante gli ultimi anni, diverse sono state le dinamiche che hanno caratterizzato l'offerta energetica e le possibilità di impiego delle fonti. La disponibilità accertata di petrolio e di gas nel sottosuolo si stima tale da poter coprire la domanda mondiale ancora per qualche decennio. Come premesso, la materiale accessibilità a molte di queste risorse è ostacolata da problemi di natura geopolitica. Oltre il 56% delle riserve accertate di petrolio è concentrato in Medio Oriente, mentre Russia e Medio Oriente soddisfano circa il 40% del fabbisogno mondiale di gas naturale: ciò comporterà nel lungo termine una crescita

[8] L'unità di misura dell'energia adottata in figura è un multiplo della *tonnellata di petrolio equivalente* (tep), unità equivalente alla quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio greggio e corrispondente a circa 41GJ (gigaJoule).

della dipendenza da queste aree da parte dei paesi consumatori (ENEA, 2009). Nella fattispecie, l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) stima in un rapporto del 2008, nell'ambito di scenari base di tipo *business as usual*, ovvero in assenza di modifiche alle politiche attualmente vigenti e senza particolari restrizioni per gli approvvigionamenti delle risorse, un incremento del 70% al 2050 della domanda mondiale di petrolio.

Per quanto riguarda invece il carbone, la risorsa fossile globalmente più abbondante, il suo uso è cresciuto in maniera più che significativa nei paesi asiatici: la sola Cina ha consumato nel 2008 un quantitativo maggiore di quello complessivamente registrato nei sei paesi consumatori principali messi assieme. Tale fonte, trattandosi del carburante che a parità di resa energetica emette il maggior quantitativo di anidride carbonica, costituisce un'alternativa che, in assenza di opportuni accorgimenti tecnologici, rischia di compromettere ancor più lo stato di salute dell'ambiente[9].

Nell'ottica dei paesi importatori, la sicurezza energetica, ovvero la possibilità di accedere ad una sufficiente offerta di energia a prezzi sostenibili, è funzione dell'ammontare del complesso delle importazioni e della diversificazione del mix energetico. Allo stato attuale l'Europa importa il 55% dell'energia consumata; diversi scenari prevedono che tale quota potrebbe raggiungere il 70% nel corso dei prossimi 20-30 anni (ENEA, 2009). Per quanto concerne invece il mix energetico, anche nella media dei paesi europei i fossili rappresentano la fonte prevalente (circa l'80%) sebbene si sia assistito nel corso dell'ultimo decennio ad un forte sviluppo delle fonti rinnovabili, favorito dai numerosi sistemi di incentivazione previsti dalle politiche comunitarie. Oltre a diminuire la dipendenza dall'estero differenziando le fonti attraverso un maggior uso delle rinnovabili, al fine di garantire la sicurezza energetica e di assicurare la sostenibilità dello sviluppo, è necessario promuovere il raggiungimento di una più elevata efficienza negli usi finali dell'energia, sia nei trasporti e nell'industria, sia nel settore residenziale.

[9] Rispetto al gas, il carbone produce circa il doppio di emissioni di CO_2.

1.2 20 20 20. La strategia integrata dell'Unione Europea

L'Europa ha adottato una politica climatica ed energetica integrata volta ad affrontare il problema degli approvvigionamenti ed a promuovere una riduzione delle emissioni di gas effetto serra. Gli obiettivi strategici comunitari riguardano tre aspetti essenziali: la lotta ai cambiamenti climatici, la riduzione della vulnerabilità esterna dell'Unione Europea nei confronti delle importazioni di idrocarburi e, di conseguenza, il sostegno alla crescita ed all'occupazione attraverso la disponibilità di energia sicura ed a prezzi sostenibili.

La riduzione delle emissioni costituisce il fulcro della strategia energetica europea. Le emissioni di CO_2 dovute all'utilizzazione di energia rappresentano infatti l'80% delle emissioni dei gas serra in Europa. Ridurre le emissioni implica necessariamente un minor utilizzo delle fonti fossili tradizionali, promuovendo una maggior efficienza negli usi energetici finali ed un maggior ricorso all'energia prodotta da fonte rinnovabile. Un consumo più contenuto dei carburanti fossili andrebbe al contempo a limitare la crescente esposizione dell'Europa alla volatilità ed al progressivo aumento dei prezzi del petrolio e del gas ed a favorire lo sviluppo di un mercato energetico più competitivo, incentivando l'innovazione e le tecnologie e promuovendo l'occupazione.

Al fine di conseguire l'obiettivo di trasformare il nostro continente in un'economia ad elevata efficienza energetica ed a basse emissioni di CO_2, la Commissione Europea, in una comunicazione del gennaio del 2007 (v. nota 6, pag. 31), ha individuato una serie di possibili azioni da mettere in atto riguardanti:

- *la struttura, fisica e normativa, del mercato interno dell'energia*: le misure individuate a tal proposito hanno interessato il potenziamento delle infrastrutture per il trasporto energetico ed il completamento di quelle mancanti, la separazione della proprietà delle reti energetiche dalle fasi di produzione e di vendita ed una regolamentazione del mercato più efficace e trasparente;
- *un obiettivo a più lungo termine per le fonti energetiche rinnovabili*: le operazioni previste sono state volte al superamento degli ostacoli che impediscono un pieno sviluppo delle risorse alternative; tali ostacoli, oltre ai costi più elevati delle fonti rinnovabili rispetto a quelle tradizionali, riguardavano (all'epoca) anche la mancanza di un quadro legislativo coerente ed efficace e di una visione strategica a lungo termine[10];
- *il sistema comunitario dei diritti di emissioni*: le proposte della Commissione sono state volte ad estendere e migliorare, per il periodo oltre il 2012, il funzionamento del sistema delle quote di emissione, considerato uno degli

[10] La successiva direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, ha definito un quadro comune per sostenere lo sviluppo delle energie alternative, stabilendo obiettivi nazionali obbligatori della quota di energia da fonte rinnovabile sul consumo finale lordo di energia e della quota da fonte rinnovabile nei trasporti.

strumenti più importanti ed efficaci dal punto di vista economico per conseguire l'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra[11];

- *un programma ambizioso a favore dell'efficienza energetica*: in linea a quanto già previsto nel contesto del Piano d'azione per l'efficienza energetica[12], oltre al sostegno all'impiego di veicoli efficienti, è stata ribadita la necessità di migliorare rapidamente il rendimento degli edifici esistenti nell'Unione Europea e di impegnarsi affinché, in fase di realizzazione di nuovi immobili, diventi prassi costruttiva corrente la realizzazione di strutture a bassissimo consumo energetico.

La strategia proposta dalla Commissione è stata approvata dal Parlamento Europeo e dai capi di Stato e di Governo nel Consiglio Europeo del marzo 2007, in occasione del quale è stato definito un piano di azione, la nota strategia 20 20 20, attraverso cui sono state concordate le seguenti misure operative:

- la riduzione al 2020 del 20% delle emissioni di gas serra rispetto ai livelli rilevati nel 1990, elevabile al 30% nel caso in cui venga concluso un accordo internazionale sui cambiamenti climatici;
- il miglioramento rispetto ai livelli previsti per il 2020 del 20% dell'efficienza energetica in maniera tale da ridurre in egual misura il consumo globale di energia primaria;
- il raggiungimento al 2020 di una quota pari al 20% di energie rinnovabili sul consumo energetico globale dell'Unione Europea nonché di una quota del 10% di biocarburanti sul consumo complessivo di carburanti per autotrazione.

Ai fini della presente tesi, fra le linee d'azione definite in ambito nazionale ed europeo allo scopo di promuovere un modello di sviluppo sostenibile, attento alle esigenze climatico/energetiche, risultano essere di particolare interesse le misure adottate per il miglioramento dei livelli di efficienza energetica in edilizia.

---

[11] Il sistema europeo delle quote di emissione (sistema ETS Emission Trading Scheme), funziona secondo il principio in base a cui "chi inquina paga", stabilendo un prezzo per ogni quantitativo di carbonio emesso da ogni impianto che svolge specifiche e definite attività. Le monete di scambio comune attorno alla quale ruota il sistema sono le cosiddette *quote*, ciascuna delle quali dà al titolare il diritto di emettere una tonnellata di CO_2. Le imprese che emettono meno emissioni rispetto alle quote che posseggono possono vendere le quote in più, viceversa, quelle che non riescono a contenere le proprie emissioni entro i limiti delle proprie quote possono intervenire per ridurre le emissioni o acquistare sul mercato le quote necessarie. Il sistema ETS, attivo dal 2005, è stato articolato in tre periodi temporali distinti (2005-2007, 2008-2012, 2013-2020); le proposte di aggiornamento previste per il terzo periodo hanno riguardato l'estensione dello scambio delle quote in riferimento ad un numero maggiore di gas serra e non solo all'anidride carbonica ed una riduzione del numero complessivo di quote emesse sul mercato e di quote assegnate gratuitamente dagli Stati alle imprese, in maniera tale da ridurre conseguentemente anche l'entità delle emissioni.

[12] *Piano d'azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità*, COM(2006) 545 del 19 ottobre 2006

Bibliografia e Sitografia

Enea (2007), *Rapporto Energia e Ambiente 2006. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2008), *Rapporto Energia e Ambiente 2007. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2009), *Rapporto Energia e Ambiente 2008. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2010), *Rapporto Energia e Ambiente 2009. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

IPCC (2007), *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing,* in *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge UK and New York USA

Kandel R. (2004), *Il riscaldamento climatico*, Asterios Editore, Trieste

Mercalli L. (2009), *Che tempo che farà*, Rizzoli Editore, Milano

Pasini A. (2003), *I cambiamenti climatici. Metodologia e clima simulato*, Bruno Mondadori Editori, Milano

Direttiva 2009/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009, *sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili* (G.U. dell'Unione Europea del 05/06/2009)

Commissione delle Comunità Europee, Comunicazione della Commissione del 19 ottobre 2006, *Piano d'Azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità*, COM(2006)545

Commissione delle Comunità Europee, Comunicazione della Commissione al Consiglio Europeo e al Parlamento Europeo del 10 gennaio 2007, *Una politica Energetica per l'Europa,* COM(2007)1

www.enea.it

www.europa.eu/pol/ener/index_it.htm

www.iea.org

www.ipcc.ch

www.kyotoclub.org

2 EDIFICIO, AMBIENTE & ENERGIA

Ai fini di una riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra, una delle principali misure messe in atto dalla politica comunitaria consiste nel già citato meccanismo ETS (Emission Trade Scheme), strumento di mercato di estrema importanza e centralità nell'ambito della strategia europea per la lotta ai cambiamenti climatici, indirizzato a raggiungere un robusto contenimento delle emissioni connesse alle attività di tipo industriale. Per non gravare l'obiettivo di Kyōto esclusivamente sulle spalle del settore produttivo, è tuttavia importante assicurare che siano adottate in parallelo politiche ulteriori capaci di coinvolgere anche i settori non inclusi nella direttiva ETS, in particolar modo quello dei trasporti ed il settore dei consumi energetici civili[13].

Il presente capitolo è diretto in tal senso ad evidenziare le potenzialità e la necessità di una razionalizzazione della spesa energetica sostenuta per la gestione degli edifici, con particolare riferimento a quelli a destinazione abitativa. Sono stati pertanto identificati i principali riferimenti normativi emanati con l'obiettivo di regolamentare e monitorare le prestazioni energetiche nell'edilizia, nonché i principali strumenti di indagine utili a conseguire informazioni specifiche sulla qualità energetica dei singoli fabbricati.

[13] Gli usi civili fanno generalmente riferimento ai consumi energetici sostenuti per l'utilizzo ed il funzionamento degli edifici, sia nel residenziale che nel terziario (commerciale, direzionale).

2.1 Gli usi civili: consumi energetici e risparmio potenziale

Tra gli obiettivi da raggiungere per concretizzare l'impegno di una riduzione delle emissioni rientra in prima fila l'ottimizzazione dei livelli di efficienza nella produzione e negli usi finali dell'energia, in maniera tale da consentire una diminuzione degli sprechi e dei consumi e, di conseguenza, un abbattimento delle emissioni. Il Piano d'azione europeo per l'efficienza energetica (v. nota 12, paragrafo 1.2) stima a tal proposito che, nonostante gli standard di efficienza siano sensibilmente cresciuti nel corso degli ultimi anni, sia tecnicamente ed economicamente fattibile conseguire entro il 2020 un miglioramento del 20% dei livelli di efficienza ed un equivalente risparmio di energia primaria rispetto quanto previsto, per il medesimo anno, da proiezioni definite nell'ambito di scenari base.

La realizzazione di risparmi energetici significativi e sostenibili implica, da una parte, l'esigenza di sviluppare tecniche, prodotti e servizi a basso consumo e, dall'altra, la necessità di modificare i comportamenti in modo da ridurre gli usi di energia mantenendo comunque la stessa qualità di vita. Il conseguimento di un risparmio del 20% entro il 2020 consentirebbe all'Europa allo stesso anno una diminuzione del consumo energetico stimata in 390 Mtep ed una parallela riduzione delle emissioni di CO_2 di 780 Mt.

In tale contesto, il miglioramento dei livelli di efficienza energetica nel settore edilizio viene individuato quale una priorità assoluta. La quota più significativa di riduzione dei consumi energetici[14] che si ritiene conseguibile nei settori di uso finale (Tab. 1) si ha infatti negli ambiti residenziale e terziario, in parte in ragione della notevole quota di consumi ad essi ascrivibili, per i quali le stime del potenziale massimo di risparmio al 2020 sono rispettivamente pari al 27% ed al 30%.

Nel settore industriale manifatturiero, si stima un potenziale di risparmio pari a circa il 25%, conseguibile prevalentemente agendo sulle unità periferiche ed in particolar modo sul sistema di illuminazione, al quale si calcola sia oggigiorno dedicata oltre il 20% della produzione di energia. Specifici studi condotti a riguardo evidenziano che l'adozione della più efficiente, e già disponibile sul mercato, tecnologia LED (diodi ad alta emissione), consentirebbe di ottenere una riduzione del 30%-50% dei consumi attualmente sostenuti per l'illuminazione.

Analogamente, anche per il settore trasporti si stima un potenziale di risparmio al 2020 pari al 26%, conseguibile attraverso un passaggio significativo ad altri modi di traffico, in linea con la Revisione intermedia del Libro Bianco sui trasporti[15].

[14] Le percentuali che seguono nel presente paragrafo sono derivate dal Piano di azione europeo per l'efficienza energetica.

[15] Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo *Mantenere l'Europa in movimento - Una mobilità sostenibile per il nostro continente. Riesame intermedio del Libro Bianco sui trasporti pubblicato nel 2001 dalla Commissione Europea*, COM(2006)314

Settore	consumo di energia (Mtep) nel 2005	consumo di energia (Mtep) nel 2020 (in caso di situazione invariata)	risparmio potenziale di energia nel 2020 (Mtep)	potenziale globale di risparmio energetico al 2020 (%)
Edilizia abitativa	**280**	**338**	**91**	**27%**
Edilizia commerciale	**157**	**211**	**63**	**30%**
Trasporti	332	405	105	26%
Industria manifatturiera	297	382	95	25%

Tab. 1 Stime del potenziale di risparmio energetico per i settori di uso finale in Europa
Fonte *Piano d'Azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità***,** Comunicazione della Commissione europea, COM(2006)545

Nell'ottica di uno scenario di piena realizzazione del risparmio potenziale stimato per i settori di uso finale, gli ulteriori risparmi a livello di produzione e trasformazione di energia e quelli conseguibili tramite l'applicazione di nuove politiche e misure e tramite il rafforzamento di quelle esistenti, dovrebbero realisticamente consentire di raggiungere l'obiettivo al 2020 di una riduzione del 20% dei consumi complessivi.

Per quanto riguarda il contesto edilizio nello specifico, esso costituisce un settore che incide pesantemente sui consumi globali di energia. Ogni edificio assorbe una notevole quantità di energia, sia durante la sua costruzione, sia durante la sua vita per il funzionamento comfortevole degli interni e, soprattutto, per la sua climatizzazione. Uno studio condotto da ENEA[16] ha stimato, in riferimento ai consumi medi nazionali ed al parco immobiliare di riferimento, che un'unità residenziale di 100 m^2, realizzata con tecniche costruttive e finiture tradizionali, necessita per la sua costruzione di circa un centinaio di tonnellate di materiali (cemento, calce, laterizi, ecc.) per buona parte prodotti mediante processi di cottura, per una spesa energetica complessiva di circa 5.5 tep. Valutando i consumi per il riscaldamento di un immobile della medesima dimensione, pari a circa un tep per anno, se ne deduce che in poco più di un quinquennio un'abitazione consuma per la sola climatizzazione invernale una quantità di energia corrispondente a quella impiegata per la sua costruzione.

[16] ENEA (2007) *"Dall'ecobuilding al distretto energetico"*

Benché l'incidenza dei consumi sostenuti per la gestione degli edifici sia estremamente significativa, è proprio nel campo dell'edilizia che l'aumento dell'efficienza energetica potrà raggiungere i maggiori risultati. Nel contesto residenziale le opportunità di risparmio più rilevanti sono concretizzabili attraverso una contrazione delle spese sostenute per il riscaldamento, mediante un più efficiente isolamento di muri, tetti ed aree vetrate, mentre per gli edifici commerciali grande importanza riveste invece il miglioramento dei sistemi di gestione dell'energia. Al contempo, in ambito sia residenziale che terziario, risultano essere altrettanto importanti l'adozione di sistemi impiantistici ad alto rendimento e di tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili, nonché, in fase di progettazione, la scelta del più efficiente orientamento dell'edificio. Enormi opportunità di risparmio energetico sono costituite infine anche da un miglioramento dell'efficienza degli elettrodomestici e delle apparecchiature che utilizzano energia.

2.1.1 Il contesto nazionale: trend dei consumi energetici nel settore civile

In Italia, in base ai dati pubblicati dal Ministero dello Sviluppo Economico, il consumo energetico dovuto ai soli usi civili ha superato nel 2009 i 46 Mtep, incidendo in misura pari a circa il 35% sul totale degli impieghi finali di energia (Tab. 2). La quota predominante dei consumi degli edifici spetta al settore residenziale, benché il peso sui consumi nel civile di quello non residenziale sia aumentato nel corso degli ultimi anni, evolvendo dal 27.4% nel 1990 al 38.4% nel 2007[17].

Sebbene nel contesto degli usi civili i consumi energetici siano altamente influenzati dall'andamento delle temperature invernali e, in parte, da quelle estive, analisi condotte in merito indicano che la quota di energia assorbita dagli edifici rappresenta stabilmente oltre il 30% dell'energia complessivamente consumata nel contesto nazionale (CRESME Ricerche, 2010).

[17] CRESME Ricerche (2010), *"Analisi dell'impatto socio economico delle detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente"*

	2009						2008					
	Solidi	Gas naturale	Petrolio	Rinnovabili	Energia elettrica	Totale	Solidi	Gas naturale	Petrolio	Rinnovabili	Energia elettrica	Totale
Industria	2.593	11.852	5.284	0.394	9.832	29.955	3.981	14.430	7.019	0.368	11.614	37.412
Trasporti	-	0.601	39.934	1.059	0.905	42.499	-	0.550	41.540	0.662	0.932	43.684
Civile	**0.004**	**25.878**	**4.768**	**2.006**	**13.718**	**46.374**	**0.005**	**24.717**	**5.127**	**1.840**	**13.567**	**45.256**
Agricoltura	-	0.142	2.407	0.250	0.486	3.285	-	0.137	2.386	0.230	0.488	3.241
Usi non energetici	0.103	0.567	6.550	-	-	7.220	0.126	0.695	6.937	-	-	7.758
Bunkeraggi	-	-	3.372	-	-	3.372	-	-	3.773	-	-	3.773
Totale impieghi finali	2.700	39.040	62.315	3.709	24.941	132.705	4.112	40.529	66.782	3.100	26.601	141.124

Tab. 2 Bilancio sintetico degli impieghi finali di energia in Italia (in milioni di tep)
Fonte Ministero dello Sviluppo Economico

Ad oggi, così come nel corso dell'ultimo decennio, il trend dei consumi nel settore civile vede tra le principali risorse utilizzate il gas naturale, al quale è associato oltre il 50% dei consumi energetici complessivamente sostenuti dagli edifici. Fanno seguito l'energia elettrica, che copre nel medesimo periodo poco meno del 30% dei consumi civili, i derivati del petrolio nonché, in sensibile incremento, le fonti rinnovabili, tra cui le biomasse. I combustibili fossili solidi, quasi esclusivamente carbone, sono risultati invece essere in decisa riduzione. In generale, le dinamiche in atto della composizione del mix energetico sono caratterizzate da una forte stabilità nella quota di consumi coperta dal gas naturale e da una tendenza all'incremento di quella coperta da energia elettrica.

Per quanto riguarda nello specifico i consumi del residenziale, valutati rispetto a dati del 2007[18], la domanda energetica è soddisfatta principalmente dal gas naturale (circa per il 57%) e, in parte minore, dall'energia elettrica (circa il 22%). A tali fonti seguono, con percentuali inferiori al 10%, il gasolio, la legna e il GPL.

La più consistente spesa energetica del settore residenziale riguarda il riscaldamento. I dati disponibili illustrano che dal 1990 ad oggi la climatizzazione invernale ha costantemente assorbito oltre il 68% dei consumi energetici annualmente sostenuti dalle abitazioni civili. Il grafico che segue (Fig. 6), riferito ai consumi residenziali osservati su scala nazionale nel 2007, è ben rappresentativo della ripartizione per funzione d'uso che caratterizza gli edifici abitativi.

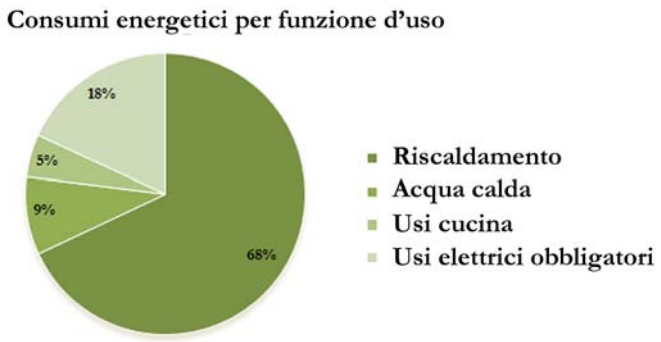


Fig. 6 Ripartizione consumi energetici per funzione d'uso nel settore edilizio residenziale (2007)
Fonte Elaborazione su dati del Ministero dello Sviluppo Economico (pubblicati da ENEA)

Diversi studi statistici hanno confermato che, mentre il consumo per metro quadro sostenuto dalle abitazioni italiane per il riscaldamento è tra i più contenuti nei paesi sviluppati, dato il clima mite che caratterizza mediamente il nostro territorio, il consumo normalizzato sulla base delle temperature rilevate risulta essere uno tra i più elevati. Ciò a causa di una qualità costruttiva tendenzialmente molto bassa e di una generale

[18] Dati del Ministero dello Sviluppo Economico (pubblicati da ENEA).

progettazione non ottimale del sistema edificio-impianto. Occorre inoltre considerare che il parco immobiliare italiano è costituito per la maggioranza da edifici precedenti alla prima legge attraverso cui si sono cominciate a regolamentare le prestazioni energetiche in edilizia (legge 373/1976, cfr. paragrafo 2.2.1).

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria, i consumi energetici ad essa dedicati hanno di media costituito, durante l'ultimo ventennio, circa il 10% della spesa complessiva residenziale. La fonte energetica di maggior utilizzo è costituita dal gas naturale (circa il 65% al 2007) pur sopravvivendo tuttora un elevato numero di scalda acqua elettrici che, seppur di facile gestione, rappresentano un tecnologia caratterizzata da un basso livello di efficienza energetica.

La quota di energia spesa ad uso cucina è diminuita nel corso degli anni (da 1.6 Mtep nel 1991 ad 1.3 nel 2007), benché il numero delle famiglie sia nel frattempo aumentato. Lo studio ENEA precedentemente citato (v. nota 16, pag. 41) ritiene quest'evoluzione significativa delle trasformazioni di carattere sociale che hanno interessato i comportamenti delle famiglie.

Infine, una quota sempre maggiore di energia è destinata al raffrescamento estivo degli ambienti. Nel 2009 sono stati stimati in Italia nel solo settore residenziale circa 14.9 milioni di impianti per la climatizzazione estiva e si è valutato che almeno il 15% delle abitazioni italiane ne sia dotata.

Per quanto riguarda invece i consumi energetici del settore terziario, si evidenzia un mix energetico differente rispetto a quanto rilevato nel residenziale, con un utilizzo prevalente sia del gas naturale (per circa il 50%) che dell'energia elettrica (per circa il 45%). I dati disponibili evidenziano un trend in continua crescita: tra il 1990 ed il 2008 si sono registrati nel settore terziario degli incrementi annui dei consumi energetici pari a circa il 3.4%, contro un tasso di crescita dei consumi registrato nel residenziale corrispondente a meno dell'1% l'anno (CRESME Ricerche, 2010).

In sostanza, per quanto riguarda soprattutto il segmento residenziale, il miglioramento dei livelli di efficienza, al fine di una conseguente diminuzione dei consumi, potrà essere perseguito attraverso una più efficiente prestazione termica dell'edificio e degli impianti in fase invernale e, in parte minore, durante la fase estiva. La riqualificazione energetica del patrimonio immobiliare esistente nel nostro contesto nazionale, favorita dall'attuale tendenza del mercato delle costruzioni che assiste allo stato odierno ad un calo degli investimenti nella nuova edilizia a favore degli interventi di recupero, costituisce un'occasione da non perdere per il raggiungimento degli obiettivi delle politiche ambientali/energetiche contemporanee.

2.1.2 Il contesto nazionale: dimensione e sviluppo del patrimonio edilizio esistente

Scopo del presente paragrafo è quello di fornire una breve caratterizzazione del vasto patrimonio edilizio disponibile in Italia, contraddistinto da un significativo potenziale di risparmio energetico conseguibile. Come previsto infatti dalle direttive comunitarie in materia[19], la spinta all'innovazione energetica e l'adozione di requisiti minimi di prestazione nel settore delle costruzioni devono riguardare non solo i fabbricati di nuova realizzazione, bensì, soprattutto, l'attuale stock immobiliare, qualora gli edifici esistenti siano soggetti ad interventi di recupero.

Tali presupposti, peraltro pienamente accolti dalle strategie messe in atto da numerosi piani per l'efficienza energetica già adottati a scala nazionale e locale, trovano particolare efficacia e validità in un contesto quale quello italiano, dove il territorio è da sempre molto sfruttato e dove la possibilità di intervento su un elevatissimo numero di edifici, contraddistinti in larga parte da una qualità energetica di basso livello, risulta essere particolarmente interessante.

Come ben evidenziato da Salvatore Settis nel suo *Paesaggio Costituzione Cemento* (2010), nella forma mentis italiana la "*terra non rende se non è murativa*": da sempre è cioè forte la convinzione che il miglior modo di impiegare i propri guadagni non sia quello di indirizzarli verso attività produttive bensì quello di investirli in proprietà, in particolar modo in quelle di tipo immobiliare. Tale modus operandi è stato particolarmente favorito nel nostro contesto nazionale, basti considerare che, tuttora, si costruisce fondamentalmente applicando una legge (la legge urbanistica del 1942) concepita in una fase temporale in cui ci si dirigeva verso un paese da sviluppare, industrializzare, far crescere. La legge 1150/42 è stata di seguito modificata ed integrata ma mai di fatto cancellata e radicalmente riformata mentre, ad ora, il territorio alla quale la stessa è rivolta si trova ad essere bisognoso di forme di sviluppo decisamente diverse rispetto a quelle del dopoguerra (Settis, 2010).

L'Italia è di fatto un paese ad alta densità, caratterizzato da un'edificazione di proporzioni rilevanti. La crescita esponenziale dell'estensione delle superfici urbanizzate, cui si è assistito in maniera significativa nel corso dell'ultimo secolo, ha portato il territorio nazionale ad una condizione di quasi saturazione, contraddistinta, in taluni casi, da un'offerta edilizia superiore alla richiesta ed in generale da una ridotta disponibilità di suolo libero da destinare alle nuove costruzioni. Da tale contesto è derivata di conseguenza l'esigenza di porre un freno ai processi di nuova urbanizzazione, azione necessaria a garantire la difesa di quei valori, ambientali e paesaggistici, spesso deturpati da un'eccessiva cementificazione del suolo, nonché ad assicurare il permanere di destinazioni del terreno diverse da quella edificabile, tra cui in particolare l'utilizzo a scopo agricolo.

[19] Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia e successiva Direttiva 2010/31/UE

A partire dall'immediato dopoguerra, si è verificata un'espansione significativa dell'urbanizzazione e dell'artificializzazione del suolo. In particolare, dagli anni '50 sino ai primi anni del 2000, la superficie urbanizzata in Italia è complessivamente cresciuta del 500% e, dal 1990 al 2005, la SAU (superficie agricola utilizzata) si è ridotta di oltre tre milioni e mezzo di ettari, una superficie grande complessivamente quasi quanto tutto il territorio del Lazio e dell'Abruzzo messi assieme (WWF, 2009). Ad ogni italiano viene oggi attribuita una media di 230 metri quadrati di urbanizzazione: si tratta di un dato estremamente significativo non solo in termini assoluti bensì anche in relazione al fatto che il nostro è un paese tutto sommato montuoso, che vede presenti significative superfici interessate da zone umide, laghi e fiumi.

I dati Istat rilevano nel corso degli ultimi cinquant'anni una crescita edilizia che non ha precedenti. Nel periodo 1995-2006 i comuni italiani hanno rilasciato mediamente permessi di costruire per oltre 3 miliardi di metri cubi, oltre 260 milioni di metri cubi l'anno, di cui l'80% per la realizzazione di nuovi fabbricati. L'edilizia residenziale ha rappresentato oltre il 40% di questo flusso (Settis, 2010).

Stando ai dati rilevati in occasione del 14° Censimento della popolazione e delle abitazioni, condotto dall'Istat nel 2001, in Italia sono stati complessivamente stimati oltre 12 milioni di edifici, dei quali quasi il 90% a fini abitativi, la grande parte di questi realizzata antecedentemente agli anni '80 (Fig. 7). La suddivisione per unità abitative ha portato a valutare il patrimonio immobiliare residenziale in circa 27 milioni di alloggi.

Fig. 7 Edifici abitativi per epoca di costruzione
Fonte Elaborazione su dati Istat (14° Censimento della popolazione e delle abitazioni - 2001)

E' significativo in tal senso uno dei paradossi evidenziati da Settis caratterizzanti il contesto nazionale: nonostante l'Italia sia contraddistinta dal più basso tasso di crescita

demografica d'Europa, e da uno dei più bassi al mondo, nel nostro paese si registra il più alto tasso di consumo di suolo tra i paesi europei. Il legame tra crescita demografica e crescita urbana è stato in altre parole tutt'altro che lineare, l'Italia è infatti il primo stato d'Europa per disponibilità di abitazioni: dei 27 milioni delle unità esistenti, ne risultano occupate solamente l'80% (WWF, 2009).

La crescita del patrimonio edilizio abitativo si è dunque intrecciata, in particolar modo negli ultimi anni, con una flessione ed una contrazione della domanda di nuove residenze. Da indagini condotte da CRESME Ricerche[20] si rileva, nei primi anni del 2000, una produzione media annua di nuove abitazioni variabile tra le 200.000 e 260.000 unità, decisamente superiore al numero delle nuove famiglie l'anno. Complessivamente si stimano, nei medesimi anni, 27 milioni di abitazioni ultimate contro 21 milioni di famiglie totali. Tale squilibrio ben evidenzia come nel nostro paese la domanda primaria di nuove unità abitative possa considerarsi sostanzialmente arrestata.

In tale contesto, così come anticipato, il mercato immobiliare residenziale ha visto aprirsi prospettive interessanti in merito allo sviluppo delle attività di tipo manutentivo. Lo stock fabbricativo italiano costituisce infatti un patrimonio edilizio per buona parte datato e contraddistinto da problemi molteplici. Una porzione di esso ha certamente valore storico e culturale ma, di contro, una larga parte è di qualità scadente sotto tutti i profili: estetici, funzionali, energetici.

Analisi e studi condotti in merito al ciclo di vita di un edificio (v. nota 20) concordano sul fatto che, trascorsa una quarantina d'anni, il prodotto edilizio necessiti di una serie di interventi di ristrutturazione al fine di garantire il mantenimento degli standard qualitativi di base. Si può in tal senso ragionevolmente sostenere che la storia della *nuova costruzione* del passato possa evolvere nella storia della *manutenzione* del futuro. Gli immobili realizzati durante il boom dell'edificazione residenziale del secondo dopoguerra, che ha toccato picchi negli anni '60 con la realizzazione di 500.000 nuove abitazioni l'anno, costituiscono oggi un patrimonio su cui si rendono spesso necessari numerosi interventi di recupero: è questa un'importante occasione per agire anche ai fini di un miglioramento degli standard energetici. Tale processo, tra le altre cose, può essere favorito dal fatto che ai giorni nostri circa l'80% delle famiglie italiane è proprietaria della casa in cui vive (dati CRESME Ricerche). La disponibilità di un immobile, liberato da mutui ed ipoteche, ne favorisce in molti casi il ritorno sul mercato immobiliare con un approccio ben diverso dal passato: la volontà non è quella di accedere alla prima casa bensì di migliorare la propria condizione abitativa. Per comprare un nuovo immobile spesso si vende quello posseduto: cresce il numero delle compravendite e della manutenzione edilizia.

In sintesi, la condizione di saturazione edilizia che contraddistingue il nostro paese, necessita, in tutti i livelli di pianificazione, di un'importante e significativa presa di coscienza

[20] Bellicini L. per CRESME Ricerche, *Le costruzioni al 2010*

degli alti livelli di urbanizzazione e, nella fattispecie, dell'elevato numero di unità immobiliari, di cui l'Italia già dispone.

La realizzazione di interventi manutentivi svolti su edifici che necessitano di operazioni di recupero costituisce un'importante occasione per il miglioramento dei relativi standard energetici. In tal senso, al fine di migliorare i livelli di prestazione e conseguire una riduzione dei consumi, è necessario prevedere a monte lo svolgimento di un'intensa attività di monitoraggio tale da consentire la costituzione di un quadro conoscitivo su vasta scala delle condizioni ed usi energetici che, allo stato di fatto, caratterizzano, edificio per edificio, il patrimonio esistente. Una conoscenza diffusa rappresenta indubbiamente uno dei presupposti iniziali che non è possibile eludere per poter pianificare azioni ed interventi migliorativi degli standard qualitativi e prestazionali degli edifici.

2.2 Quadro normativo per la regolamentazione energetica in edilizia

2.2.1 Dalla 373 alla Legge 10. Primi tentativi di disciplina delle perfomance energetiche

Il percorso delle norme relative al risparmio energetico ha sostanzialmente inizio negli anni '70 quando, a seguito della guerra del Kippur tra Arabi ed Israeliani, i paesi occidentali si scoprono vulnerabili a causa della propria dipendenza dal petrolio.

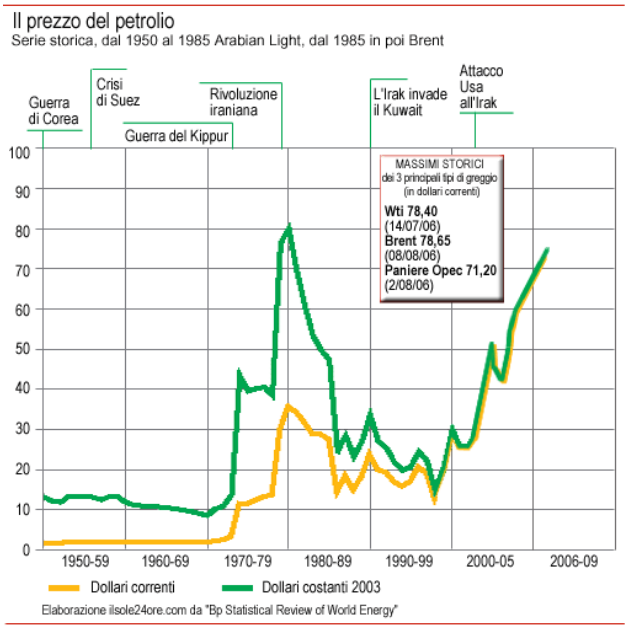


Fig. 8 Evoluzione del prezzo del petrolio (1950-2006), in dollari correnti ed in dollari costanti 2003
Fonte Elaborazione ilsole24ore.com
http://www.ilsole24ore.com/fc?cmd=art&codid=20.0.1487553569&chId=30&artType=Articolo&DocRulesView=Libero

Nel nostro paese, il 1976 può essere considerato come una sorta di spartiacque nel cammino della regolamentazione dei consumi energetici nel settore edile: l'Italia infatti, al manifestarsi delle prime problematiche connesse agli approvvigionamenti energetici, reagisce promulgando la legge 30 aprile 1976 n. 373 *Norme per il contenimento dei consumi energetici per usi termici negli edifici*[21], la quale, assieme ai suoi decreti attuativi (d.m. 10 marzo 1977 e d.P.R. 28 giugno 1977 n. 152) rappresenta il primo provvedimento con cui si è affrontato il problema del contenimento dei consumi nella progettazione di nuovi edifici e nella ristrutturazione di quelli esistenti. Gli intenti della legge (abrogata dalla successiva legge 10/91) erano espressi dall'art. 1 "*Al fine di contenere il consumo energetico per usi termici*

[21] Legge ordinaria del Parlamento n. 373/1976 (G.U. n. 148 del 07/06/1976)

negli edifici, sono regolate dalla presente legge le caratteristiche di prestazione dei componenti, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici per il riscaldamento degli ambienti e per la produzione di acqua calda per usi igienici e sanitari, alimentati da combustibili solidi, liquidi o gassosi negli edifici pubblici o privati, con esclusione di quelli adibiti ad attività industriali o artigianali. Sono regolate altresì le caratteristiche di isolamento termico degli edifici da costruire o ristrutturare, nei quali sia prevista l'installazione di un impianto termico di riscaldamento degli ambienti".

L'intento della legge era innanzitutto quello di fissare degli standard energetici per il settore edilizio, prescrivendo in primo luogo l'isolamento termico delle strutture civili. Il presupposto più rilevante, nonché all'epoca quello maggiormente innovativo, era costituito dall'obbligo del calcolo delle dispersioni di calore, le quali dovevano essere contenute, attraverso la coibentazione dell'involucro, entro un valore massimo stabilito. Le disposizioni della legge 373, hanno consentito, ove correttamente applicate, di costruire edifici più efficienti.

La norma prevedeva il calcolo del coefficiente globale di dispersione termica (C_d) inteso quale la potenza complessiva utile fornita dall'impianto per il riscaldamento dell'edificio, ottenuta dalla somma della potenza termica dispersa per trasmissione attraverso le strutture ed i ponti termici e della potenza termica necessaria al riscaldamento dell'aria di rinnovo, e definita sulla base di una specifica temperatura interna di progetto e di una temperatura esterna di riferimento stabilita dalla legge per ciascuna località geografica.

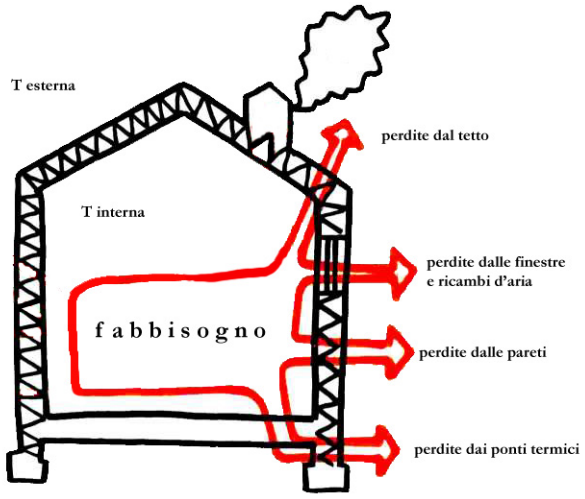


Fig. 9 Legge 373/76, schema sintetico delle componenti considerate per definire la potenza termica dispersa dall'edificio

Il calcolo delle dispersioni veniva utilizzato sia per verificare la congruità dell'isolamento sia per dimensionare l'impianto, ovvero per verificare la potenza termica del generatore di calore necessaria a garantire una temperatura di comfort interna stimata pari a circa 20°C.

Condizione necessaria per l'autorizzazione alla costruzione di nuovi edifici, doveva essere il contenimento del coefficiente di dispersione C_d entro valori limiti definiti da successivi decreti di attuazione ($C_d < C_{d\ lim}$). In tal senso, il d.m. 10 marzo 1977 aveva previsto la suddivisione del territorio nazionale in sei zone climatiche, ciascuna delle quali individuata sulla base di un intervallo definito di gradigiorno[22] e caratterizzata da specifici valori minimi e massimi dei relativi coefficienti limite di dispersione termica. La successiva specifica dei coefficienti limite ammissibili in ciascun comune veniva quindi delegata alla competenza delle singole regioni, le quali avrebbero dovuto procedere attraverso delibera delle rispettive giunte.

Il controllo del rispetto delle prescrizioni imposte della norma veniva invece affidato ai comuni. La legge prevedeva precisi accertamenti e verifiche sui progetti all'atto di rilascio della licenza di costruzione (l'attuale concessione), procedure che avrebbero necessitato di tempo e di personale competente, per adempiere alle quali i comuni avrebbero di conseguenza dovuto rafforzare l'organico con tecnici specializzati e prevedere controlli ad hoc eseguiti in loco. Si sarebbero dovute stanziare nuove risorse finanziarie per coprire le spese correlate a tale nuova specifica funzione, delle quali però nella legge non vi è traccia alcuna. Di fatto, la mancata preoccupazione del legislatore per l'applicazione della norma, compito che venne generalmente assegnato ai comuni, costituì un notevole punto debole della legge.

Altro limite della 373/76 riguardava il lato impiantistico: l'aspetto principale a riguardo era la prescrizione di limiti alla potenza degli impianti di riscaldamento, trascurandone di fatto l'efficienza e non dando tal proposito nessuna indicazione per il calcolo da utilizzare nella verifica. Di fatto i tecnici del settore furono indirizzati ad utilizzare la norma italiana UNI 7357 (Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento degli edifici), arrivando a risultati largamente sovradimensionati. La UNI 7357 forniva infatti una valutazione molto cautelativa che consentiva un'elevata elasticità nell'applicazione della stessa.

Per queste ed ulteriori ragioni tale legge è risultata essere poco efficace, le si riconosce tuttavia il merito di aver destato un certo interesse attorno all'argomento del risparmio energetico.

Alla legge 373 fa seguito la legge 9 gennaio 1991 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*[23], che si è contraddistinta per il suo carattere decisamente innovativo, avendo anticipanto principi e concetti introdotti solamente dopo diversi anni

[22] I gradigiorno GG, rappresentano un'unità di misura indicativa del fabbisogno termico caratterizzante una determinata area geografica. Così come precisato dal successivo d.P.R. 412/1993, i gradigiorno di una località rappresentano la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C e la temperatura media esterna giornaliera.

[23] Legge ordinaria del Parlamento n. 10/1991 (G.U. n. 13 del 16/01/1991)

dalle normative comunitarie in materia. Le finalità della legge erano rivolte al risparmio energetico ed alla tutela ambientale, in particolar modo, così come definito dall'art. 1, la legge tendeva a *"l'uso razionale dell'energia, il contenimento dei consumi di energia nella produzione e nell'utilizzo di manufatti, l'utilizzazione delle fonti rinnovabili di energia".*

Tra le principali novità apportate dalla legge, vi era l'ampliamento delle categorie delle fonti di energia assimilabili alle rinnovabili, nelle quali venivano inclusi anche i risparmi di energia conseguibili nella climatizzazione e nell'illuminazione degli edifici con interventi sull'involucro edilizio e sugli impianti. Ulteriori aspetti rilevanti della 10/91 riguardavano l'ampliamento dei poteri delegati in materia alle regioni ed ai comuni[24], nonché il rafforzamento della figura del responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia, l'Energy Manager, che ogni azienda con consumi annui superiori ad un limite definito doveva, e deve tuttora, provvedere a nominare.

Per quanto concerneva invece nello specifico il contenimento dei consumi energetici in ambito edile, la legge prescriveva che gli edifici, sia pubblici che privati indipendentemente da quale fosse la destinazione finale d'uso, e gli impianti ad essi associati fossero progettati e messi in opera in modo tale da contenere al massimo, in relazione al progresso della tecnica, i consumi di energia termica ed elettrica. Nei casi di recupero del patrimonio edilizio esistente era previsto un'applicazione graduale delle prescrizioni adottate.

Rispetto a quanto stabilito dalla 373/76, i contenuti della legge 10 ed i principi alla base del suo decreto attuativo (d.P.R. 412/93) costituivano un notevole salto di qualità. Invece di limitare la potenza dell'impianto, si imponeva, più opportunamente, un limite al fabbisogno di energia primaria necessaria alle esigenze della climatizzazione invernale[25]. La problematica veniva dunque affrontata in modo più ampio, considerando globalmente involucro edilizio ed impianto termico come un unico complesso organico ed integrato e ragionando in termini di *bilancio energetico* del sistema edificio-impianto, definito in termini di apporti e perdite di energia. Si introduceva il fattore relativo al fabbisogno energetico convenzionale per la climatizzazione invernale, inteso come la quantità di energia primaria globalmente richiesta nel corso di un anno per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura al valore costante di 20°C con un adeguato ricambio d'aria. La durata della

[24] Per un approfondimento di questi concetti si rimanda al contenuto del capitolo 3.

[25] Una fonte di energia viene definita primaria quando è presente in natura e non deriva dalla trasformazione di nessun'altra forma di energia. Il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale è determinato dalla quantità di energia effettivamente consumata per il riscaldamento dell'edificio, definita considerando il potenziale energetico dei diversi vettori (quantificato sulla base di uno specifico fattore di conversione), il rendimento dell'impianto (ovvero le perdite di energia dai sottosistemi dello stesso) nonché l'energia necessaria per il funzionamento delle componenti impiantistiche ausiliarie (quali ventilatori per la combustione, pompe di circolazione, ecc.). In altre parole, due edifici aventi pari necessità di energia netta possono consumare energia primaria in quantità molto diverse fra loro in funzione delle modalità di produzione dell'energia. Il fabbisogno di energia primaria dipende quindi, da un lato, dal fabbisogno di energia utile e, dall'altro, dal tipo di combustibile o vettore utilizzato per produrre energia e dall'efficienza di produzione.

relativa stagione di riscaldamento veniva fissata dalla legge in relazione all'area climatica di appartenenza.

Nello specifico, la normativa imponeva il calcolo del fabbisogno energetico normalizzato per la climatizzazione invernale (FEN) in base al volume riscaldato ed ai gradigiorno della località (espresso in termini di kJ/m^3 GG). Il bilancio energetico del sistema edificio-impianto doveva tener conto, in termini di apporti, sia dell'energia primaria immessa nella centrale termica attraverso i vettori energetici, sia dell'energia erogata dal sole e del calore fornito tramite il metabolismo degli abitanti, l'illuminazione, ecc., mentre in termine di perdite doveva considerare l'energia dispersa per trasmissione e ventilazione dall'involucro edilizio e quella dispersa dall'impianto.

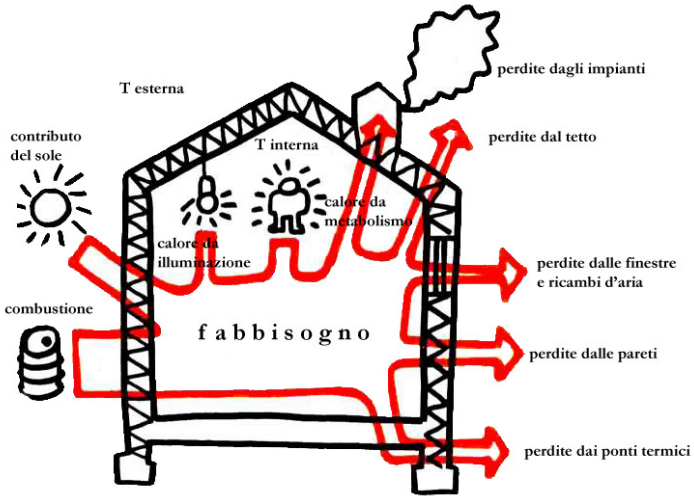


Fig. 10 Legge 10/91, schema sintetico delle componenti considerate per definire il bilancio energetico dell'edificio

La legge imponeva, oltre all'accertamento del contenimento del coefficiente di dispersione (C_d) entro i valori di soglia limite (derivato dalla 373/76), la verifica che il valore del FEN fosse inferiore ai livelli massimi definiti per legge nonché la verifica che il rendimento medio stagionale dell'impianto (η_g)[26] risultasse superiore ad uno standard minimo, anch'esso definito mediante specifiche legislative in materia. I risultati dei calcoli relativi all'indice di fabbisogno energetico normalizzato dovevano essere riportati nella relazione tecnica redatta dal progettista e depositata in comune, necessaria per

[26] Il rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico rappresenta il rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale (ovvero l'energia necessaria per compensare il calore disperso da strutture e ponti termici ed attraverso la ventilazione) e l'energia primaria delle fonti energetiche, comprensiva dell'energia dispersa dall'impianto e dell'energia elettrica necessaria per il funzionamento delle componenti ausiliarie.

l'autorizzazione alla realizzazione di nuovi edifici o di interventi su edifici esistenti nonché in caso di opere interessanti gli impianti ad essi associati.

Gli obiettivi della legge 10 sono per molti aspetti rimasti sulla carta, in parte a causa della mancata approvazione di diversi e fondamentali decreti di attuazione previsti dalla legge stessa nonché, soprattutto, a causa dell'assenza di controlli da parte degli enti locali, in molti casi dettata dalla carenza di personale tecnico competente, in grado di operare delle verifiche relative alla documentazione presentata dai progettisti a garanzia del rispetto dei requisiti di prestazione energetica imposti.

Tale provvedimento non è mai stato dunque pienamente operativo. Non hanno infatti visto la luce i decreti ministeriali previsti ai sensi del comma 2 dell'articolo 4, finalizzati a dettare le normative tecniche necessarie a conseguire l'obiettivo di risparmio energetico, la cui osservanza avrebbe dovuto condizionare il rilascio delle autorizzazioni e la concessione di finanziamenti e contributi per la realizzazione delle opere pubbliche. Non sono state definite le specifiche in merito alle modalità di redazione della relazione tecnica richiesta al progettista, prescritta dall'articolo 28, attestante il rispetto delle performance energetiche minime richieste. Infine, è rimasto inapplicato l'articolo 30, con il quale si istituiva l'obbligo di certificazione energetica degli edifici nei casi di vendita e di locazione. Tale articolo prevedeva che, entro novanta giorni dall'entrata in vigore della legge, venissero emanate con decreto del Presidente della Repubblica le norme per la certificazione energetica degli edifici e le specifiche per individuare i soggetti abilitati alla certificazione. Per arrivare a tutto ciò si sono dovuti però attendere ben quasi vent'anni.

2.2.2 L'Europa nell'era post Kyōto

Nell'era post Kyōto si è assistito ad un forte stimolo e ad una crescita esponenziale delle azioni e degli sforzi intrapresi con l'obiettivo di giungere ad una razionalizzazione e regolamentazione dei consumi energetici e, in generale, ad un maggiore e più congruo livello di tutela ambientale. Tali finalità hanno acquisito negli anni una posizione prioritaria nel contesto delle attività di pianificazione e gestione del territorio, dando vita ad un variegato insieme di provvedimenti legislativi, incentivi diversi, principi e buone norme che hanno interessato il settore edilizio particolarmente da vicino.

In tal senso, nel corso dell'ultimo decennio, il contesto nazionale e quello europeo sono stati teatro di un lungo ed intricato iter di produzione normativa dedicato al monitoraggio, nonché al miglioramento, delle caratteristiche energetiche dei nostri edifici. La regolamentazione dei consumi è stata sempre più chiamata a rispondere non solo a problematiche legate all'approvvigionamento energetico, bensì anche a fattori e questioni relative alla necessità di tutelare lo stato dell'ambiente, in modo tale da rallentare il fenomeno di surriscaldamento in atto.

"E' trascorso un trentennio della guerra del Kippur, nuove guerre si sono combattute e si stanno combattendo nel Medio Oriente e la situazione geopolitica non si è per niente rasserenata, il risparmio di energia fossile ora è anche dettato soprattutto dalla necessità di salvaguardare il pianeta dall'effetto serra. Per uno sviluppo sostenibile occorre preservare le risorse naturali che comprendono i prodotti petroliferi, il gas naturale e i combustibili solidi che, pur costituendo fonti essenziali di energia, sono anche le principali sorgenti delle emissioni di gas climalteranti: per questo l'aumento delle prestazioni energetiche occupa un posto di rilievo nel complesso delle misure e degli interventi necessari per la salvaguardia dell'ambiente, emergenza oramai evidente a tutti per consentire alla Comunità europea di influenzare il mercato mondiale dell'energia e quindi la sicurezza degli approvvigionamenti nel medio e nel lungo termine"[27].

La direttiva 2002/91/CE *sul rendimento energetico nell'edilizia* [28], può essere considerata come la madre di una successiva generazione di norme e regolamenti che hanno concentrato l'attenzione nei confronti del miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici quale chiave per poter conseguire una significativa riduzione dell'emissione di inquinanti nell'atmosfera e dunque quale azione imprescindibile per mantenere fede agli impegni assunti con Kyōto. La direttiva ha infatti posto l'attenzione sul fatto che, in Europa, *"l'energia impiegata nel settore residenziale e terziario, composto per la maggior parte di edifici, rappresenta oltre il 40% del consumo finale di energia della Comunità. Essendo questo un settore in espansione, i suoi consumi di energia e quindi le sue emissioni di biossido di carbonio sono destinati ad aumentare".*

Perno attorno cui ruotano le disposizioni della 2002/91 è il concetto di rendimento energetico dell'edificio, inteso quale la quantità di energia effettivamente consumata, o che si prevede possa essere necessaria, per soddisfare i bisogni connessi ad un suo utilizzo standard, compresi, tra gli altri, il riscaldamento, la produzione di acqua calda sanitaria, il raffreddamento, la ventilazione e l'illuminazione. Si tratta di un fattore espresso da uno o più descrittori, calcolati tenendo conto di una combinazione di variabili rappresentative della coibentazione e delle caratteristiche termiche dell'edificio, delle specifiche tecniche degli impianti, degli aspetti climatici e del contesto in cui la struttura è sita, dell'orientamento e della tipologia architettonica, dell'esistenza di sistemi di generazione propria di energia e dell'impiego di fonti rinnovabili nonché della destinazione d'uso dell'edificio stesso. Secondo le intenzioni della direttiva, nel contesto dei diversi stati membri, la metodologia di valutazione del rendimento energetico dovrebbe essere strutturata sulla base di un'impostazione comune, in maniera tale da contribuire alla creazione di un quadro conoscitivo omogeneo e di introdurre un elemento di trasparenza sul mercato immobiliare comunitario.

[27] Bazzini, Cellai, Gai (2007), *Le prestazioni energetiche degli edifici*, Maggioli Editore

[28] Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio (G.U. delle Comunità Europee 04/01/2003)

Gli aspetti principali regolamentati dalla direttiva riguardano in tal senso le seguenti tematiche:

- *l'adozione di una metodologia comune di calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici* (art. 3): viene imposto agli stati membri di applicare a livello nazionale o regionale una metodologia di calcolo del rendimento energetico degli edifici, definita tenendo conto di una moltitudine di aspetti rappresentativi delle caratteristiche tecniche dell'edificio e degli impianti, del contesto geografico, della destinazione d'uso;
- *il rispetto di requisiti minimi di rendimento energetico negli edifici di nuova costruzione e negli edifici già esistenti se sottoposti ad importanti ristrutturazioni* (artt. 4, 5, 6): gli stati membri sono chiamati a definire requisiti minimi di rendimento energetico degli edifici, il soddisfacimento dei quali deve essere garantito per le nuove costruzioni e nell'ambito di importanti ristrutturazioni riguardanti edifici esistenti di metratura superiore a 1000 m^2. Categorie determinate di fabbricati, quali gli edifici appartenenti al patrimonio con valore storico/architettonico o quelli con una metratura utile inferiore a 50 m^2 possono essere esonerate dal soddisfacimento di prestazioni minime;
- *la certificazione energetica degli edifici di nuova costruzione e degli edifici esistenti* (art. 7): ciascuno stato deve far sì che, in fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio, l'attestato di certificazione energetica sia messo a disposizione del proprietario, il quale lo dovrà a sua volta trasferire all'eventuale futuro acquirente o locatario; tale attestato, di validità non superiore a dieci anni, deve comprendere dati di riferimento che consentano ai consumatori di valutare e raffrontare la prestazione energetica dell'edificio;
- *il ruolo degli edifici pubblici* (considerazioni iniziali, punto16): gli edifici occupati dalle pubbliche autorità o aperti al pubblico, il cui approccio nei confronti dell'ambiente e dell'energia deve essere esemplare, dovrebbero assoggettarsi regolarmente alla certificazione energetica e renderne pubblici i risultati affiggendo in un luogo visibile il relativo attestato;
- *l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia del complesso degli impianti le cui caldaie abbiano oltre quindici anni* (artt. 8, 9).

Con la direttiva 2002/91/CE, l'Unione Europea ha impresso dunque una spinta significativa all'innovazione energetica in edilizia, avviando un processo che, anche in Italia, ha portato ad una maggiore consapevolezza della necessità di un miglioramento degli standard nel settore edile. In sostanza, tale direttiva ha avuto il merito di rispondere all'esigenza di uno strumento giuridico che sancisse interventi più concreti, rispetto a quanto fino ad allora attuato, finalizzati a realizzare il grande potenziale di risparmio

energetico del settore edile ed a ridurre il divario tra i risultati conseguiti in tale ambito nei diversi stati.

I contenuti della 2002/91 sono stati aggiornati e rivisti dalla successiva direttiva 2010/31/UE *sulla prestazione energetica in edilizia*[29] attraverso la quale è stato introdotto il concetto di edificio ad energia quasi zero, inteso quale edificio ad altissima prestazione il cui fabbisogno energetico, molto basso o quasi nullo, dovrebbe essere coperto in maniera significativa da energia da fonti rinnovabili. La direttiva ha inoltre ampliato la casistica di situazioni nell'ambito delle quali è prevista l'applicazione di requisiti minimi di prestazione energetica, il rispetto dei quali viene richiesto, oltre che alle nuove costruzioni ed agli edifici esistenti soggetti ad interventi, anche ai sistemi impiantistici nonché alle unità immobiliari (indipendentemente dalla metratura) ed agli elementi edilizi qualora sottoposti a ristrutturazioni importanti.

Altra tappa importante del percorso legislativo diretto all'ottimizzazione dei livelli di efficienza energetica è rappresentata dalla direttiva 2006/32/CE *concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia ed i servizi energetici*[30], attraverso la quale l'Unione Europea ha voluto definire gli obiettivi, i meccanismi ed il quadro istituzionale finanziario e giuridico necessari ad eliminare barriere ed imperfezioni che esistono sul mercato e che ostacolano un efficiente uso finale dell'energia, in maniera tale da creare le condizioni necessarie a promuovere misure di miglioramento dell'efficienza energetica. Nello specifico, gli stati membri sono stati chiamati ad ottenere entro il nono anno di applicazione della direttiva (2016) un obiettivo di risparmio energetico pari al 9% dell'ammontare medio annuo dei consumi rilevati nei cinque anni precedenti l'attuazione della stessa, da conseguirsi tramite servizi energetici ed altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica. L'obiettivo di risparmio viene individuato sulla base di disposizioni e metodi descritti negli allegati alla direttiva ed indicato dagli Stati membri attraverso i Piani d'Azione per l'Efficienza Energetica (PAEE). Per quanto riguarda il contesto italiano in particolare, il primo PAEE sviluppato[31], ha definito un target di risparmio atteso al 2016 pari a 126327 GWh, prevedendo delle misure di miglioramento dell'efficienza energetica dirette in particolar modo al settore edile, sia nel residenziale, sia, in parte minore, nel terziario.

[29] Direttiva 2010/31/UE (rifusione della precedente Direttiva 2002/91/CE) del Parlamento europeo e del Consiglio (G.U. delle Comunità Europee 18/06/2010)

[30] Direttiva 2006/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio (G.U. delle Comunità Europee 27/04/2006)

[31] Ministero dello Sviluppo Economico, Piano di Azione Italiano per l'Efficienza Energetica 2007

2.2.3 La legislazione nazionale

Nel corso dell'ultima decina d'anni, in attuazione di quando stabilito da Bruxelles, sono stati approvati in Italia diversi provvedimenti legislativi finalizzati a raggiungere un maggior livello di efficienza energetica nell'edilizia (Fig. 11).

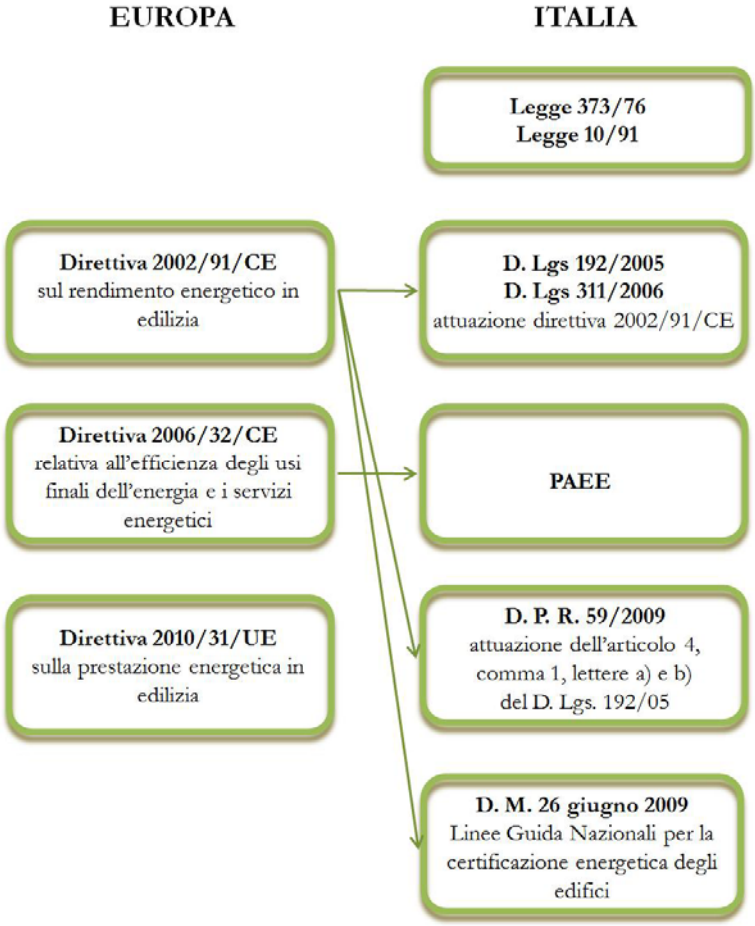


Fig. 11 Sintesi dei principali atti legislativi nazionali ed europei in materia di efficienza energetica in edilizia

In recepimento della direttiva 2002/91/CE l'Italia ha emanato il decreto legislativo 192/2005, successivamente modificato ed integrato dal decreto legislativo 311/2006[32].

Il provvedimento ha stabilito (art. 1) "*i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici*", disciplinando a tale scopo "*le metodologie per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate, l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche, le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione, i criteri generali per la*

[32] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 (G.U. n. 222 del 23/09/2005) e successivo decreto legislativo 22 dicembre 2006, n. 311 (G.U. n. 26 del 01/02/2007)

certificazione energetica degli edifici e le condizioni per garantire l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione e delle ispezioni degli impianti".

In linea con la filosofia progettuale della legge 10, il decreto ha proposto la verifica della prestazione energetica in termini di energia necessaria alle esigenze dell'edificio, sostituendo il FEN per la climatizzazione invernale, espresso in kJ/m^{3}GG, con l'indice di prestazione energetica EP, comprensivo anche dei fabbisogni per la climatizzazione estiva, la produzione di acqua calda sanitaria e l'illuminazione ed espresso in termini di kWh/m^{2}anno (o di kWh/m^3 anno), unità ritenute più idonee a livello europeo.

Una delle principali disposizioni del decreto ha riguardato la specifica dei valori limite consentiti del fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale. Gli indici di prestazione minima, riportati in allegato al decreto[33] e differenziati in funzione della destinazione d'uso dell'edificio, distinguendo edifici residenziali per i quali si adottano indici espressi in kWh/m^2 anno ed edifici non residenziali per i quali gli indici sono espressi in kWh/m^3 anno, sono definiti in relazione della zona climatica di appartenenza (sulla base dei gradigiorno) ed in funzione del rapporto di forma S/V dell'edificio, dove il numeratore S rappresenta la superficie in m^2 delimitante verso l'esterno il volume lordo riscaldato V, riportato al denominatore ed espresso in m^3 (Fig. 12)[34].

Il medesimo allegato riporta inoltre indicazione dei valori limite imposti per la trasmittanza termica[35] delle strutture opache verticali ed orizzontali e delle chiusure trasparenti, anch'essi distinti in relazione alla zona climatica di riferimento[36].

[33] Allegato C decreto legislativo 311/2006 "Requisiti energetici degli edifici"

[34] Per i valori di S/V compresi nell'intervallo 0.2 - 0.9 e, analogamente, nel caso di gradigiorno intermedi ai limiti delle zone climatiche, il decreto prevede di procedere mediante interpolazione lineare degli indici individuati in tabella (Fig. 12).

[35] La trasmittanza si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°C. E' legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati (UNI EN ISO 6946).

[36] Il d.lgs. 192/2005 ha eliminato le verifiche relative all'isolamento (C_d) introdotte dalla legge 373, prescrivendo la verifica dei requisiti sulle trasmittanze degli elementi opachi e trasparenti dell'involucro edilizio. Successivamente, attraverso il decreto del Presidente della Repubblica 59/2009, è stato previsto che il rispetto dei valori limite di trasmittanza debba essere garantito esclusivamente nell'ambito delle ristrutturazioni minori e degli interventi parziali mentre in sede di nuova edificazione e di ristrutturazione totale si richiede invece il rispetto dei valori limite del fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale.

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	*a 601 GG*	*a 900 GG*	*a 901 GG*	*a 1400 GG*	*a 1401 GG*	*a 2100 GG*	*a 2101 GG*	*a 3000 GG*	*oltre 3000 GG*
≤0,2	**8,5**	**8,5**	**12,8**	**12,8**	**21,3**	**21,3**	**34**	**34**	**46,8**	**46,8**
≥0,9	**36**	**36**	**48**	**48**	**68**	**68**	**88**	**88**	**116**	**116**

Fig. 12 Valori limite consentiti per il fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale (kWh/m² anno) applicabili dal 1 gennaio 2010, validi per gli edifici residenziali
Fonte Allegato C al d.lgs. 311/2006

Per quanto concerne invece la certificazione energetica degli edifici, già introdotta dalla legge 10 ma in realtà mai stata effettivamente operativa, attraverso tale provvedimento si sono compiuti numerosi passi in avanti. A tal proposito, la principale novità che d.lgs. 311/2006 ha introdotto rispetto al 192/2005, è stata l'estensione dell'ambito di applicazione della certificazione energetica a tutti gli edifici, sia a quelli di nuova fabbricazione che a quelli già esistenti. In particolare, l'obbligo di assoggettarsi alla certificazione energetica è stato rivolto:

- agli edifici di nuova costruzione
- agli edifici esistenti, nel caso di cessione a titolo oneroso, con la seguente gradualità temporale:
    - dal primo luglio 2007 agli edifici di superficie utile superiore a 1000 metri quadrati, nel caso di trasferimento dell'intero immobile
    - dal primo luglio 2008, agli edifici di superficie utile fino a 1000 metri quadrati, nel caso di trasferimento dell'intero immobile ad esclusione delle singole unità immobiliari
    - dal primo luglio 2009 alle singole unità immobiliari
- agli edifici esistenti di superficie superiore a 1000 metri quadrati, soggetti a ristrutturazione integrale o a demolizione e ricostruzione

Insieme ai requisiti prestazionali minimi richiesti agli edifici, definiti come visto in termini di fabbisogno energetico massimo consentito (l'indice EP) e di valori limite di trasmittanza delle strutture e di rendimento degli impianti, il provvedimento ha individuato i fattori e le variabili di cui le metodologie per la valutazione della prestazione dell'edificio avrebbero dovuto tener conto. Per rendere il provvedimento operativo a tutti gli effetti si è tuttavia rimandato alla stesura di successivi decreti attuativi volti a definire ed a dettagliare:

- la metodologia tecnica per il calcolo dei consumi energetici, necessaria a determinare l'indice di prestazione energetica degli edifici (EP)

- la disciplina per la progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici
- le linee guida per la certificazione energetica degli edifici nonché i requisiti ed i criteri professionali atti ad assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti o degli organismi cui affidare lo svolgimento delle attività di certificazione degli edifici e d'ispezione degli impianti di climatizzazione

La specifica dei primi due aspetti è avvenuta attraverso il decreto del Presidente della Repubblica 59/2009[37], il quale, relativamente alle metodologie di stima della prestazione energetica, fa riferimento alle norme tecniche nazionali della serie UNI/TS 11300 (Prestazioni energetiche degli edifici) e successive modifiche, in particolare:

- UNI/TS 11300 parte 1 - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- 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

Per quanto riguarda invece le *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici* (di seguito Linee guida), teoricamente attese entro 120 giorni dalla data di approvazione del d.lgs. 192/2005 (8 ottobre 2005), la loro pubblicazione è avvenuta solamente attraverso il decreto ministeriale 26 giugno 2009, mediante il quale si è così colmato il penultimo vuoto legislativo rimasto in materia di certificazione energetica (l'ultimo pezzo mancante è quello relativo ai criteri professionali e all'indipendenza dei certificatori). Le disposizioni del decreto sono state rivolte esclusivamente a quelle regioni e province autonome che, precedentemente all'uscita del provvedimento, non avessero già provveduto a definire propri strumenti di certificazione energetica. È stato comunque raccomandato agli enti che avessero frattempo eventualmente già legiferato in materia, di adottare misure atte a favorire un graduale ravvicinamento dei propri strumenti alle Linee guida medesime.

Prerogativa delle Linee guida è stata quella di definire una metodologia diretta ad ottenere un complesso di informazioni di chiara ed immediata comprensione sulla qualità energetica degli edifici, contribuendo a strutturare una procedura di certificazione omogenea su scala nazionale.

Secondo le disposizioni delle Linee guida, le performance energetiche dell'edificio vengono espresse attraverso l'indice di prestazione energetica globale EP_{gl} (kWh/m^{2}anno

[37] Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b) del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192* (G.U. n. 132 del 10/06/2009)

nel caso di edifici residenziali, kWh/m^{3}anno negli altri casi), il quale tiene conto del fabbisogno di energia primaria necessaria per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria e per l'illuminazione artificiale. Nello specifico, l'indice di prestazione energetica globale viene definito dalla somma di quattro termini

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill}$$

dove:
EP_i è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale
EP_{acs} è l'indice di prestazione energetica per la preparazione dell'acqua calda sanitaria
EP_e è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva
EP_{ill} è l'indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale

Nella fase di avvio, ai fini della certificazione degli edifici, la normativa ha previsto tuttavia di considerare esclusivamente gli indici di prestazione relativi al fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda ad uso igienico sanitario; l'indice di prestazione energetica EP_{gl} viene definito in tal senso dalla somma degli indici EP_i e EP_{acs}. È stata inoltre introdotta una valutazione qualitativa delle caratteristiche termiche in fase estiva dell'involucro edilizio, obbligatoria esclusivamente in alcuni e specifici casi di indagine.

Per la determinazione del fabbisogno energetico dell'edificio le Linee guida individuano differenti procedure di calcolo:

- *Metodo calcolato di progetto*: utilizzato nell'ambito delle nuove edificazioni e nel caso di ristrutturazioni integrali, valuta la prestazione energetica sulla base dei dati di ingresso del progetto energetico dell'edificio come costruito e dei sistemi impiantistici come realizzati, adottando le metodologie di calcolo definite dalle norme tecniche UNI/TS 11300
- *Metodo di calcolo da rilievo sull'edificio o standard*: valuta la prestazione energetica a partire da dati di ingresso ricavati da indagini svolte direttamente sull'edificio esistente; prevede differenti metodologie di approccio:
    - mediante procedure di rilievo, anche strumentali, sull'edificio e/o sugli impianti, utilizzando le metodologie di calcolo semplificate previste dalle UNI/TS 11300 per gli edifici esistenti
    - per analogia costruttiva con altri edifici e sistemi impiantistici coevi, integrata da banche dati o abachi nazionali, regionali e locali, facendo riferimento al metodo di calcolo DOCET, predisposto da CNR ed ENEA (procedura applicabile esclusivamente ad edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 3000 m^2)

- sulla base dei principali dati climatici, tipologici, geometrici, impiantistici, adottando per il calcolo di EP_i una procedura di valutazione semplificata riportata in allegato alle Linee guida e per la valutazione di EP_{acs} le procedure semplificate previste dalle norme UNI/TS 11300 (procedura applicabile esclusivamente ad edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 1000 m^2).

Il decreto propone una suddivisione in *n* classi dei livelli di prestazione energetica, globale o parziale, degli edifici. La classe energetica, identificata da una lettera compresa tra la A e la G, rappresenta in tal senso un'etichetta di efficienza attribuita all'edificio sulla base di un intervallo convenzionale di riferimento all'interno del quale si colloca la sua prestazione. La classe energetica globale comprende sottoclassi rappresentative dei singoli servizi energetici certificati, per il momento limitati, come specificato, alla climatizzazione invernale ed alla produzione di acqua calda sanitaria.

Relativamente alla climatizzazione invernale, il sistema di classificazione di ciascun edificio viene definito sulla base del corrispondente valore limite dell'indice di prestazione energetica applicabile dal 1 gennaio 2010 ($EPi_{L(2010)}$) riportato in allegato al d.lgs. 311/2006 (v. Fig. 12, pag. 61). Risulta dunque essere parametrato al rapporto di forma dell'immobile ed ai gradigiorno caratteristici della località dove lo stesso è ubicato (Fig. 13). Il limite della prestazione ammissibile relativa al fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale ($EPi_{L(2010)}$), è stato posto quale limite di separazione tra le classi C e D, dove la classe C rappresenta di conseguenza il livello di prestazione minima richiesto.

		Classe A_i +	$<$	**0.25 EP_{iL} (2010)**
0.25 EP_{iL} (2010)	$\leq$	**Classe A_i**	$<$	**0.50 EP_{iL} (2010)**
0.50 EP_{iL} (2010)	$\leq$	**Classe B_i**	$<$	**0.75 EP_{iL} (2010)**
0.75 EP_{iL} (2010)	$\leq$	**Classe C_i**	$<$	**1.00 EP_{iL} (2010)**
1.00 EP_{iL} (2010)	$\leq$	**Classe D_i**	$<$	**1.25 EP_{iL} (2010)**
1.25 EP_{iL} (2010)	$\leq$	**Classe E_i**	$<$	**1.75 EP_{iL} (2010)**
1.75 EP_{iL} (2010)	$\leq$	**Classe F_i**	$<$	**2.50 EP_{iL} (2010)**
		Classe G_i	$\geq$	**2.50 EP_{iL} (2010)**

Fig. 13 Sistema di classificazione nazionale delle prestazioni energetiche per la climatizzazione invernale
Fonte Allegato 4 dell'allegato A al d.m. 26 giugno 2009

La scala delle classi espressione della prestazione energetica per la preparazione dell'acqua calda sanitaria viene invece determinata sulla base di considerazioni tecnico-

economiche e non è dunque parametrata a caratteristiche specifiche dell'edificio o della zona climatica in cui è sito (Fig. 14).

		Classe A_{acs}	<	9 kWh/m² anno
9 kWh/m² anno	≥	Classe B_{acs}	<	12 kWh/m² anno
12 kWh/m² anno	≥	Classe C_{acs}	<	18 kWh/m² anno
18 kWh/m² anno	≥	Classe D_{acs}	<	21 kWh/m² anno
21 kWh/m² anno	≥	Classe E_{acs}	<	24 kWh/m² anno
24 kWh/m² anno	≥	Classe F_{acs}	<	30 kWh/m² anno
		Classe G_{acs}	≥	30 kWh/m² anno

Fig. 14 Sistema di classificazione nazionale delle prestazioni energetiche per la produzione di acqua calda sanitaria, valido per gli edifici residenziali
Fonte Allegato 4 dell'allegato A al d.m. 26 giugno 2009

Per quanto riguarda infine la scala di valutazione della prestazioni globali dell'edificio, essa è definita dalla somma dei singoli termini delle due precedenti scale (Fig. 15).

		Classe A_{gl} +	<	0.25 EP_{iL} (2010) +9 kWh/m² anno
0.25 EP_{iL} (2010) + 9 kWh/m² anno	≤	Classe A_{gl}	<	0.50 EP_{iL} (2010) + 9 kWh/m² anno
0.50 EP_{iL} (2010) + 9 kWh/m² anno	≤	Classe B_{gl}	<	0.75 EP_{iL} (2010) + 12 kWh/m² anno
0.75 EP_{iL} (2010) + 12 kWh/m² anno	≤	Classe C_{gl}	<	1.00 EP_{iL} (2010) + 18 kWh/m² anno
1.00 EP_{iL} (2010) + 18 kWh/m² anno	≤	Classe D_{gl}	<	1.25 EP_{iL} (2010) + 21 kWh/m² anno
1.25 EP_{iL} (2010) + 21 kWh/m² anno	≤	Classe E_{gl}	<	1.75 EP_{iL} (2010) + 24 kWh/m² anno
1.75 EP_{iL} (2010) + 24 kWh/m² anno	≤	Classe F_{gl}	<	2.50 EP_{iL} (2010) + 30 kWh/m² anno
		Classe G_{gl}	≥	2.50 EP_{iL} (2010) + 30 kWh/m² anno

Fig. 15 Sistema di classificazione nazionale delle prestazioni energetiche globali, valido per gli edifici residenziali
Fonte Allegato 4 dell'allegato A al d.m. 26 giugno 2009

E' significativo puntualizzare come la regolamentazione legislativa che ha diretto la certificazione energetica è stata molto articolata e talvolta contraddittoria. In una prima fase, attraverso il d.lgs. 192/2005, era stato previsto l'obbligo di allegare l'attestato di certificazione energetica agli atti di compravendita e locazione, pena la nullità degli stessi contratti. Tale disposizione, se rispettata, avrebbe comportato un notevole apporto

conoscitivo relativamente alle caratteristiche prestazionali di una discreta parte del patrimonio edilizio esistente. Nella realtà dei fatti essa è stata però fortemente ostacolata da provvedimenti successivi. Infatti, con successiva legge 133/2008, pur rimanendo fermi gli obblighi di redazione degli attestati di certificazione, sono state abrogate le disposizioni inerenti la nullità dei contratti di compravendita o locazione in caso mancata inclusione degli stessi. Di seguito, le stesse Linee guida, nel caso di cessione a titolo oneroso di edifici con superficie inferiore a 1000 m^2, hanno previsto la possibilità per il proprietario consapevole della scarsa qualità energetica dell'immobile, di svincolarsi dagli obblighi di certificazione producendo un'autodichiarazione nella quale egli afferma che l'edificio è in classe energetica G e che i costi per la sua gestione energetica sono molto alti (punto 9, allegato A, d.m. 26 giugno 2009).

2.3 La certificazione energetica quale analisi di dettaglio della prestazione dell'edificio

Come anticipato nei precedenti paragrafi, con la certificazione energetica si attesta l'ammontare del fabbisogno energetico, definito in kWh/m^2 o m^3 annui, che si prevede possa essere necessario per un uso standard dell'edificio. La qualità dell'immobile viene dunque espressa attraverso indici sintetici e classi specifiche di prestazione, dirette a fornire in maniera chiara ed immediata un complesso di informazioni utili all'utente finale per riuscire a valutare e raffrontare, con un approccio semplificato e non tecnico, le caratteristiche energetiche dell'edificio.

2.3.1 Concetto e calcolo del fabbisogno standard secondo le UNI/TS 11300

La valutazione dei consumi energetici, definita nell'ambito della certificazione, presuppone la stima del fabbisogno *standard* dell'edificio: il calcolo dei consumi viene cioè svolto assumendo valori convenzionali di riferimento relativamente alle condizioni climatiche esterne ed interne ed alle modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto. Il fabbisogno dell'edificio, quantificato attraverso un'analisi di questo tipo, differisce con molta probabilità dai risultati ottenibili mediante una diagnosi energetica relativa a condizioni effettive di utilizzo, ovvero definita impostando il calcolo dei consumi sulla base di valori rappresentativi del reale funzionamento degli impianti e delle reali condizioni di impiego dell'immobile. Il fabbisogno standard, in altre parole, può non risultare esattamente corrispondente all'ammontare dei consumi effettivamente sostenuti.

La procedura di definizione del fabbisogno energetico prevista dalle norme tecniche UNI/TS 11300 adottate nel contesto nazionale, necessita di un'analisi puntuale delle molteplici componenti del sistema edificio-impianto e di una conoscenza di dettaglio dei numerosi parametri che ne influenzano il bilancio energetico.

Il calcolo delle prestazioni energetiche richiede la definizione di[38]:

- il fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione invernale
- il fabbisogno di energia utile per la produzione dell'acqua calda sanitaria
- il fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

Il fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale, dato di ingresso fondamentale ai fini del calcolo dei fabbisogni di energia primaria, viene valutato in riferimento ad una condizione di temperatura dell'aria uniforme in tutto lo spazio riscaldato

[38] Si ricorda che, ad oggi, l'indice di prestazione energetica viene valutato esclusivamente in relazione al fabbisogno di energia primaria necessaria per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, tralasciando le componenti inerenti la climatizzazione estiva e l'illuminazione.

ed ipotizzando una situazione di funzionamento dell'impianto continuo, ovvero presupponendo il mantenimento di una temperatura interna dell'edificio costante nel tempo.

Le metodologie di calcolo per la definizione del fabbisogno ideale[39] di energia termica dell'involucro edilizio sono individuate dalla UNI/TS 11300 parte 1. Il calcolo viene eseguito in riferimento ad un intervallo di tempo convenzionale, rappresentativo della stagione di riscaldamento determinata in relazione alla zona climatica di appartenenza[40], assumendo delle specifiche condizioni di temperatura interna ed esterna. I fabbisogni sono quantificati suddividendo l'intero periodo di riscaldamento in intervalli elementari di durata mensile, determinando i valori per ogni intervallo costituente il periodo di calcolo e sommando i risultati conseguiti. Per quanto riguarda i dati di ingresso relativi alle temperature esterne, la normativa prevede di adottare, per ciascun intervallo elementare, la temperatura media esterna del mese considerato o della frazione di mese[41]. La temperatura interna si assume costante nel tempo e pari, nel caso del residenziale, a 20 °C.

L'energia termica necessaria alla climatizzazione invernale durante ciascun intervallo temporale, definita dalla differenza tra l'energia dispersa per trasmissione e ventilazione e gli apporti energetici solari ed interni gratuiti, è espressa dalla seguente formula[42]:

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} * (Q_{int} + Q_{sol})$$

dove:
$Q_{H,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per il riscaldamento
$Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione
$Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione
$\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici
Q_{int} sono gli apporti termici interni
Q_{sol} sono gli apporti termici solari

L'entità dei flussi termici dispersi viene influenzata da numerosi fattori, tra di essi, oltre alle condizioni climatiche di riferimento e dunque alla differenza di temperatura interna ed esterna, i principali sono quelli relativi alla trasmittanza delle strutture edilizie, ovvero alla loro attitudine a farsi attraversare, più o meno velocemente, dal calore. Per quanto riguarda invece i contributi positivi del bilancio energetico, si considerano gli apporti solari sulle

[39] Riferito cioè a condizioni di temperatura dell'aria uniformi in tutto l'ambiente climatizzato.

[40] Il d.P.R. 412/93 ha definito la durata della stagione di riscaldamento assegnata a ciascuna delle sei zone climatiche (dalla A alla F). L'intervallo del periodo di riscaldamento varia dal 1° dicembre al 15 marzo nella zona A, dove il clima è più mite, dal 5 ottobre al 22 aprile nella zona F, dove il clima è più rigido.

[41] I valori di temperatura esterna media mensile sono definiti da specifica norma tecnica (UNI 10349 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici).

[42] Norma UNI/TS 11300 - parte 1 *Calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento*

componenti opache e trasparenti dell'edificio, valutando contemporaneamente gli effetti mitigatori che derivano dall'ombreggiatura e della presenza di schermature fisse e mobili, assieme agli apporti interni, definiti principalmente in relazione alla funzione d'uso dell'edificio e valutati considerando gli contributi termici derivanti dagli occupanti e dalle apparecchiature.

La definizione di ogni singolo termine della precedente formula, necessita della specifica a monte di un numero notevole di informazioni, principalmente riguardanti i seguenti aspetti fondamentali:

- dati relativi alle caratteristiche tipologiche dell'edificio
- dati relativi alle caratteristiche termiche e costruttive dell'edificio
- dati climatici
- dati relativi alle modalità (*standard*) di occupazione ed utilizzo dell'edificio

Le fasi seguenti della procedura di calcolo, definite dalla UNI/TS 11300 parte 2, determinano il fabbisogno di energia utile per la produzione dell'acqua calda sanitaria, i rendimenti ed i fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari degli impianti di riscaldamento e di produzione dell'acqua calda sanitaria ed il fabbisogno di energia primaria complessivo dell'edificio (riscaldamento ed acqua calda sanitaria). Sulla base di tale ultimo parametro, come premesso, viene valutata la prestazione energetica dell'immobile.

Per quanto riguarda la stima dell'energia termica necessaria per l'acqua calda sanitaria, il calcolo viene riferito convenzionalmente ad una temperatura di erogazione di 40°C e ad una temperatura di ingresso dall'acquedotto nell'impianto di 15°C. Nel caso del residenziale i volumi d'acqua richiesti giornalmente sono parametrati alla superficie dell'abitazione, assumendo un periodo di calcolo pari a 365 giorni/anno.

Il passo successivo prevede la definizione dei rendimenti o delle perdite degli impianti. A tal fine gli stessi si considerano suddivisi nei relativi sottosistemi (regolazione, emissione, distribuzione, generazione) e la determinazione del fabbisogno di energia primaria viene effettuata in base ai rendimenti (o alle perdite) dei sottosistemi componenti. In maniera molto semplificata, il rendimento (η) può essere definito quale il rapporto tra l'energia utile ottenuta (Q_{out}) e l'energia primaria spesa (Q_{in}): ne consegue che l'impianto, o il sottosistema specifico considerato, è tanto efficiente quanto più il rapporto tende ad 1.

$$\eta = Q_{out}/Q_{in} < 1$$

I rendimenti dei sottosistemi possono essere determinati sulla base di prospetti tabellati, riportati nella norma tecnica, contenenti dati predefiniti in relazione alla tipologia del sottosistema e di uno o più parametri caratteristici oppure, in alternativa, definiti in via analitica mediante specifica metodologia.

La definizione del fabbisogno di energia primaria si effettua partendo dal fabbisogno di energia utile dell'edificio, sommando progressivamente le perdite dei vari sottosistemi sino a giungere al fabbisogno di energia del sottosistema di generazione (Fig.16).

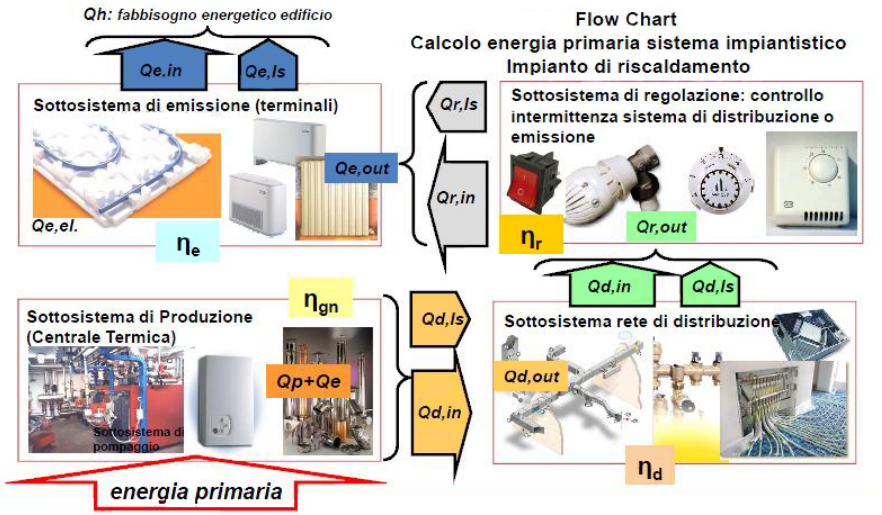


Fig. 16 Rappresentazione schematica dei sottosistemi dell'impianto e del processo di definizione del fabbisogno di energia fornita all'impianto
Fonte Corso di abilitazione per certificatori energetici della Provincia Autonoma di Trento (materiale didattico, 2011)

Ai fini del calcolo, l'energia erogata agli impianti viene convertita in fabbisogno complessivo di energia primaria attraverso uno specifico fattore di conversione (f_p) caratterizzante ciascun vettore energetico. In un determinato intervallo di calcolo, il fabbisogno globale di energia primaria viene dunque definito attraverso la seguente espressione[43]:

$$Q_{p,H,W} = \sum Q_{H,C,i} * f_{p,i} + \sum Q_{W,C,j} * f_{p,j} + (Q_{H,aux} + Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) * f_{p,el}$$

dove:

$Q_{H,C,i}$ è il fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da ciascun vettore energetico i (combustibili, energia elettrica, ecc.). Nel caso di combustibili è dato dalla quantità utilizzata per il potere calorifico inferiore[44], nel caso di energia elettrica dalla quantità utilizzata

[43] Norma UNI/TS 11300 - parte 2 *Espressione generale del fabbisogno di calcolo di energia primaria*

[44] Il potere calorifico rappresenta la quantità di calore prodotta dall'unità di massa di un combustibile quando questo brucia completamente. Si distingue in potere calorifico superiore, corrispondente alla quantità di calore che si rende disponibile per effetto della combustione completa, a pressione costante della massa unitaria del combustibile, quando i prodotti della combustione siano riportati alla temperatura iniziale del combustibile e del comburente e in potere calorifico inferiore, corrispondente al potere calorifico superiore diminuito del calore di condensazione del vapore d'acqua formatosi durante la combustione.
Fonte http://www.manualihoepli.it

$f_{p,i}$ è il fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico i

$Q_{W,c,j}$ è il fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria ottenuto da ciascun vettore energetico j (combustibili, energia elettrica, ecc.). Nel caso di combustibili è dato dalla quantità utilizzata per il potere calorifico inferiore, nel caso di energia elettrica dalla quantità utilizzata

$Q_{H,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di riscaldamento

$Q_{W,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di produzione di acqua calda sanitaria

$Q_{INT,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari di eventuali sistemi che utilizzano energie rinnovabili e di cogenerazione

$Q_{el,exp}$ è il fabbisogno di energia elettrica esportata dal sistema (da solare fotovoltaico, cogenerazione)

$f_{p,el}$ è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia ausiliaria elettrica

I fattori di conversione (f_p) sono assunti pari ad 1 nel caso di combustibili fossili (ossia un kWh termico da metano è pari a un kWh in energia primaria) mentre il fattore di conversione dell'energia elettrica viene definito attraverso disposizioni di legge specifiche.

Concludendo, in questo paragrafo si sono descritti, in estrema sintesi ed in maniera semplificata, alcuni dei principali passi necessari al calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio, così come previsto dalla procedura definita dalle norme tecniche individuate dalla legislazione in materia. A sostegno del modello di analisi speditivo descritto nei successivi capitoli, si è voluta in tal senso evidenziare la complessità di tale metodologia di calcolo, l'applicazione della quale risulta dunque essere difficilmente proponibile nel contesto di indagini immediate a larga scala, condotte su un numero significativo di edifici.

2.3.2 Limiti dello strumento di certificazione a supporto della costruzione di una conoscenza energetica diffusa

Nel presente paragrafo vengono individuati i principali punti deboli che caratterizzano, allo stato attuale, lo strumento della certificazione energetica degli edifici, limitanti di fatto l'utilizzo delle informazioni derivabili dagli attestati ai fini della definizione di un quadro conoscitivo efficace ed estensivo, rappresentativo delle reali prestazioni del parco immobiliare esistente.

Come visto, la legislazione della certificazione energetica ha avuto in Italia una storia lunga e tortuosa: introdotta nel 1991 dalla legge 10, a distanza di vent'anni la sua attuazione permane tuttora in un continuo assetto di *work in progress*. L'obbligo della certificazione energetica degli edifici è stato formalizzato attraverso il decreto legislativo 192/2005, tuttavia, le specifiche tecniche indispensabili alla sua attuazione sono state rimandate a

decreti successivi. Nel periodo transitorio intercorso tra la pubblicazione del decreto e l'approvazione delle relative Linee guida (d.m. 26/06/2009), numerose regioni si sono mosse autonomamente emanando leggi locali atte a regolamentare la materia sul territorio di propria competenza[45]. Tra di esse, nell'ordine, vi sono state la Regione Lombardia, seguita dalla Liguria, dal Piemonte e dall'Emilia Romagna. In anticipo sulle disposizioni statali, si era mossa invece la Provincia autonoma di Bolzano introducendo già nel 2004 il sistema CasaClima.

Tale percorso ha portato il nostro paese ad una condizione di notevole disomogeneità degli aspetti regolamentativi relativi alla certificazione energetica, previsti dai diversi contesti locali. Attraverso un interessante studio condotto dal CTI (Comitato Termotecnico Italiano)[46] sono state messe a confronto, in maniera completa e dettagliata, le disposizioni per l'applicazione dell'obbligo di certificazione in vigore nei singoli territori regionali: dall'analisi sono emerse notevoli differenze tra le varie normative adottate, rendendo evidente il fatto che, in Italia, tale materia sia stata complessivamente disciplinata con modalità fortemente difformi.

Il quadro legislativo regionale e delle provincie autonome in tema di certificazione è estremamente variegato: il prospetto di seguito riportato (Fig. 17), estratto dal citato lavoro del CTI, è significativo della complessità caratterizzante la situazione italiana. Dal prospetto medesimo, i cui contenuti sono aggiornati al mese di maggio 2011, si nota come in alcune regioni, pur essendo la certificazione energetica obbligatoria ai sensi delle disposizioni nazionali, non sia stato ancora emanato nessun regolamento in materia.

[45] Tali enti hanno agito nel rispetto della legalità, essendo l'energia materia concorrente tra stato e regioni. Inoltre, attraverso l'articolo 17 del decreto legislativo 192/2005, è stato espressamente previsto che le regioni potessero recepire in maniera indipendente le disposizioni della direttiva comunitaria 2002/91/CE, salvo il rispetto dei principi fondamentali individuati dal decreto nazionale medesimo.

[46] CTI (2011), *Attuazione della certificazione energetica degli edifici in Italia. Rapporto 2011*

Regioni e Province autonome	Legislazione
Abruzzo	**Non vi è alcuna legge quadro regionale.**
Basilicata	**Legge regionale 28/12/2007, n.28** "Disposizioni per la formazione del Bilancio di Previsione Annuale e Pluriennale della Regione Basilicata – Legge Finanziaria 2008". **Legge regionale:** "Disposizioni per la formazione del Bilancio di Previsione Annuale e Pluriennale della Regione Basilicata Legge Finanziaria 2010". **Non vi è alcuna legge quadro regionale.**
Bolzano	**Decreto del Presidente della Provincia 29/09/2004, n.34** "Regolamento di esecuzione della legge urbanistica in materia di risparmio energetico". **Deliberazione della Giunta provinciale del 15/06/2009, n.1609** "Direttive ai sensi dell'art. 127 comma 2 della legge urbanistica provinciale, legge provinciale 11/08/1997, n.13 e successive modifiche (Riqualificazione energetica di edifici esistenti con ampliamento)". **Deliberazione della Giunta Provinciale del 27/07/2009, n.1969** "Certificato energetico per appartamenti". **Legge 09/04/2009, n.1** "Disposizioni per la formazione del bilancio di previsione per l'anno finanziario 2009 e per il triennio 2009-2011 (Legge finanziaria 2009)". **Decreto del Presidente della Provincia del 15/02/2011, n.9** "Modifica del regolamento di esecuzione alla legge urbanistica provinciale in materia di risparmio energetico".
Calabria	**Non vi è alcuna legge quadro regionale.**
Campania	**Non vi è alcuna legge quadro regionale.**
Emilia Romagna	**Delibera Assemblea Legislativa regionale 4/03/2008, n.156** "Atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione degli edifici". **Delibera Giunta regionale 7/07/2008, n.1050** "Sistema di accreditamento dei soggetti preposti alla certificazione energetica degli edifici". **Delibera Giunta regionale 28/10/2008, n.1754** "Disposizioni per la formazione del certificatore energetico in edilizia in attuazione della D.A.L. n.156/08". **Delibera Giunta regionale 21/09/2009, n.1390** "Modifica agli allegati tecnici della D.A.L. n.156/2008". **Delibera Assemblea Legislativa regionale 6/10/2009, n.255** di modifica alla D.A.L. n.156/2008. **Delibera Giunta regionale 20/09/2010, n.1362** "Modifica degli allegati di cui alla parte seconda della D.A.L. 156/08".
Friuli Venezia Giulia	**Legge 18/08/2005, n.23** "Disposizioni in materia di edilizia sostenibile". **Delibera 24/09/2009, n.2116** "L.R. 23/2005, art.6, comma 1 (disposizioni in materia di edilizia sostenibile) che istituisce il "protocollo regionale per la valutazione della qualità energetica ed ambientale di un edificio" quale strumento attuativo di cui si dota la Regione per disciplinare la valutazione del livello di sostenibilità degli interventi edilizi: approvazione del protocollo regionale VEA per la valutazione della qualità energetico – ambientale degli edifici. Approvazione definitiva". **Protocollo VEA** per la Valutazione della qualità energetica e ambientale degli edifici. **D.P.Reg. 25/09/2006, n.288** "Regolamento concernente i criteri e le modalità per la concessione dei contributi previsti dagli artt. 12 e 13, comma 4 della L.R. 18/08/2005, n.23 (Disposizioni in materia di edilizia sostenibile), per la dotazione di strumenti di indagine territoriale in materia di bioedilizia". **D.P.Reg. 1/10/2009, n.274** "Regolamento recante le procedure per la certificazione VEA di sostenibilità energetico – ambientale degli edifici, di cui all'art. 6 bis, della L.R. 18/08 2005, n.23, «Disposizioni in materia di edilizia sostenibile»". **D. P.Reg. 25/08/2010, n.199** "Regolamento recante il sistema di accreditamento dei soggetti abilitati alla certificazione VEA di cui all'art.1 bis della L.R. 23/2005 (Disposizioni in materia di edilizia sostenibile) e modifiche al Regolamento recante le procedure per la certificazione VEA emanato con D.P.Reg. 274/2009. **D.P.Reg. 21/12/2010, n.288** "Regolamento recante il sistema di accreditamento dei soggetti abilitati alla certificazione VEA di cui all'articolo 1bis della L.R. 23/2005 (Disposizioni in materia di edilizia sostenibile) e modifiche al Regolamento recante le procedure per la certificazione VEA emanato con D.P.Reg. 274/2009" approvato con D.P.Reg. 199/2010.
Lazio	**Non vi è alcuna legge quadro regionale.** La Regione Lazio prevede la certificazione di sostenibilità energetico – ambientale degli edifici, tale certificazione, volontaria, non sostituisce quella energetica ma ne utilizza le risultanze in sede di valutazione delle prestazioni ambientali dell'edificio.
Liguria	**Legge regionale 29/05/2007, n.22 e s.m.i.** "Norme in materia di energia". **Regolamento regionale 22/01/2009, n.1** "Regolamento di attuazione art. 29 della L.R. 29/05/2007 n.22 recante: Norme in materia di certificazione energetica degli edifici. Sostituzione del regolamento regionale n.6 del 8/11/2007". **Deliberazione di Giunta regionale 2/12/2008, n.1601** "Certificazione energetica degli edifici: elenco dei professionisti e corsi di formazione". **Deliberazione di Giunta regionale 21/09/2009 n.1254** "Modifiche degli allegati alla D.G.R. 1601/08 "Certificazione energetica degli edifici/elenco dei professionisti e corsi di formazione".
Lombardia	**Legge Regionale 11/12/2006, n.24 e s.m.i.**"Norme per la prevenzione e la riduzione delle emissioni in atmosfera a tutela della salute e dell'ambiente" (BURL n.50, 1° suppl. ord. del 13/12/2006). **D.G.R. VIII/5018 e s.m.i** "Determinazioni inerenti la certificazione energetica degli edifici, in attuazione del

Regioni e Province autonome	Legislazione
	D.Lgs. 192/2005 e degli art. 9 e 25 della L.R. 24/2006". **Decreto 3/3/2009, n.2055** "Approvazione modalità per l'avvio del controllo sperimentale sulle certificazioni energetiche degli edifici, rilasciate ai sensi della D.G.R. 5018/2007 e successive modifiche ed integrazioni" **Decreto 18/3/2009, n.2598** "Approvazione del nuovo modello di targa energetica per gli edifici, in riferimento alla D.G.R. 5018/2007". **Decreto 12/05/2009, n.4648** "Definizione dei criteri per accreditare come certificatori energetici ai sensi della D.G.R. 5018/2007 e s.m.i. i professionisti già accreditati da altre Regioni, Province autonome e Paesi appartenenti all'UE". **Decreto 11/06/2009, n.5796** "Procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici". **Decreto 13/7/2009, n.7148** "Precisazioni in merito all'applicazione delle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia, approvate con D.G.R. n.8745 del 22/12/2008". **Decreto 22/07/2009, n.7538** "Rettifica delle precisazioni approvate con Decreto 7148 del 13/07/2009, relative all'applicazione delle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia, di cui alla D.G.R. 8745 del 22/12/2008" **Decreto 12/08/2009, n.8420** "Differimento del termine per l'entrata in vigore della procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici, approvata con D.D.G. 5796 dell'11/06/2009". **D.D.G. 19/08/2009, n.8554** "Precisazioni in merito all'applicazione dell'art.3, comma 2 e comma 3, della L.R. 16/07/2009, n.13". **D.D.G. 15/12/2009, n.14006** "Precisazioni in merito all'applicazione delle disposizioni vigenti in materia di certificazione energetica degli edifici e modifiche al D.D.G. 5796 dell'11/06/2009". **D.D.G. 15/12/2009, n.14009** "Approvazione della procedura operativa per la realizzazione dei controlli sulla conformita degli attestati di certificazione energetica redatti ai sensi della D.G.R. 5018/2007 e successive modifiche". **DGR IX/335** "Certificazione energetica edifici pubblici: aggiornamento del termine finale".
Marche	**Non vi è alcuna legge quadro regionale.** La Regione Marche prevede la certificazione di sostenibilità ambientale degli edifici, tale certificazione, volontaria, non sostituisce quella energetica ma ne utilizza le risultanze in sede di valutazione delle prestazioni ambientali dell'edificio.
Molise	**Non vi è alcuna legge quadro regionale.**
Piemonte	**Legge regionale 28/05/2007, n.13** "Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia". **Deliberazione Giunta regionale 4/08/2009, n.43-11965.** "Disposizioni attuative in materia di certificazione energetica degli edifici ai sensi dell'art.21, comma 1, lettere d), e) ed f)". **Deliberazione Giunta regionale 20/10/2009, n.1-12374** "Modifiche ai Paragrafi 3.2, 4.1, 4.2, 4.4 e 5.1. dell'allegato alla Deliberazione della Giunta regionale 4/08/2009, n.43 - 11965 in materia di certificazione energetica degli edifici". **Deliberazione Giunta regionale 19/07/2010, n.11-330** "Modifiche ai Paragrafi 4.3 e 4.4 dell'allegato alla Deliberazione della Giunta regionale 4/08/2009, n.43-11965 in materia di certificazione energetica degli edifici e s.m.i.". **D.D. 1/10/2009 n.446** "Approvazione aspetti metodologici e operativi in materia di certificazione energetica ai sensi della D.G.R. 4/08/2009, n.43-11965 recante disposizioni attuative della L.R. 28/05/2007, n.13 e s.m.i." **Circolare del Presidente della Giunta regionale 25/01/2010, n.1/AMB** "Certificazione energetica degli edifici. Chiarimenti in merito ai requisiti dei certificatori".
Puglia	**Legge regionale 10/06/2008, n.13** "Norme per l'abitare sostenibile". **Legge regionale 30/07/2009, n.14** "Misure straordinarie e urgenti a sostegno dell'attività edilizia e per il miglioramento della qualità del patrimonio edilizio residenziale". **Regolamento regionale 10/02/2010, n.10** "Regolamento per la certificazione energetica degli edifici ai sensi del D.Lgs. 19/08/2005 n.192" - Accreditamento Certificatori Energetici degli Edifici Regione Puglia. Approvazione Linee Guida Procedura Telematica". **Linee Guida per la prima applicazione del Regolamento regionale 10/02/2010, n.10**, recante disposizioni in materia di certificazione energetica degli edifici ai sensi del D.Lgs. 19/08/2005, n.192". **Deliberazione della Giunta regionale 13/04/2010, n.1008** "D.Lgs. 19/08/2005, n.192 "Attuazione della Direttiva 2000/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia". Regolamento per la certificazione energetica degli edifici. Regolamento regionale 10/02/2010, n.10. Corsi di Formazione Professionale. Procedure per l'autorizzazione. Approvazione". **Deliberazione Giunta regionale 4/08/2009, n.1471** "Sistema di valutazione del livello di sostenibilita ambientale degli edifici in attuazione della L.R. «Norme per l'abitare sostenibile»".
Sardegna	**Non vi è alcuna legge quadro regionale.**
Sicilia	**Decreto 3/03/2011** "Disposizioni in materia di certificazione energetica degli edifici nel territorio della Regione siciliana".
Toscana	**Legge 24/02/2005 n.39** "Disposizioni in materia di energia". **Legge regionale 23/11/2009, n.71** "Modifiche alla L.R. 24/02/2005, n.39 (Disposizioni in materia di energia)". **Decreto del Presidente della Giunta regionale 25/02/2010, n.17/R** "Regolamento di attuazione dell'art. 23 sexies della L.R. 24/02/2005, n.39 (Disposizioni in materia di energia) Disciplina della certificazione energetica degli edifici. Attestato di certificazione energetica".
Trento	**Legge 4/03/2008 n.1** "Pianificazione urbanistica e governo del territorio". **Decreto del Presidente della Provincia 13/07/2009, n.11- 13/Leg** "Disposizioni regolamentari in materia di

Regioni e Province autonome	Legislazione
	edilizia sostenibile in attuazione del titolo IV della Legge Provinciale 4/03/2008, n.1 (Pianificazione urbanistica e governo del territorio). **Deliberazione della Giunta provinciale 16/10/2009, n.2446** "Approvazione delle prime misure attuative del Decreto del Presidente della Provincia 13/07/2009, n.11-13/Leg. [Disposizioni regolamentari in materia di edilizia sostenibile in attuazione del titolo IV della Legge Provinciale 4/03/2008, n.1 (Pianificazione urbanistica e governo del territorio)]". **Deliberazione della Giunta provinciale 22/12/2009, n.3110** "Approvazione di ulteriori misure attuative del decreto del Presidente della Provincia 13/07/2009, n.11-13/Leg. recante "Disposizioni regolamentari in materia di edilizia sostenibile in attuazione del titolo IV della Legge Provinciale 4/03/2008, n.1 (Pianificazione urbanistica e governo del territorio)". **Deliberazione della Giunta provinciale 17/06/2010, n.1429** "Applicazione dell'obbligo di certificazione energetica di cui al comma 3 dell'art. 13 delle «Disposizioni regolamentari in materia di edilizia sostenibile in attuazione del titolo IV della Legge Provinciale 4/03/2008, n.1», emanate con Decreto del Presidente della Provincia 13/07/2009, n.11-13/Leg".
Umbria	**Non vi è alcuna legge quadro regionale.** La Regione Umbria prevede la certificazione di sostenibilità ambientale degli edifici, tale certificazione, volontaria, non sostituisce quella energetica ma ne utilizza le risultanze in sede di valutazione delle prestazioni ambientali dell'edificio.
Valle d'Aosta	**Legge 18/04/2008, n.21** "Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia" **Legge 2/03/2010, n.8** "Modificazioni alla legge regionale 18/04/2008, n.21 (Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia)". **Deliberazione Giunta regionale n.3014/2009** "Approvazione delle definizioni integrative, dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e delle prescrizioni previsti, rispettivamente, dagli articoli 2, 6 e 15, commi 1 e 2, della legge regionale 18/04/2008, n.21 (Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia)". **Deliberazione Giunta regionale n.1448/2010** "Approvazione, ai sensi dell'art. 10, comma 1, lettera b, della L.R. 21/2008 e successive modificazioni, delle modalità di riconoscimento dei corsi di formazione utili ai fini dell'accreditamento dei soggetti fisici abilitati al rilascio dell'attestato di certificazione energetica degli edifici". **Deliberazione Giunta regionale n.2236/2010** "Approvazione, ai sensi degli artt. 9, 10 e 11 della L.R. 21/2008 e successive modificazioni, delle modalità di accreditamento di soggetti fisici abilitati al rilascio dell'attestato di certificazione energetica degli edifici e di soggetti ispettori". **Deliberazione Giunta regionale n.3629/2010** "Approvazione di ulteriori definizioni integrative dell'allegato a della D.G.R. 3014/2009, degli indicatori climatici, delle metodologie per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici e relative semplificazioni di cui agli articoli 2, 4 e 7 della L.R. 18/04/2008, n.21 (disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia)". **Deliberazione Giunta regionale n.1062/2011** "Approvazione, con riferimento alla legge regionale 18/04/2008, n.21, degli aspetti relativi alle modalità di funzionamento e gestione del sistema di certificazione energetica regionale".
Veneto	**Non vi è alcuna legge quadro regionale.**

Fig. 17 Quadro legislativo regionale e delle province autonome in tema di certificazione energetica
Fonte CTI (2011), *Attuazione della certificazione energetica degli edifici in Italia. Rapporto 2011*

La disuniformità delle disposizioni contenute nei diversi regolamenti regionali riguarda innanzitutto i criteri di riconoscimento dei soggetti preposti all'emissione dei certificati. Solo alcune regioni hanno imposto la frequenza di appositi corsi di specializzazione ed il superamento di un esame finale, a garanzia del possesso delle competenze necessarie allo svolgimento dell'attività di certificazione. Le altre regioni hanno invece optato per non rendere obbligatorio alcun corso volto a formare dei tecnici esperti. Tale aspetto riveste un'importanza non secondaria: dalla preparazione dei certificatori dipende infatti la validità dei risultati riportati dagli attestati e la loro conseguente capacità di orientare il mercato verso l'effettiva realizzazione di edifici maggiormente performanti.

Le stesse metodologie di calcolo del fabbisogno energetico degli edifici, indice di riferimento per la valutazione della prestazione dell'immobile, non sono ad oggi univoche su tutto il territorio nazionale in quanto sia la Regione Lombardia sia la Provincia autonoma di Bolzano non prevedono l'utilizzo delle specifiche tecniche individuate dalle norme UNI/TS 11300.

Elemento ulteriore di disomogeneità riguarda le metodologie di classificazione degli edifici. In alcune regioni è stato adottato il sistema di classi introdotto dalle Linee guida nazionali mentre nelle altre si è invece optato per l'utilizzo di modelli differenti. Tra di essi, alcuni prevedono una suddivisione dei livelli parametrata sul fattore di forma o sulla zona climatica, similmente alla metodologia nazionale, mentre altri, quale quello riportato a titolo d'esempio in figura, si caratterizzano invece per l'adozione di una scala di intervalli costanti dei valori del fabbisogno energetico, valida per tutte le tipologie di edifici ed indipendente dunque da parametri relativi alla geometria del fabbricato o alle caratteristiche climatiche del luogo in cui lo stesso è sito.

	Fabbisogno in kWh/m^2 a		
	Riscaldamento	Acqua calda sanitaria	Totale
CLASSE A+	≤22	≤ 9	≤ 30
CLASSE A	≤ 22	≤ 18	≤ 40
CLASSE B+	≤ 35	≤ 18	≤ 50
CLASSE B	**≤ 45**	**≤ 18**	**≤ 60**
CLASSE C+	≤ 60	≤ 21	≤ 80
CLASSE C	≤ 100	≤ 21	≤ 120
CLASSE D	≤ 155	≤ 24	≤ 180
CLASSE E	≤ 195	≤ 30	≤ 225
CLASSE F	≤ 230	≤ 36	≤ 270
CLASSE G	> 230	> 36	> 270

Fig. 18 Sistema di classificazione ad intervalli costanti (Provincia autonoma di Trento)
Fonte Allegato A al d.P.P. 13 luglio 2009, n. 11-13/Leg

Il sistema di definizione degli intervalli influisce ovviamente sull'attribuzione della classe: un edificio con indice di prestazione energetica di valore pari a 100 kWh/m^2 anno può dunque essere classificato, ad esempio, in classe C in una regione ed in classe D in un'altra. Tali difformità non giovano ovviamente ad un corretto orientamento del mercato immobiliare, essendo la classe energetica un parametro principalmente introdotto al fine di facilitare una valutazione sintetica e non tecnica dell'immobile da parte degli utenti finali.

La presenza di metodologie di classificazione differenti per i vari contesti locali è ovviamente causa di scarsa trasparenza. È significativo a tal proposito evidenziare come lo stesso sistema di classi flessibili introdotto dallo Stato non rappresenti per alcuni aspetti una soluzione efficace, in quanto premia edifici che, per loro natura, disperdono di più. Come visto infatti nei precedenti paragrafi, la metodologia di classificazione definita dalle Linee guida è parametrata sui valori di soglia limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale riportati dal decreto legislativo 311/2006 (v. Fig. 12, pag. 61), i quali risultano maggiori per gli edifici con rapporti di forma S/V più elevati. Prendendo ad esempio tre edifici in zona climatica con 2400 gradigiorno, caratterizzati da fattori di forma

pari rispettivamente a 0.30, 0.45 e 0.80, interpolando i valori riportati nella tabella del decreto, si ottengono fabbisogni energetici limite (corrispondenti agli indici massimi previsti da una classe C) equivalenti a 57.9 kWh/m^2 anno per l'edificio con S/V uguale a 0.30, 72.4 kWh/m^2 anno per l'edificio con S/V uguale a 0.45 e 110.7 kWh/m^2 anno per quello con S/V uguale a 0.80. L'adozione di tale indice limite quale parametro di definizione degli intervalli rappresentativi delle classi, comporta l'attribuzione della medesima classificazione ad edifici i cui consumi sono significativamente dissimili. In altre parole, qualora due utenti acquistino due edifici con differente rapporto di forma, a parità di classe di efficienza, il consumo energetico specifico dei singoli fabbricati può risultare essere notevolmente diverso.

L'informazione che consegue esclusivamente dalla classe, avulsa dall'indice espresso in termini di chilowattora, è in tal senso ovviamente forviante.

Altre disparità riguardano le modalità di controllo degli attestati di certificazione energetica. Tale aspetto rappresenta indubbiamente uno degli elementi di maggiore criticità. Solamente in quattro regioni, al 2011, sono state avviate attività di controllo sui certificati emessi. Il numero delle verifiche condotte è risultato essere estremamente basso; in aggiunta a ciò si evidenzia il fatto che, nella maggior parte dei casi, le indagini svolte hanno avuto carattere sperimentale e non hanno previsto l'eventuale corresponsione di sanzioni nel caso di attestati contenenti informazioni non veritiere.

Sintetizzando, pur rappresentando la certificazione una valida ed importante occasione per una verifica di dettaglio delle prestazioni dell'edificio, vi sono dei limiti alla possibilità di utilizzo delle informazioni riportate nei certificati ai fini della realizzazione di un quadro conoscitivo estensivo delle prestazioni energetiche in cui versa allo stato di fatto il parco edilizio esistente. Un primo ostacolo, come visto, deriva dalla forte disomogeneità dei metodi procedurali adottati su scala nazionale, contraddistinti, in particolar modo, da differenti modalità di formazione dei soggetti preposti al rilascio dei certificati, differenti livelli di controllo della qualità degli stessi nonché, in alcuni casi, da differenti metodologie di calcolo degli indici di fabbisogno energetico caratterizzanti l'edificio. In aggiunta a ciò, va ricordato come la stima delle prestazioni dell'immobile attraverso certificazione sia legalmente vincolante solo in occasioni ben definite, legate in un certo qual modo alla vita commerciale dell'edificio (costruzione, restauro, cessione a titolo onerosa). Risulta in tal senso difficile immaginare di riuscire a sottoporre in tempi brevi a tale analisi specifica tutti gli edifici attualmente già esistenti.

Infine, non da ultimo, un concreto limite dell'attuale sistema di certificazione riguarda, nel caso di compravendita, la possibilità per il proprietario di autocertificare l'immobile in classe G senza misurarne le effettive prestazioni. Tale disposizione, prevista dalla disciplina nazionale (art. 9, Linee guida), rappresenta di fatto una veloce scappatoia attraverso cui sottrarsi all'obbligo della certificazione. Sebbene le Linee guida abbiano introdotto tale

possibilità esclusivamente in riferimento a quegli specifici edifici caratterizzati da una pessima qualità energetica, in numerosi casi l'opzione dell'autocertificazione viene di fatto favorita anche nell'ambito di compravendite relative ad immobili le cui prestazioni reali sono superiori a quelle presupposte da una classe G. La certificazione degli edifici esistenti viene purtroppo spesso subita quale un atto dovuto e non percepita quale una possibilità di verifica della reale prestazione energetica. La possibilità di autocertificare è stata esclusa solamente da poche regioni.

2.4 Nuove tecnologie e strumenti a supporto dell'informazione per l'edilizia

2.4.1 Tecniche di indagine non invasiva

L'innovazione tecnologica ha consentito lo sviluppo di numerose tecniche strumentali utili ad una valutazione della qualità energetica degli edifici. Diverse fra esse possono essere definite di tipo non invasivo, ovvero eseguibili sull'oggetto in esame senza danneggiarlo e senza comprometterne le funzionalità. Le indagini non invasive specifiche per l'edilizia hanno pertanto il vantaggio di evitare eventuali traumi o dissesti alle strutture e di limitare al minimo i disagi per gli occupanti.

Le analisi volte ad una valutazione a fini energetici delle caratteristiche di un immobile possono interessare anche gli edifici presumibilmente realizzati a regola d'arte, in quanto non immuni a fenomeni di degrado che possono peggiorarne le relative prestazioni, determinati dall'invecchiamento delle strutture o dalla prolungata mancanza di manutenzione.

Il ricorso a prove strumentali dirette a misurare le componenti influenti sulla qualità energetica di un edificio è stato previsto anche dalle Linee guida nazionali per la certificazione energetica, al fine di definire i parametri utili al calcolo del fabbisogno di energia degli edifici medesimi.

Nel presente paragrafo, si riporta una panoramica sintetica di alcune fra le principali tecniche di indagine non invasiva per l'edilizia.

TERMOGRAFIA

L'indagine termografica è finalizzata a compiere una diagnosi rapida e qualitativa delle condizioni energetiche di un edificio. Tale tecnica, rilevando la temperatura superficiale di un oggetto attraverso la misurazione dell'intensità di radiazione infrarossa emessa dallo stesso, applicata a supporto di analisi rivolte a manufatti edilizi consente di esaminare ed individuare velocemente le aree problematiche delle strutture, altrimenti invisibili ad occhio nudo.

L'esecuzione dei rilievi termografici è disciplinata dalla UNI 9252:1988[47], la quale dispone che tale tecnica di indagine venga applicata al fine di evidenziare le irregolarità termiche dell'involucro dell'edificio ma non al fine di misurarne il livello di isolamento e di tenuta all'aria, per la cui definizione sono richieste altre metodologie specifiche di analisi.

Alla base della rilevazione termografica vi è il principio secondo il quale tutti gli oggetti ad una temperatura superiore allo zero assoluto (0°K) emettono radiazioni elettromagnetiche: essendo questa relazione numericamente quantificabile, è possibile,

[47] UNI 9258:1988 Isolamento termico - Rilievo ed analisi delle irregolarità termiche dell'edificio - Metodo della termografia all'infrarosso

attraverso la misurazione della radiazione, calcolare la temperatura dell'oggetto in esame. Nell'intervallo standard di temperature presenti sulla superficie terrestre (da -50°C a +2000°C circa), le lunghezze d'onda emesse dai corpi sono comprese tra gli UV e le microonde. La radiazione emessa dai corpi a temperatura ambiente si colloca nel campo dell'infrarosso; solo oltre gli 800°K i corpi emettono nel campo del visibile. La termografia rileva dunque la radiazione emessa dalla materia in quella banda dello spettro elettromagnetico cui appartengono le lunghezze d'onda comprese all'incirca tra 0,75 e 100 μm ed in particolar modo la fascia tra 2 - 3 e 18 - 19 μm (bande termiche).

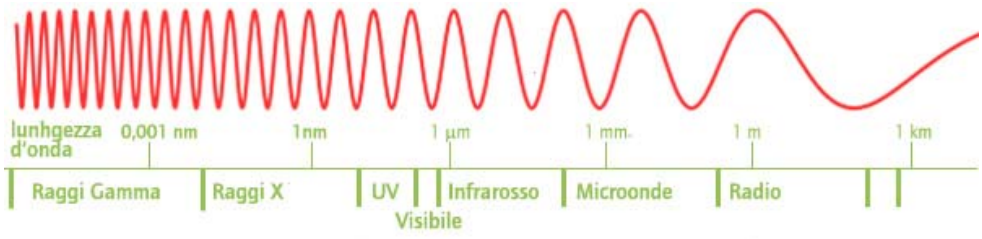


Fig. 19 Schematizzazione dello spettro elettromagnetico

La relazione che lega l'emissione elettromagnetica di un corpo ad una determinata temperatura è definita dall'applicazione ai corpi grigi dell'equazione di *Stefan-Boltzmann* ($E=\varepsilon \sigma T^4$), in base alla quale il potere totale emissivo di un corpo viene calcolato pari a quello di un corpo nero ($E=\sigma T^4$) proporzionalmente al valore di emissività ε propria dell'oggetto di indagine. Il corpo nero è considerato in fisica quale un perfetto assorbitore e radiatore, ovvero capace di assorbire ed emettere, ad una data temperatura e lunghezza d'onda, il maggior quantitativo possibile di energia. L'emissività esprime dunque una misura che si riferisce alla quantità di radiazione elettromagnetica emessa da un oggetto, comparata a quella emessa da un corpo nero perfetto alla stessa lunghezza d'onda e temperatura, rappresentando sostanzialmente la capacità di un materiale di irraggiare energia.

La termocamera è lo strumento che converte in segnale digitale l'energia emessa da un corpo sottoforma di onde elettromagnetiche; l'energia rilevata viene poi rappresentata attraverso un'immagine, definita abbinando ad una scala di temperature una determinata paletta di colori. L'operatore che compie una misurazione termografica deve considerare una serie di parametri che influenzano la radiazione rilevata dalla termocamera i quali riguardano, in particolar modo, l'emissività dell'oggetto di indagine, la temperatura apparente riflessa, la distanza tra l'oggetto e la termocamera e la temperatura atmosferica.

L'utilizzo della termografia nel settore edile rappresenta una realtà consolidata da anni; il rilievo delle temperature superficiali di una struttura aiuta infatti ad inquadrare le principali problematiche ed inefficienze compromettenti la qualità delle caratteristiche energetiche di un edificio.

Nella fattispecie, l'esito di una termografia può evidenziare la presenza di:

- ponti termici
- difetti o carenza dell'isolamento
- dispersioni dalle superfici vetrate o dagli infissi
- infiltrazioni e fuoriuscite di aria
- infiltrazioni d'acqua o umidità

Nell'immagine che segue (Fig. 20) la termografia consente di individuare la presenza di aree contraddistinte da temperature più elevate, evidenziate dai colori giallo/bianco, conseguenza di una fuoriuscita del calore dall'ambiente interno.

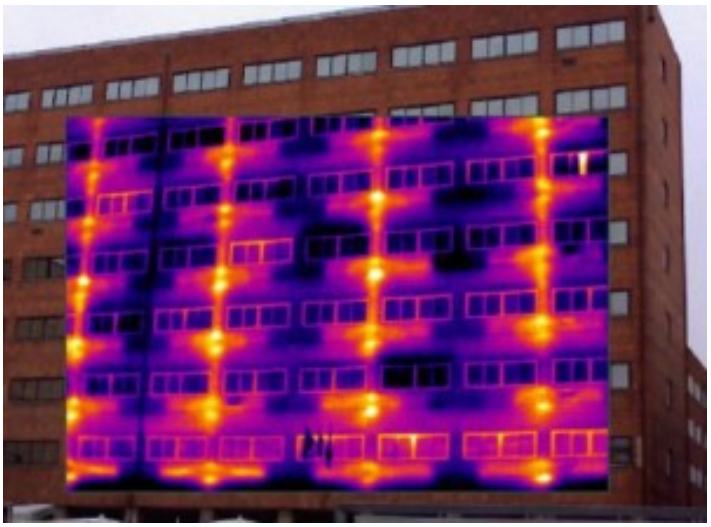


Fig. 20 Termografia: ponti termici in evidenza
Fonte www.legambiente.it

La termografia all'infrarosso è una tecnica nota e consolidata da decenni non solo nel settore dei rilievi da terra, bensì anche in quello delle riprese aeree, con riferimento in particolar modo al monitoraggio del patrimonio edilizio (Fig. 21). Le enormi potenzialità di tale tecnica di rilievo non sono state tuttavia ad oggi totalmente dispiegate, in quanto la sua applicazione pratica si è perlopiù limitata a studi ed indagini di tipo accademico e scientifico. E' mancata, da un lato, l'attenzione ad una ingegnerizzazione spinta dei processi di elaborazione dei dati rilevati tale da dare origine a prodotti aventi caratteristiche metriche e tematiche codificate e riproducibili; dall'altro, si è dovuta scontare l'assenza di un mercato, sia pubblico che privato, in grado di supportare tale tecnologia e di promuovere l'implementazione di procedure di elaborazione dei dati efficienti, la cui messa a punto richiede inevitabilmente un impegno oneroso alle società di rilievo aereo e di elaborazione dati che intendono operare in tale ambito.

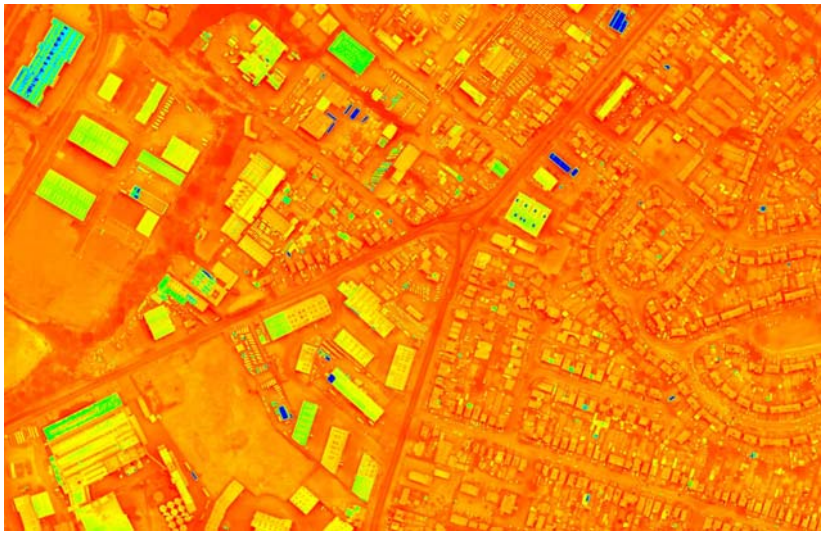


Fig. 21 Termografia aerea della città di Bournemouth - UK (dicembre 2008)
Fonte www.geoinformationgroup.co.uk

Oltre a costituire un valido sistema di indagine non distruttiva, come meglio descritto in seguito la termografia è propedeutica all'analisi termoflussimetrica.

TERMOFLUSSIMETRIA

La termoflussimetria è una tecnica che consente di misurare la trasmittanza (v. glossario) in opera di una struttura. Viene di norma applicata per il rilievo della trasmittanza di pareti verticali.

In sede di calcolo del fabbisogno energetico di un immobile, la trasmittanza di una struttura rappresenta un elemento di fondamentale importanza nonché, al contempo, uno dei parametri più difficili da definire. Per un edificio di nuova costruzione, tale dato è tendenzialmente ricostruibile verificando la qualità e gli spessori dei materiali utilizzati e recuperando le schede tecniche dei medesimi. Più complessa è invece la definizione della trasmittanza delle componenti di un edificio esistente. L'indagine può essere eseguita acquisendo la stratigrafia della parete, attraverso carotaggio o mediante l'uso di abachi relativi alle tipologie edilizie tipiche di una determinata area geografica e di un determinato momento storico, per poi definire il calcolo della trasmittanza in relazione agli spessori ed ai valori di conducibilità termica dei materiali componenti la stratigrafia, secondo quanto disposto dalla norma UNI EN ISO 6946[48]. I risultati così definiti sono tuttavia considerati di media/bassa affidabilità in quanto non rispondono alla condizione reale di comportamento in opera.

[48] UNI EN ISO 6946:2007 Componenti ed elementi per l'edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo

Qualora non risulti possibile eseguire un'operazione di carotaggio o qualora siano necessari valori maggiormente accurati, si ricorre all'utilizzo della termoflussimetria. La strumentazione preposta a tale tecnica è composta da un termoflussimetro a piastra, da una coppia di sensori di misurazione della temperatura superficiale e da sensori di misurazione della temperatura dell'aria, collegati ad un datalogger che memorizza i dati con frequenza temporale programmata (Fig. 22).

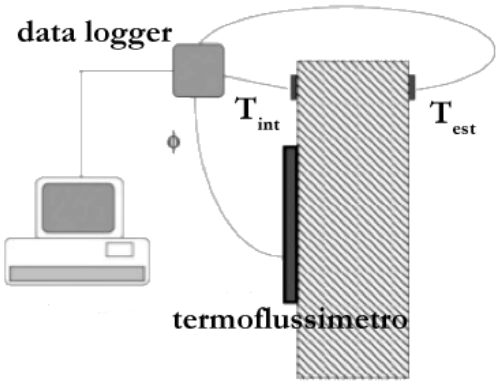


Fig. 22 Schematizzazione indagine termoflussimetrica
Fonte Elaborazione immagine da www.analisitermografica.com

Il termoflussimetro consiste in una termopila, posizionata in genere sulla superficie interna della muratura da analizzare non sottoposta ad irraggiamento solare diretto, la quale determina una tensione proporzionale alla differenza di temperatura che si crea fra le sue due facce, fornendo quindi in uscita una tensione proporzionale al flusso di calore trasmesso. Nelle immediate vicinanze del termoflussimetro va posizionato un sensore per il rilievo della temperatura superficiale della parete, mentre un altro va posizionato contrapposto, allo stesso livello, sulla facciata esterna della stessa. Per una misurazione più precisa, si possono utilizzare più sensori per parete, in maniera tale da poter individuare una temperatura superficiale media significativa. Infine, per misurare la temperatura dell'aria alle due facce opposte della struttura, si utilizzano sensori di rilevazione schermati dalla radiazione diretta, posti alla stessa altezza ed in prossimità degli altri elementi.

La rilevazione del valore di trasmittanza in opera mediante il metodo dei termoflussimetri è riferibile alla norma ISO 9869:1994[49].

La strumentazione deve essere lasciata in posa per un certo lasso di tempo, normalmente almeno 72 ore, variabile in relazione alle condizioni climatiche esterne ed alla differenza di temperatura tra esterno ed interno.

Tale tipo di analisi è eseguita tendenzialmente durante il periodo invernale, ovvero quando si massimizza il gradiente di temperatura sui due lati della parete e di conseguenza aumenta il flusso del calore uscente.

[49] ISO 9869:1994 Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance

È importante che i sensori siano posizionati su una parete effettivamente rappresentativa dell'involucro, evitando prossimità di radiatori, tubazioni, pilastri ecc.. In tal senso, è buona norma che la rilevazione termoflussimetrica sia successiva allo svolgimento di una ripresa termografica preventiva, utile ad individuare anomalie e disomogeneità e ad evitare così errori grossolani.

TEST BLOWER DOOR

Il Blower door test rappresenta una tecnica di misura attraverso la quale è possibile valutare il grado di ermeticità di un edificio. La tenuta all'aria di una struttura rappresenta un parametro che ne influenza le relative prestazioni energetiche; la permeabilità dell'involucro edilizio è causa infatti di infiltrazioni e fuoriuscite d'aria, cui corrispondono carichi termici che devono essere compensati attraverso l'impianto di climatizzazione.

I punti deboli della tenuta all'aria di un edificio si riscontrano di norma laddove la struttura edile impermeabile può essere perforata o generalmente interrotta. Tra di essi rientrano le chiusure tra muro perimetrale, tramezze, tetti e solai; i vani in cui sono collocate le porte e le finestre; gli accessi a zone termicamente non isolate o non riscaldate, quali soffitte o cantine.

L'esecuzione di tale test è utile in tal senso a valutare il comportamento termico degli edifici, soprattutto qualora si vogliano raggiungere elevate prestazioni in sede di nuova costruzione.

Il Blower door è costituito da un ventilatore che aspira o immette aria all'interno dell'edificio, ponendo l'involucro edilizio in depressione o in sovrappressione rispetto all'esterno (Fig. 23). Il ventilatore viene installato in corrispondenza di una porta o di una finestra esterna che divide la zona climatizzata dall'ambiente circostante e regolato in maniera tale da generare una prestabilita differenza di pressione, in positivo o in negativo, tra l'interno e l'esterno.

Fig. 23 Blower door
Fonte www.eurotherm.info

La differenza di pressione generata tra interno ed esterno determina un flusso d'aria che compensa le perdite, o i guadagni (Fig. 24). Al ventilatore sono collegati appositi strumenti che consentono di misurarne l'intensità.

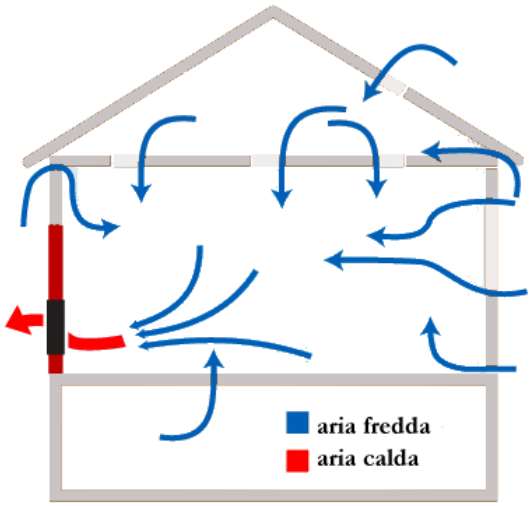


Fig. 24 Blower door in esecuzione e flussi di aria fredda in entrata

L'esecuzione del Blower door test si articola in fasi distinte. Durante la prima fase l'involucro edilizio viene ispezionato per verificare i punti non ermetici che determinano le principali infiltrazioni d'aria e di conseguenza le maggiori perdite di calore; per fare questo viene creata e mantenuta una differenza di pressione tra interno ed esterno di 50 Pascal. Nella fase successiva viene generata una depressione decrescente: a partire da valori di circa 70 Pa, si prosegue ad intervalli di 5 Pa fino a raggiungere una differenza di 25 Pa. Ad ogni step vengono registrate le portate d'aria estratte e definito in ultimo un indice relativo alla quantità d'aria penetrata in un'ora a 50 Pa. Nella terza fase viene creata una sovrappressione, ripetendo la sequenza di cui alla fase precedente, per valutare anche le dispersioni dovute alle guarnizioni.

Il risultato finale fornito dal test individua il numero di ricambi orari del volume d'aria interna che si ha attraverso le fessure dell'involucro per una differenza di pressione di 50 Pa. Ad esempio, un valore di 4 volumi orari significa che, con una differenza di pressione di 50 Pa, il volume d'aria dell'edificio viene cambiato 4 volte in un'ora. In generale, in un edificio tradizionale si rileva un numero orario di ricambi di volumi d'aria pari a 3, per le case passive tale valore è invece inferiore a 0.6.

La norma di riferimento per effettuare le prove con il Blower door test è la UNI EN 13829:2002[50], la quale definisce un metodo di misurazione della permeabilità all'aria di edifici o di parti di essi.

L'utilizzo del test Blower door può risultare particolarmente vantaggioso in sede di realizzazione di un nuovo edificio, in quanto garantisce ad opere terminate l'ermeticità richiesta, evitando la necessità di un intervento a posteriori.

2.4.2 Sistemi smart metering

Col concetto di smart metering si fa riferimento a delle soluzioni di misurazione intelligente dei consumi energetici. In modo riduttivo, i contatori intelligenti o smart meter possono essere descritti quali strumenti capaci di leggere in maniera automatica i consumi rilevati nonché di consentire la gestione da remoto, attraverso i fornitori e le utilities, dell'erogazione di energia.

Le funzioni principali dei contatori intelligenti riguardano innanzitutto:

- la telelettura, ovvero la possibilità da parte dei provider, ma non solo, di leggere da remoto il valore dell'ammontare dei consumi; sino ad oggi l'operazione di lettura è stata affidata ai singoli consumatori o ai tecnici incaricati delle utilities, i quali trascrivevano su carta, in tempi e modi diversi, i dati rilevati dai contatori, commettendo inevitabilmente numerosissimi errori: la possibilità di ovviare a tale operazione consente alle utilities di ottenere una riduzione dei costi, non dovendo più inviare i soggetti incaricati casa per casa, garantendo contemporaneamente dei vantaggi per gli utenti, i quali possono essere certi di ricevere fatture basate su consumi effettivi e non su previsioni stimate;
- la telegestione, ossia la possibilità di svolgere da remoto moltissimi servizi dell'utility, quali l'attacco o il distacco dalla rete;
- il monitoraggio dei consumi da parte degli utenti: costoro potranno infatti accedere, tramite specifiche postazioni, siti web dedicati o applicazioni mobili, ad informazioni relative all'andamento in tempo reale dei consumi, al consumo medio settimanale o mensile, alla presenza di picchi di consumo o di sprechi di energia causati, ad esempio, da apparecchi in modalità standby.

La diffusione degli smart meter può avere importanti ripercussioni in termini di promozione di un maggiore livello di tutela ambientale: gli utenti, disponendo di informazioni aggiornate e dettagliate in merito al funzionamento degli impianti e degli

[50] UNI EN 13829:2002 Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore

apparecchi che assorbono energia, sono infatti in grado di poter modificare i propri comportamenti, razionalizzando i consumi e riducendo i costi.

Nel 2006, l'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) ha reso obbligatoria, per tutti i distributori di elettricità operanti sul territorio nazionale, l'installazione dei nuovi contatori elettronici di energia elettrica presso le famiglie e le piccole imprese (delibera AEEG 292/06). Nello specifico, le disposizioni dell'AEEG avevano previsto che entro il 2008 la diffusione dei contatori intelligenti dovesse essere garantita ad almeno il 25% dei consumatori, entro il 2009 al 65%, entro il 2010 al 90% ed infine entro il 2011 al 95% delle utenze.

Il rispetto di tali disposizioni ha reso l'Italia uno dei primi paesi al mondo per diffusione dei contatori elettronici intelligenti per l'energia elettrica; nella fattispecie, Enel Distribuzione ne ha ad oggi installati circa 37·000·000 (di cui 32 milioni sulla propria rete)[51]. I nuovi contatori Enel (Fig. 25) sono composti da un sistema integrato che ingloba, oltre alle funzioni di misura, un display per l'accesso in tempo reale alle informazioni relative ai consumi ed un dispositivo per la gestione da remoto della connessione e disconnessione della fornitura.

Il contatore consente dunque di conoscere in ogni momento il quantitativo di energia consumata e la potenza effettiva assorbita dagli apparecchi. Qualora il cliente possieda un impianto proprio di produzione di energia elettrica, quale ad esempio un impianto a pannelli fotovoltaici, il contatore permette inoltre di conoscere sia l'energia prelevata, sia quella generata ed immessa in rete.

Fig. 25 Contatori elettronici Enel
Fonte www.enel.it

[51] www.enel.it

Mentre il processo di installazione fisica dei nuovi contatori è stato relativamente veloce, più lento è stato invece quello di attivazione delle funzioni di telelettura e telegestione, il quale ha necessitato della costituzione di un'adeguata struttura informatica in grado di supportare la complessità di tali operazioni: la frequenza di rilievo del dato di consumo è stata infatti aumentata in maniera esponenziale rispetto a quanto accadeva precedentemente allo sviluppo di tale tecnologia (i consumi venivano letti con cadenza grossomodo bimensile).

Per quanto riguarda i contatori gas intelligenti, attraverso delibera dell'AEEG (delibera 155/2008) è stato stabilito che entro il 2012 gli smart meter gas dovranno essere impiantati in tutte le utenze non residenziali ed entro il 2016 almeno nell'80% di quelle private. Il principale scoglio ad una rapida diffusione dello smart meter nel mercato del gas è rappresentato dall'alimentazione: mentre il contatore intelligente elettrico è ovviamente collegato alla rete, quello del gas deve essere alimentato con una batteria in grado di durare nel tempo e capace di resistere agli sbalzi di temperatura tra estate ed inverno.

La diffusione degli smart meter è un presupposto fondamentale per la realizzazione e l'avvento delle smart grid (Fig. 26), ovvero per il passaggio da un sistema di distribuzione di energia di tipo monodirezionale ad uno pluridirezionale in cui l'utente diviene un vero e proprio soggetto attivo del sistema, consumatore e contemporaneamente libero produttore di energia da immettere nella rete.

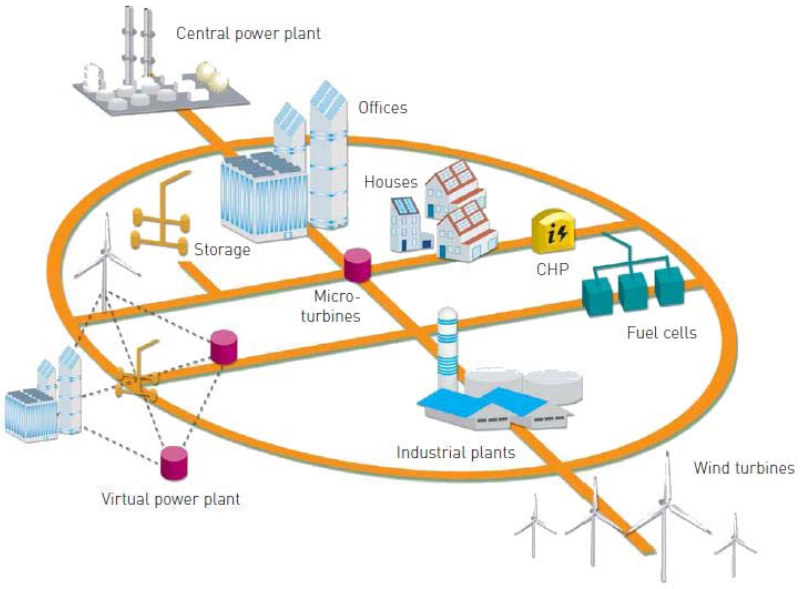


Fig. 26 Smart grid
Fonte www.smartgrids.eu

Con l'ampliarsi anche in ambito domestico della generazione distribuita di energia prodotta da fonti rinnovabili (fotovoltaico, eolico, termico, ecc.) si fa spazio una rete di produzione aggiuntiva che dovrà andare ad integrarsi con quella tradizionale. Ciò sarà possibile grazie alla strutturazione di una rete capillare, composta da dispositivi intelligenti e sistemi altamente distribuiti e cooperanti, capace di trasportare da un operatore all'altro energia, informazione, controllo. La smart grid dovrà saper integrare le azioni di tutti gli utenti connessi (consumatori e produttori) al fine di distribuire energia in modo efficiente, sostenibile, economicamente vantaggioso e sicuro. In questa maniera viene dunque superata la visione classica di rete elettrica, intesa quale sistema di distribuzione in cui l'energia viene trasportata in una sola direzione, da poche grandi centrali di generazione a tanti piccoli punti di consumo dislocati presso gli utenti finali.

Bibliografia e Sitografia

Bazzini G., Cellai G., Gai M. (2007), *Le prestazioni energetiche degli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN)

Bellicini L. per CRESME ricerche, *Le costruzioni al 2010*, Centro Ricerche Economiche e Sociali di Mercato per l'Edilizia e il territorio, Roma

Cannaviello M., Violano A. (2007), *La certificazione energetica degli edifici esistenti : leggi e norme di riferimento, metodologie, strumenti e modelli di calcolo, casi esemplificativi*, Franco Angeli Editore, Milano

Castiglione C. (2008), *Il Blower door Test* in *Casa Energia*, n. 2, pp. 114 - 115

Censis (1984), *Lo shock edilizio. Dal grande boom agli anni della crisi*, Franco Angeli Editore, Milano

Corso per certificatori energetici della Provincia Autonoma di Trento (2011), *Materiale didattico*

CRESME Ricerche, Legambiente (2010), *Rapporto ONRE sui regolamenti edilizi comunali*

CTI (2001), *Attuazione della certificazione energetica degli edifici in Italia. Rapporto 2001*, Primo Forum nazionale sulla certificazione energetica

Donghi C. (2009), *La classificazione energetica degli edifici: le modalità, la strumentazione e il ruolo del certificatore* in *Il giornale delle Prove non distruttive Monitoraggio Diagnostica*, n. 1, pp. 20 - 26

Enea, CRESME ricerche (2010), *Analisi sull'impatto socio economico delle detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2007), *Dall'ecobuilding al distretto energetico*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2007), *Rapporto Energia e Ambiente 2006. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2008), *Rapporto Energia e Ambiente 2007. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2009), *Rapporto Energia e Ambiente 2008. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2010), *Rapporto Energia e Ambiente 2009. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

FLIR QuikReport (2009), *Manuale dell'utente*

Istat (2001), *14° Censimento della popolazione e delle abitazioni*

Istat (2010), *L'abitazione delle famiglie residenti in Italia. Anno 2008*, Statistiche in breve, Roma

Lanteschner N. (2007), *CasaClima. Vivere nel più*, Raetia Edition, Bolzano

Lanteschner N. Bancher M., Erlacher R., Klammsteiner N. (2009), *La mia CasaClima. Progettare,costruire, e abitare nel segno della sostenibilità,* Raetia Edition, Bolzano

Norma UNI/TS 11300-1 *Prestazioni energetiche degli edifici - parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*

Norma UNI/TS 11300-1 *Prestazioni energetiche degli edifici - parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*

Peron F., Romagnoni P., Vio M. (2004), *Elementi di fisica tecnica ambientale*, CEDAM, Padova

Settis S. (2010), *Paesaggio Costituzione Cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi editore, Torino

Tonelli R., Albatici A. (2007), *Verifica sperimentale in situ, con analisi termografiche e algoritmi di calcolo, della trasmittanza di un elemento costruttivo*, Annali Museo Civico Rovereto (TN)

WWF Italia (2009), *2009 l'anno del cemento. Dossier sul consumo del suolo in Italia*, WWF Italia, Roma

Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 *sul rendimento energetico nell'edilizia* (G.U. delle Comunità europee del 04/01/2003)

Direttiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 aprile 2006 *concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici* (G.U. dell'Unione Europea del 27/04/2006)

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 *sul rendimento energetico nell'edilizia (rifusione)* (G.U. dell'Unione Europea del 18/06/2010)

Legge ordinaria del Parlamento 30 aprile 1976, n. 373 *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici* (G.U. n. 148 del 07/06/1976)

Legge ordinaria del Parlamento 9 gennaio 1991, 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* (G.U. n. 13 del 16/01/1991)

Decreto del Presidente della Repubblica 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 Legge 9 gennaio 1991, n. 10* (G.U. n. 242 del 14/10/1993)

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 *Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia* (G.U. n. 222 del 23/09/2005)

Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192* (G.U. n. 26 del 01/02/2007)

Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b) del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192* (G.U. n. 132 del 10/06/2009)

Decreto Ministeriale 26 giugno 2009 *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici* (G.U. n. 158 del 10/07/2009)

Ministero dello sviluppo economico (2007), *Piano d'Azione Italiano per l'Efficienza Energetica. Sintesi*

Commissione delle Comunità Europee, Comunicazione della Commissione del 19 ottobre 2006, *Piano d'Azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità*, COM(2006)545

Risoluzione del Parlamento europeo su un *Piano d'Azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità* del 31 gennaio 2008 (G.U. delle Comunità Europee del 21/03/2009)

Dipartimento per l'Energia, Ministero dello Sviluppo Economico, *Bilancio energetico nazionale 2009*

www.efficienzaenergetica.enea.it/generazione-distribuita/tecnologie/

www.enea.it

www.enel.it

www.energia24club.it

www.geoinformationgroup.co.uk

www.ilsole24ore.com

www.legambiente.it

www.smartgrids.eu

3 PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE ENERGETICA A SCALA LOCALE

Le azioni dirette ad una razionalizzazione dei consumi energetici, volte, in linea generale, a promuovere uno sviluppo sostenibile del territorio, necessitano di essere pianificate e messe in atto attraverso un approccio multilivello, articolato in politiche ed obiettivi globali e strategie di intervento locali.

Nel corso degli ultimi decenni, accanto ad un progressivo interesse maturato su scala mondiale nei confronti delle problematiche di tipo energetico/ambientale, si sono parallelamente sempre più ricercate soluzioni capaci di coinvolgere anche la sfera locale. La politica energetica, governata fino ad una ventina di anni fa in maniera preponderante dalla pianificazione nazionale, si è di fatto evoluta in conseguenza di un nuovo approccio nei confronti dei problemi connessi all'energia ed all'ambiente, che ha condotto ad una crescita e ad una valorizzazione progressiva del ruolo, delle funzioni e delle competenze attribuite alle autonomie locali. In numerosi contesti territoriali sono stati elaborati piani specifici diretti a restituire un'analisi di dettaglio della struttura energetica del relativo ambito locale, volti a garantire, coerentemente con gli obiettivi e gli impegni definiti ed assunti in ambito nazionale e sovranazionale, una programmazione nel medio e lungo periodo degli interventi da realizzare per gestire la domanda e pianificare l'offerta di energia. La pianificazione energetica definita su scala regionale e locale, intesa quale processo di ottimizzazione delle componenti del sistema energetico capace di tener conto delle diverse specifiche economiche e sociali che caratterizzano il territorio alla quale la stessa è rivolta, ha assunto di conseguenza un sempre maggiore rilievo.

3.1 Il nuovo ruolo degli enti locali

Uno dei capisaldi normativi del progressivo processo di decentramento della gestione del sistema energetico è stata la legge 10/91 (cfr. paragrafo 2.2.1), attraverso la quale sono state attribuite competenze specifiche alle regioni, alle province ed ai comuni. I contenuti di tale legge, oltre a regolamentare elementi specifici della progettazione a scala architettonica allo scopo di contenere i consumi nel contesto edile, così come già visto nel precedente capitolo, hanno riguardato in senso più ampio anche la pianificazione energetica strutturata su scala locale. Regioni e comuni sono stati infatti chiamati a dotarsi di strumenti di analisi e programmazione, finalizzati a garantire una corretta pianificazione a fini energetici nello sviluppo del territorio di propria competenza.

Un ulteriore passo in tale direzione è stato compiuto con l'entrata in vigore del decreto legislativo 112/98[52], il quale ha previsto che lo stato conservasse la propria competenza relativamente alla definizione di obiettivi e programmi nazionali in materia di fonti rinnovabili e di risparmio energetico, trasferendo però a regioni ed enti locali specifiche funzioni amministrative e di controllo. Di seguito, con la legge costituzionale 3/2001[53], sono state ulteriormente estese le competenze regionali a tutte le fasi degli usi energetici finali, ovvero è stata devoluta alle regioni la potestà legislativa in materia di produzione, trasporto e distribuzione dell'energia.

In linea generale, gli obiettivi dei piani energetici, indipendentemente dalla scala di dettaglio in cui essi sono redatti e dal contesto territoriale al quale sono riferiti, sono relativi al conseguimento nel corso un determinato arco temporale di una riduzione dei consumi energetici e di una maggiore integrazione delle fonti di tipo rinnovabile, rispetto ad una specifica e definita condizione di partenza. Le azioni proposte nei piani sono dunque volte a garantire la sicurezza dell'approvvigionamento energetico nonché, in particolar modo nell'era post Kyōto, a contenere i fenomeni di inquinamento ambientale derivanti dall'emissione dei gas ad effetto serra.

L'analisi dello stato di fatto elaborata nel contesto di piano, prevede in genere la definizione di un bilancio energetico strutturato in *offerta* e *domanda* di energia ed espresso solitamente in termini di tep (tonnellate di petrolio equivalente). Di norma, sul versante offerta si considera la quota di energia prodotta, importata ed esportata nel territorio di riferimento, mentre per quanto riguarda la domanda si valutano i consumi suddivisi per fonti e vettori energetici e per macrosettore di attività (comunemente usi civili, trasporti, industria, agricoltura). La contabilizzazione dei consumi viene poi integrata da una contabilizzazione delle emissioni inquinanti e climalteranti ad essi associate (Fig. 27).

[52] Decreto Legislativo 31 marzo 1998, n. 112 "*Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59*", (G.U. n. 92 del 21/04/1998)

[53] Legge Costituzionale 18 ottobre 2001, n. 3 *"Modifiche al titolo V della parte seconda della Costituzione"*, (G.U. n. 248 del 24/10/2001)

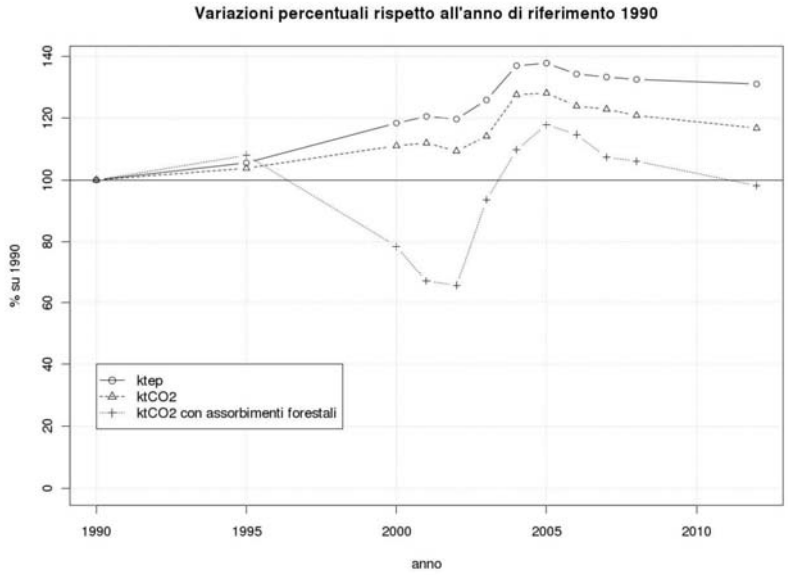


Fig. 27 Andamento dei consumi energetici (ktep) e delle emissioni di CO_2 (kt CO_2) nell'ambito dell'aggiornamento al Piano Energetico Ambientale della Provincia autonoma di Trento
Fontehttp://www.energia.provincia.tn.it/binary/pat_agenzia_energia/piani_programmi/oePEAP_aggiornato.1279185172.pdf

Per quanto riguarda nello specifico la pianificazione a scala regionale, la legge 10 aveva disposto l'identificazione da parte delle regioni e delle province autonome, d'intesa con ENEA, di specifici bacini energetici territoriali, ovverosia di "*bacini che in relazione alle caratteristiche, alle dimensioni, alle esigenze di utenza, alla disponibilità di fonti rinnovabili di energia, al risparmio energetico realizzabile e alla preesistenza di altri vettori energetici, costituiscono le aree più idonee ai fini della fattibilità degli interventi di uso razionale dell'energia e di utilizzo delle fonti rinnovabili di energia*"[54]. In caso di mancato adempimento entro il termine stabilito, la legge stabiliva il subentro dell'allora Ministero dell'Industria, che, su proposta di ENEA, avrebbe provveduto con proprio decreto; tale eventualità, nonostante gli ampi ritardi dell'iniziativa regionale, non si è tuttavia mai verificata. In diverse situazioni, la zonizzazione del territorio in aree omogenee per peculiarità energetiche è comunque avvenuta nel contesto di pianificazione a scala provinciale: numerose province, talvolta a seguito di specifiche leggi regionali ma spesso su iniziativa autonoma dell'ente, hanno infatti elaborato ed adottato un proprio specifico Piano Energetico Ambientale Provinciale (PEAP). La figura che segue, relativa al PEAP di Bologna, individua la ripartizione del territorio provinciale in quattro aree omogenee per caratteristiche energetiche, geomorfologiche, insediative e produttive per le quali il piano prevede specifici orientamenti relativamente alle azioni ed agli interventi di riqualificazione energetica.

[54] Legge 10/1991, articolo 5, comma 1

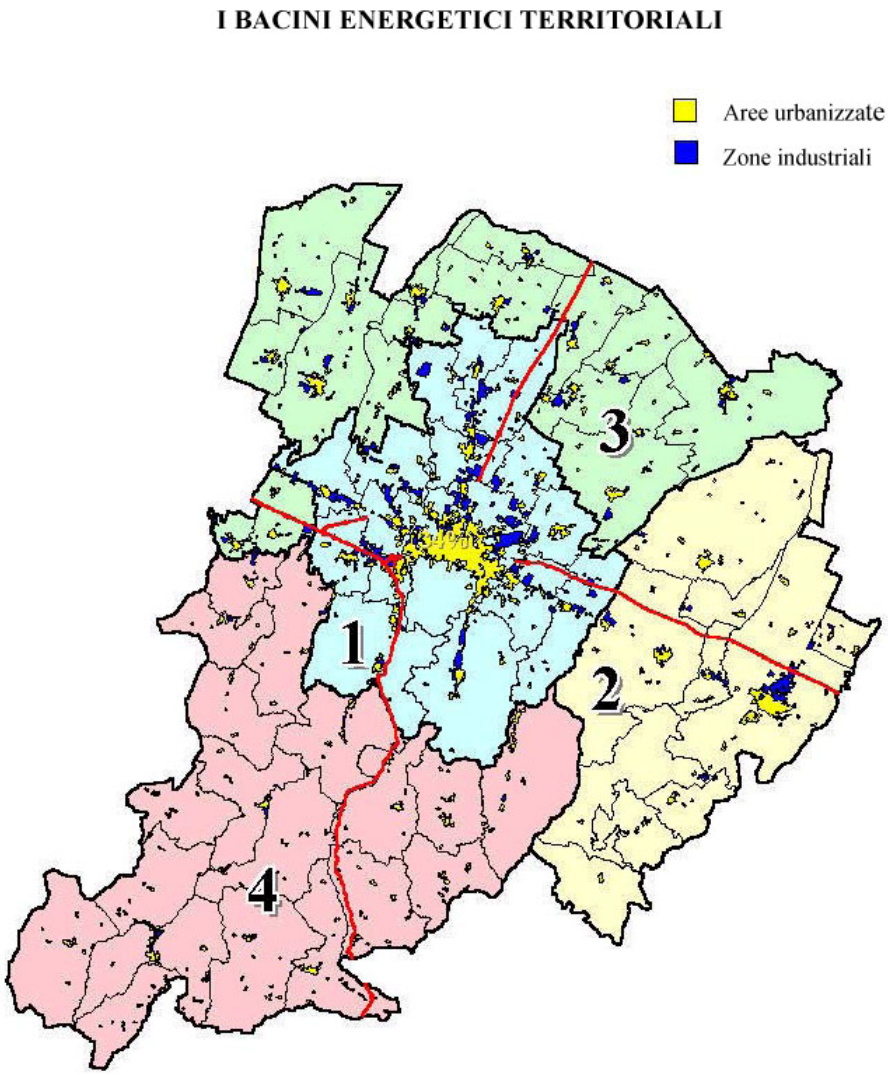


Fig. 28 Piano Energetico Ambientale della Provincia di Bologna
Fontehttp://www.provincia.bologna.it/ambiente/Engine/RAServeFile.php/f/Piani_Documenti/peap_rapporto_sintesi.pdf

L'indagine conoscitiva e l'elaborazione delle informazioni disponibili definiscono la base sulla quale strutturare linee d'azione successive. L'analisi delle condizioni di partenza è cioè seguita dalla definizione degli scenari energetici futuri, degli obiettivi da realizzare e degli interventi necessari da mettere in atto. Generalmente, si individua uno scenario *business as usual,* che stima il bilancio energetico e le emissioni in un periodo a Δt anni sulla base di previsioni relative all'evoluzione dei parametri strettamente connessi all'andamento dell'offerta e della domanda di energia quali, ad esempio, lo sviluppo della popolazione insediata o le prospettive di realizzazione di nuovi volumi edificati. Accanto a tale scenario tendenziale se ne individuano di migliorativi, ovvero si identificano delle possibilità di

sviluppo alternative, caratterizzate da un contenimento dei consumi energetici e delle emissioni associate. Al fine di attuare le strategie prospettate, il piano deve definire le azioni, gli interventi e gli strumenti, ritenuti ragionevolmente praticabili, necessari al conseguimento dei target di riduzione previsti.

È importante infine che lo strumento di programmazione energetica non si configuri quale un documento rigido bensì si caratterizzi per l'essere facilmente aggiornabile ed integrabile, sia nei contenuti che nella metodologia.

3.2 Il Piano Energetico Ambientale Comunale

Il processo di decentramento territoriale del sistema di pianificazione energetica, ha portato nei contesti urbani ad una crescita progressiva dell'attenzione rivolta alla tematica integrata energia/ambiente.

Le città sono all'origine di gran parte degli attuali problemi ambientali: esse consumano due terzi dell'energia fossile mondiale e causano circa il 70% delle emissioni inquinanti, tuttavia, così come ha ricordato anche il famoso economista Nicholas Stern, sono anche "il punto da cui è più ovvio partire": lì si concentrano infatti la maggior parte della popolazione mondiale e della domanda di energia e lì si possono realizzare gli interventi più efficaci in materia di efficienza nelle imprese, nelle costruzioni, nei trasporti (Legambiente, 2011). È in queste aree che occorre dunque concentrare gli sforzi per migliorare i livelli di tutela ambientale e garantire la gestione ottimale delle componenti del sistema energetico.

Nel contesto di tale scenario di riferimento hanno di conseguenza assunto un'estrema rilevanza il ruolo delle città e le competenze attribuite ai comuni: mobilità a basse emissioni, tecniche edilizie eco-compatibili, produzione di energia da fonti rinnovabili o con impianti ad alto rendimento, contenimento del consumo di suolo …, sono solo alcuni degli esempi attraverso cui una buona amministrazione può fare la differenza.

L'impulso dato dalle amministrazioni locali alla promozione di uno sviluppo sostenibile, può avvenire secondo procedure diverse. Tra di esse, assieme alla predisposizione di strumenti obbligatori ai sensi di legge atti a garantire una corretta gestione delle risorse energetiche sul territorio di propria competenza (Piani Energetici Comunali), rientrano anche le forme di adesione volontaria a progetti finalizzati al miglioramento dei livelli di eco-compatibilità delle città, tra cui, a titolo d'esempio, l'iniziativa *Covenant of Mayor* (Patto dei Sindaci).

Così come introdotto nei precedenti paragrafi, la legge 10 ha segnato una tappa importante nel processo di gestione energetica delle città. Per la prima volta sono state infatti definite le competenze delle amministrazioni locali in materia di pianificazione energetica ed è stata riconosciuta la necessità di valutare ad un livello di dettaglio più approfondito le caratteristiche dei diversi sistemi energetici territoriali, favorendo l'attivazione di iniziative dal basso, elaborate anche a scala comunale.

L'articolo 5 della suddetta legge ha disposto che i piani regolatori dei comuni con popolazione superiore ai 50·000 abitanti debbano prevedere un piano specifico, a livello territoriale appunto comunale, relativo all'uso delle fonti rinnovabili di energia. Differentemente da quanto previsto per il piano energetico regionale, per il quale la legge

ha riportato indicazioni precise relativamente a struttura e contenuti, per il piano a scala urbana non sono state invece fornite ulteriori specificazioni a riguardo[55].

Il vuoto metodologico generato dalla mancata definizione di dettagli utili alla redazione dei piani energetici comunali è stato di seguito colmato delle esperienze applicative messe in atto, attraverso le quali l'orientamento iniziale relativo alle sole energie rinnovabili è stato ampliato passando quasi subito a comprendere tutte le fonti energetiche (De Pascali, 2008). A tal proposito, occorre tuttavia ricordare come la legge 10 introducesse il concetto di fonti di energia *assimilate* alle rinnovabili, tra le quali si annoveravano anche le forme di energia recuperabili in processi, impianti e prodotti compresi i risparmi di energia conseguibili nella climatizzazione e nell'illuminazione degli edifici con interventi sull'involucro edilizio e sugli impianti. L'indirizzo iniziale, limitato alle sole energie rinnovabili, veniva dunque ampliato sin da principio fino a comprendere tutte le fonti energetiche, conferendo così allo strumento natura e denominazione di Piano Energetico Comunale PEC (De Pascali, 2008). Con la progressiva maturazione del riconoscimento della forte valenza ambientale che caratterizza gli usi energetici ed in particolare a seguito del Protocollo di Torino del 2001, atto di intesa per il coordinamento delle politiche finalizzate alla riduzione delle emissioni dei gas serra, l'elaborazione dei piani energetici è stata rilanciata, anche a livello urbano, nella predisposizione dei piani energetici ed *ambientali.*

3.2.1 Il contesto attuale

Nonostante negli ultimi anni lo strumento del piano energetico comunale abbia acquisito una crescente importanza in seno al progressivo processo di decentramento delle competenze in materia ambientale, i dati sullo stato di attuazione dei piani per l'energia denunciano in numerosi casi un bilancio negativo riguardo alle azioni ed alle politiche attivate dagli enti locali a favore di uno sviluppo sostenibile.

Uno studio condotto da Legautonomie nel 2009[56] denuncia che il Piano Energetico Comunale è stato adottato esclusivamente da 25 amministrazioni, a fronte dei ben 174 comuni interessati dall'obbligo di legge di redigerlo. A tali amministrazioni virtuose, sempre secondo lo studio di Legautonomie, se ne aggiungono altre cinque che lo hanno approvato pur non essendovi obbligate, in quanto caratterizzate da una popolazione residente non superiore alle 50·000 unità[57].

---

[55] Il comma 5 dell'articolo 5 della Legge 10/1991 dispone generalmente che "*I piani regolatori generali di cui alla legge 17 agosto 1942, n. 1150, e successive modificazioni e integrazioni, dei comuni con popolazione superiore a cinquantamila abitanti, devono prevedere uno specifico piano a livello comunale relativo all'uso delle fonti rinnovabili di energia".*

[56] Legautonomie (2009), *Indagine Legautonomie sulle politiche energetiche dei comuni. Il piano energetico* http://www.legautonomie.it/Documenti/Ricerche/Indagine-sulle-politiche-energetiche-dei-comuni.-Il-piano-energetico

[57] Biella, Collesalvetti (Fi), Lecco, Melegnano (Mi), Mirandola (Mo)

Risultati analoghi erano già stati anticipati in uno studio condotto nel 2004 da D. Gaudioso e R. Pignatelli[58]: su 137 comuni obbligati alla redazione del piano solo poco più del 25% risultava essere adempiente. Di seguito, anche l'Istat[59] ha segnalato un cospicuo numero di amministrazioni inottemperanti, rilevando, in un'indagine condotta nel 2009 sui comuni capoluogo di provincia, che il PEC risulta essere approvato solamente da 43 degli 89 comuni capoluogo tenuti a redigerlo.

In base allo studio di Legautonomie, la maggior parte dei comuni che ha approvato il piano energetico si trova nel nord del paese (evidenza confermata anche nell'indagine Istat). In buona parte dei casi, i piani sono risultati essere poco operativi, ovverosia contraddistinti dalla previsione di azioni a carattere generale, di seguito non tradotte in concretizzazioni effettive.

Tale studio ha esaminato ulteriori caratteristiche dei piani, tra le quali la tipologia di incentivi previsti, l'orientamento degli interventi, l'attivazione eventuale di processi partecipativi. Se ne riporta un estratto nella tabella seguente.

	Sì
E' stato attivato un processo di partecipazione dei cittadini?	73%
Le azioni predisposte nel Piano Energetico sono in via di attuazione?	70%
Sono stati effettuati interventi specifici con l'obiettivo, diretto o indiretto, di ridurre le emissioni dei gas di serra?	47%
Sono stati introdotti incentivi di tipo fiscale proposti dall'amministrazione comunale per le fonti rinnovabili o per la bioarchitettura?	27%
E' stato istituito un servizio o un'agenzia espressamente dedicata all'attuazione dei piani/programmi/azioni in campo energetico e con risorse proprie?	27%
Sono stati contabilizzati i consumi energetici del territorio?	53%
Esiste una serie storica del bilancio energetico del territorio?	43%
Esiste o si prevede un aggiornamento periodico del bilancio energetico?	37%
Esiste una contabilizzazione delle emissioni di gas di serra associate agli usi energetici?	23%

Tab. 3 Indagine Legautonomie: risposte dei comuni con PEC approvato
Fonte http://www.legautonomie.it/Documenti/Ricerche/Indagine-sulle-politiche-energetiche-dei-comuni.-Il-piano-energetico

3.2.2 Articolazione e disaggregazione dei dati conoscitivi

I contenuti del piano energetico urbano sono collocabili a cavallo di almeno due grandi ambiti disciplinari (De Pascali, 2008): le materie inerenti la fisica e tecnologia degli usi

[58] D. Gaudioso, R. Pignatelli, *La pianificazione energetico-ambientale a livello locale nelle principali città italiane* http://www.areeurbane.apat.it/site/_files/rapporto/cap/pianificazione.pdf

[59] Istat (2010), *Indicatori ambientali urbani. Anno 2009*

energetici allargata agli effetti ambientali ed economici e le tematiche inerenti l'assetto del territorio. Il piano si pone cioè quale strumento di connessione ed integrazione tra la *programmazione energetica* per uno sviluppo sostenibile e le strategie di *pianificazione e programmazione territoriale ed urbanistica* locali.

In via generale, come già visto nei precedenti paragrafi, le scelte energetiche adottate nei piani sono finalizzate all'uso razionale dell'energia e delle fonti rinnovabili e, parallelamente, al controllo degli effetti degli usi energetici sull'ambiente naturale ed umanizzato.

La metodologia operativa del piano tipo è sinteticamente schematizzata nella figura che segue (Fig. 29). Come anticipato (cfr. paragrafo 3.1), il nucleo centrale è costituito dal *bilancio energetico,* che si configura quale il principale strumento a supporto del processo di pianificazione: oltre a fotografare la situazione attuale caratterizzante il contesto energetico/ambientale locale al momento di definizione del piano, restituisce un quadro analitico ed interpretativo delle condizioni riscontrate e delle relative evoluzioni storiche.

I risultati evidenziati dal bilancio energetico e da quello delle emissioni che ne deriva, costituiscono il punto di partenza per l'elaborazione degli scenari futuri e per la definizione di azioni ed interventi da mettere in atto al fine di realizzare gli obiettivi di razionalizzazione ed ottimizzazione delle componenti del sistema energetico.

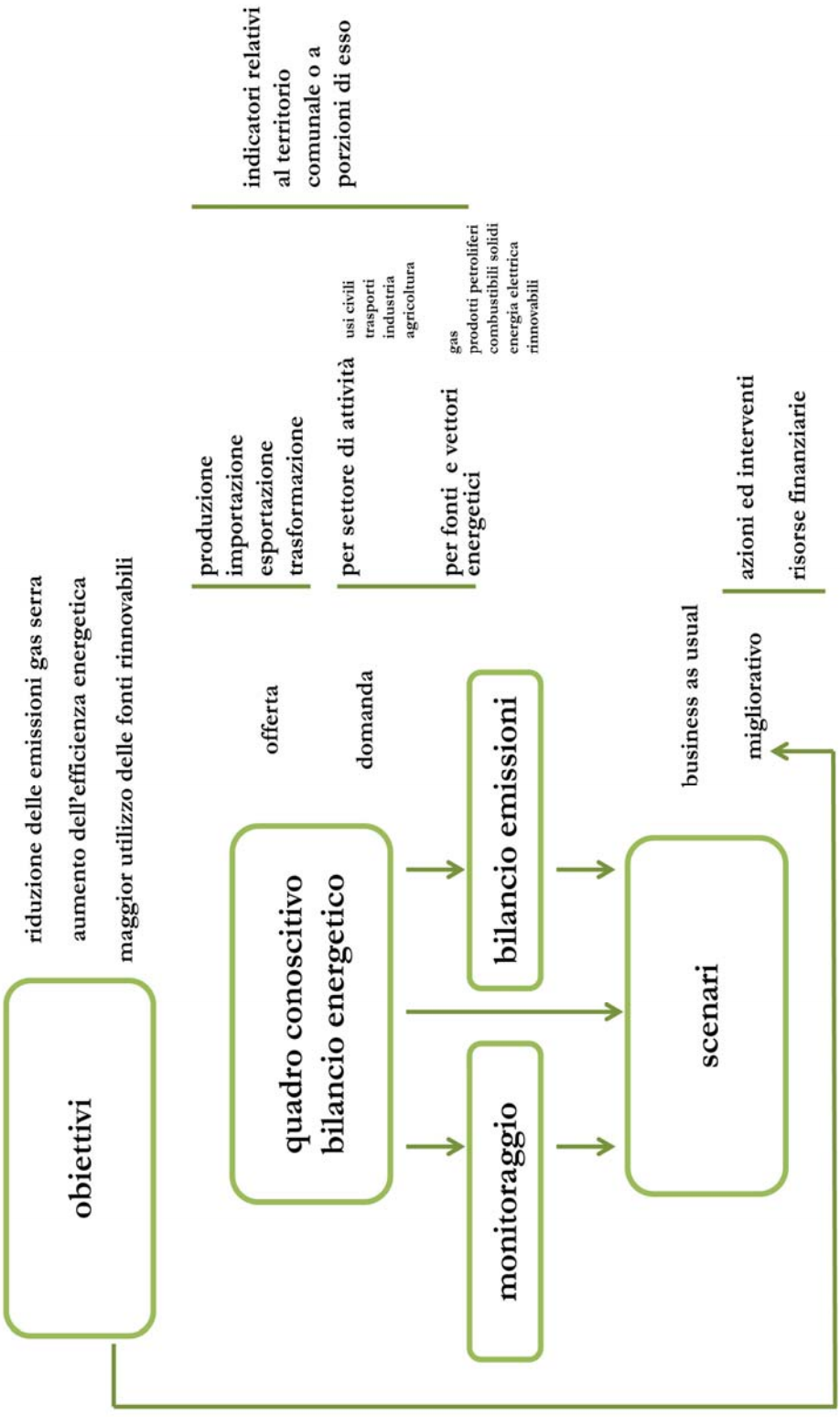


Fig. 29 Metodologia operativa della struttura di piano tipo

La lacuna metodologica della legge 10, determinata dalla mancata definizione di specifiche relative a struttura e contenuti del piano comunale, è stata parzialmente colmata, già negli anni '90, dalla redazione di almeno due studi di tipo manualistico per l'elaborazione dei PEC, realizzati rispettivamente da parte dell'ENEA e di CISPEL/ACEA/Ambiente Italia[60].

La guida sviluppata da ENEA definisce un percorso metodologico per la redazione del piano articolato in sette moduli. Tra di essi emergono quello relativo alla caratterizzazione del sistema energetico nel territorio di riferimento e quello relativo alla conseguente individuazione degli scenari futuri e degli obiettivi della pianificazione.

Per quanto riguarda le fasi di raccolta e di elaborazione dei dati conoscitivi, lo studio prevede differenti livelli di *disaggregazione territoriale* delle informazioni in relazione alle dimensioni del comune in esame. Nella valutazione degli indicatori di piano, si fa riferimento all'intero territorio comunale nel caso di *piccoli* comuni (popolazione < 60·000 abitanti ed estensione < 80 km^2), all'intero territorio o alla somma di diverse porzioni nel caso di comuni *medi* (popolazione 60·000/80·000 abitanti, estensione 80/150 km^2) e, nel caso di comuni *grandi* (popolazione > 200·000 abitanti, estensione > 150 km^2), alla suddivisione per parti del territorio (ambiti urbanistici e suddivisioni amministrative).

Lo studio realizzato dalla società di ricerca e consulenza Ambiente Italia si caratterizza invece per l'accento posto sulla connotazione ambientale dei parametri energetici, che prevede il calcolo dei costi ambientali associati al sistema di produzione e distribuzione dell'energia per gli usi finali. A fianco del bilancio energetico comunale, che rimane il principale strumento operativo della procedura di pianificazione, si collocano i bilanci ambientali ad esso connessi, tra cui in primo luogo quello delle emissioni atmosferiche.

La contabilizzazione dei consumi finali, articolata per macrosettori e per vettori energetici, dovrebbe essere disaggregata ad un livello di dettaglio il più approfondito possibile. A tal proposito vengono individuati un criterio infrasettoriale (per sottosettori di impiego), un criterio temporale (per andamenti stagionali, mensili ed orari della domanda) ed un criterio spaziale (per sub aree).

[60] Ci si riferisce a "*Guida per la pianificazione energetica comunale",* elaborato da ENEA nel 1997, ed a *"Il Piano Energetico Ambientale Comunale - Linee metodologiche in applicazione della legge 10/91 articolo 5 comma 5"*, elaborato dall'Istituto di Ricerche Ambiente Italia nel 1997

Ai fini del presente studio, in tale fase di analisi della struttura tipo dei piani comunali, è stata posta particolare attenzione a riguardo delle tipologie di indagine connesse ai consumi riguardanti gli usi civili, ovvero il patrimonio edilizio, residenziale e non.

I bilanci di consumo termico ed elettrico degli edifici sono definiti nei piani utilizzando principalmente dati e statistiche rilasciati dalle società distributrici di energia, integrati dalle valutazioni del relativo impatto ambientale e delle emissioni specifiche.

I piani prevedono generalmente la trasposizione grafica dei dati numerici del bilancio energetico sulla cartografia del territorio comunale, suddiviso in opportune partizioni, nonché la definizione di indicatori sintetici, quali ad esempio il consumo di energia procapite o il rapporto tra consumo di energia rilevato per l'uso civile e la volumetria complessiva, o la superficie, dei fabbricati esistenti sul territorio. Ai fini di una miglior interpretazione del sistema energetico in indagine, il livello di dettaglio e di disaggregazione territoriale delle informazioni deve essere, ovviamente, il più approfondito possibile. Alcuni piani prevedono, ad esempio, un'analisi dei consumi articolata a livello di circoscrizione amministrativa (Fig. 30), altri individuano, sulla scorta dei bacini energetici regionali, i bacini energetici comunali, ovvero aree territorialmente omogenee ai fini della procedura di pianificazione energetica. L'analisi per porzioni di territorio ad estensione il più possibile contenuta consente di connettere le informazioni relative alle variabili energetiche, aggregate per l'intero territorio comunale nel contesto del bilancio energetico, a caratteristiche fisiche, socioeconomiche, urbanistiche…, proprie di quella determinata e specifica porzione territoriale. Una più approfondita caratterizzazione dei consumi connessi agli usi civili si ha ovviamente attraverso la georeferenziazione e la disaggregazione puntuale delle informazioni per ogni singolo edificio (Fig. 31).

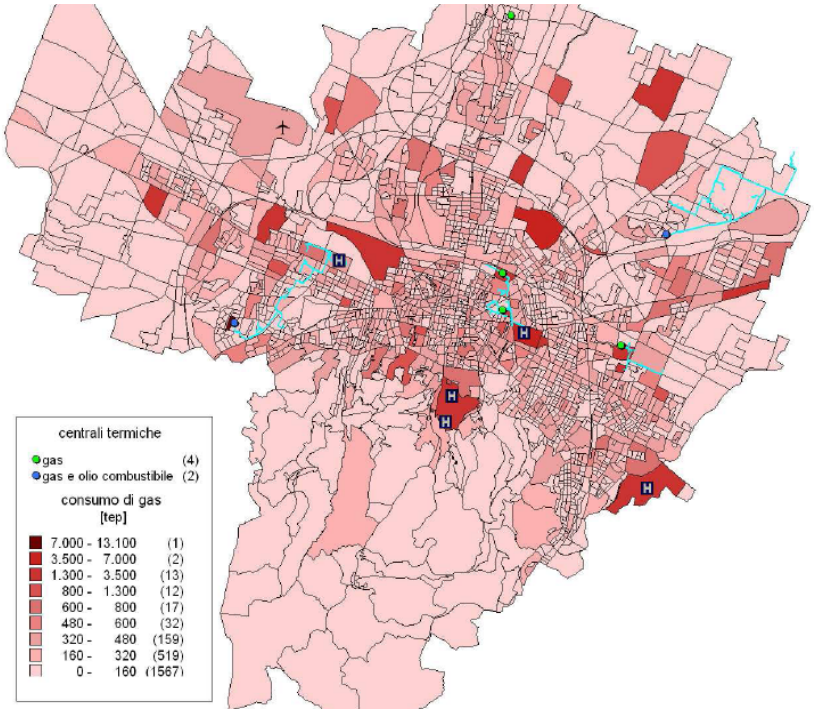


Fig. 30 PEC Bologna: consumi di gas metano ad uso residenziale (tep), disaggregati e georiferiti per isola censuaria
Fonte: http://www.comune.bologna.it/media/files/pec_sintesi_tecnica.pdf

Fig. 31 PEC Bologna: indicatori di consumo di gas metano ad uso residenziale per unità di superficie abitata (kWh/m² anno), georiferiti per singolo edificio
Fonte: http://www.comune.bologna.it/media/files/pec_sintesi_tecnica.pdf

Nella tabella che segue (Tab. 4) viene riportata la sintesi di un'analisi condotta su una serie di piani[61], nell'ambito della quale è stato verificato il livello di disaggregazione territoriale delle informazioni riportate dal bilancio energetico, relative ai soli consumi sostenuti dal settore edile:

- *singolo edificio*: sono individuati i consumi sostenuti da ogni singolo edificio sito nel territorio comunale
- *singolo edificio pubblico*: sono individuati i consumi sostenuti da ogni singolo edificio di proprietà pubblica comunale
- *porzione di territorio comunale:* sono definiti dati aggregati, relativi al consumo complessivamente sostenuto a livello di bacino energetico, di circoscrizione amministrativa o di zona omogenea di piano regolatore comunale
- *intero territorio comunale*: sono definiti dati aggregati, relativi al consumo complessivamente sostenuto nel territorio comunale
- *indicatore di consumo per unità di superficie*: sono riportati indicatori statistici relativi al consumo medio per unità di superficie abitativa, definito dal rapporto tra i consumi globalmente sostenuti nel territorio e la superficie complessiva delle abitazioni rilevata per il comune medesimo.

Nella tabella, la data riportata nella prima colonna è relativa all'anno di approvazione del piano attualmente in vigore, per il quale, nella maggior parte dei casi, sono stati poi disposti aggiornamenti e revisioni.

[61] Sono stati considerati i principali piani energetici individuati nello studio condotto da Legautonomie (vedi nota 56) per i quali è stato possibile reperire materiale disponibile on line.

	SINGOLO EDIFICIO	SINGOLO EDIFICIO PUBBLICO	PORZIONE DI TERRITORIO COMUNALE	INTERO TERRITORIO COMUNALE	INDICATORI DI CONSUMO PER M^2 DI SUPERFICIE ABITATIVA
Bologna (1999)	●		●	●	
Brescia (2002)				●	
Forlì (2008)				●	●
Milano (2004)		●		●	
Modena (2007)	●		●	●	
Padova (1999)				●	
Perugia (2005)				●	
Piacenza (2008)				●	●
Potenza (1996)				●	
Ravenna (2007)			●	●	
Trento (2000)		●		●	
Udine (2009)		●		●	
Venezia (2003)		●		●	

Tab. 4 PEC: livello di disaggregazione territoriale delle informazioni sui consumi energetici associati all'utilizzo degli edifici

Bibliografia e Sitografia

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

Istat (2010), *Indicatori ambientali urbani. Anno 2009,* Comunicato Stampa, Roma

Istituto di Ricerche Ambiente Italia (1997), *Il Piano Energetico Ambientale Comunale - Linee metodologiche in applicazione della legge 10/91 Articolo 5 Comma 5,* Edizioni Ambiente srl, Milano

Gaudioso D., Pignatelli R. (2004), *La pianificazione energetico-ambientale a livello locale nelle principali città italiane,* APAT

Legambiente & Ricerche Ambiente Italia (2010), *CittàClima 2010. La città alla sfida dei cambiamenti climatici. Il ruolo dei Comuni verso gli obiettivi europei al 2020 e gli impegni del patto dei sindaci*, Legambiente, Milano

Legambiente (2011), *Clima in comune 2011*, Rapporto Legambiente, Milano

Legautonomie (2009), *Indagine Legautonomie sulle politiche energetiche dei comuni. Il Piano Energetico*, Legautonomie, Roma

Rizzo G. (2009), *L'energia, aspetti globali e ricadute territoriali*, FORUM *Scenari e prospettive dell'economie nella provincia di Salerno*, Salerno

Comune di Bologna - Settore Ambiente e Verde Urbano (1999), *Programma Energetico del Comune di Bologna*
http://www.comune.bologna.it/ambiente/servizi/6:5121/5389/

Comune di Brescia - Settore Urbanistica (2002), *Piano Energetico Comunale*
http://www.comune.brescia.it/NR/rdonlyres/71EC6276-BA5D-4E68-941D-D3F31F708489/0/pianoenergetico.pdf

Comune di Forlì - Servizio Pianificazione e Programmazione del Territorio (2008), *Piano Energetico Ambientale Comunale*
http://ambiente.comune.forli.fc.it/public/cms_page_media/33/sintesi_allegato%20B_784_7990.pdf

Comune di Milano (2004), *Piano Energetico Ambientale Comunale*

Comune di Modena - Settore Ambiente (2007), *Piano Energetico Comunale*
http://www.comune.modena.it/ilclimadellecitta/documenti/case7

Comune di Padova - Servizio Ambiente (1999), *Piano Energetico Comunale*
http://www.padovanet.it/allegati/C_1_Allegati_1040_Allegato.pdf

Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Perugia (2005), *Piano Energetico e Ambientale del Comune di Perugia*
http://www.comune.perugia.it/resources/importazione/docs/Peac_relazione_sintesi.pdf

Comune di Piacenza, Servizio Ambiente (2008), *Piano Energetico Comunale*
http://web2.comune.piacenza.it/ambiente/energia/documenti-e-immagini/pec/view

Comune di Potenza (1996), *Piano Energetico Ambientale del Comune di Potenza*
http://www.comune.potenza.it/multimediali/Documenti/Aree_Tematiche/ambiente/Progetti/83.pdf

Ambiente Italia srl (2007), *Piano Energetico e Ambientale del Comune di Ravenna*
http://www.comune.ra.it/Aree-Tematiche/Ambiente-Territorio-e-Mobilita/Ambiente-e-Sostenibilita/Energia/Piano-Energetico-Comunale

Comune di Trento - Servizio Ambiente, Ambiente Italia srl (2000), *Piano Energetico e Ambientale del Comune di Trento*
http://www.comune.trento.it/Aree-tematiche/Ambiente-e-territorio/Risparmio-energetico/Piano-energetico-comunale-TrentoxKyoto

Ecuba srl (2009), *Piano Energetico del Comune di Udine*
http://www.comune.udine.it/opencms/opencms/release/ComuneUdine/progetti/territorio/cyber_display/allegati/Bilancio_Energetico_Comune_Udine.pdf

Agenzia Veneziana per l'Energia (2003), *Piano Energetico Comunale*
http://www.comune.venezia.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/33507

PARTE 2 – COSTRUZIONE DI UN LABORATORIO DI INDAGINE

4 UNA METODOLOGIA DI INDAGINE DIFFUSA DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI

Il miglioramento degli standard di efficienza energetica nell'edilizia e la conseguente riduzione dei consumi civili rappresentano obiettivi di primaria importanza nell'ambito delle politiche messe in atto al fine di adempiere agli impegni di tutela ambientale assunti con Kyōto. Come noto, gli orientamenti tendenziali delle norme attualmente in vigore sono diretti a garantire il raggiungimento di livelli elevati di prestazione non solo nei nuovi edifici bensì anche nelle strutture già disponibili, qualora soggette ad interventi di recupero. Gli edifici di nuova realizzazione rappresentano infatti una quota puramente marginale dello stock immobiliare complessivo; in tal senso, risulta dunque strategico dirigere verso i fabbricati esistenti azioni concrete di riqualificazione e di miglioramento.

Tale presupposto rende imprescindibile la costituzione di quadri conoscitivi relativi agli utilizzi, caratteristiche e rendimenti energetici degli immobili. In altre parole, ai fini della programmazione efficace di interventi, replicabili a vasta scala, diretti a migliorare i livelli di prestazione dei singoli edifici, si necessita a monte di una conoscenza, adeguata e diffusa, delle condizioni energetiche in cui versa allo stato di fatto il parco edilizio esistente.

In tale contesto, la certificazione energetica rappresenta senza dubbio una delle principali occasioni di verifica della qualità dell'edificio. Tuttavia, come visto, la disciplina legislativa in materia di certificazione la rende obbligatoria solo in occasioni specifiche, connesse a momenti circoscritti della vita dell'immobile. Le stesse tecniche di calcolo per la definizione del fabbisogno energetico, inoltre, poco si prestano a valutazioni estensive ed immediate relative a numeri significativi di edifici quali, ad esempio, l'insieme dei fabbricati ricadenti nel contesto di una determinata area comunale, da considerarsi in fase di redazione degli strumenti di pianificazione energetica strutturati a scala locale.

Nella presente parte di tesi viene quindi individuata una metodologia speditiva di analisi delle prestazioni energetiche degli edifici, facilmente trasferibile ed adattabile a qualsiasi realtà urbana, finalizzata alla valutazione, caratterizzazione e rappresentazione del consumo sostenuto e del rendimento energetico di ogni singola struttura edilizia esistente in un dato ambito territoriale. Lo strumento di indagine proposto non mira a replicare l'analisi di dettaglio prevista nell'ambito di certificazione quanto, piuttosto, a superare i limiti derivanti dall'attuale impossibilità di definire quadri conoscitivi delle prestazioni energetiche di numeri elevati di fabbricati, procedendo esclusivamente attraverso estrazione delle informazioni di interesse dai certificati ad oggi disponibili.

Il modello descritto è diretto in primo luogo ad analisi riguardanti il patrimonio immobiliare residenziale privato, per il quale risulta tendenzialmente più difficile reperire informazioni puntuali, specifiche del singolo edificio. Da un esame degli strumenti di pianificazione energetica redatti a scala locale (cfr. paragrafo 3.2.2, v. Tab. 4 pag. 109),

emerge infatti come il livello di disaggregazione territoriale dei dati conoscitivi relativi all'edilizia privata sia pari di norma all'intera area comunale o a sezioni di essa. Ai fini di un'analisi più efficiente delle caratteristiche energetiche del sistema edilizio, è implicita l'importanza di un quadro conoscitivo capace di definire, per ciascun fabbricato, un insieme di informazioni dettagliate, ad esso esclusivamente riferite.

Scelta un'area di studio, la metodologia di analisi proposta è stata verificata analizzando l'andamento dei consumi energetici nei relativi edifici e le relazioni esistenti con alcuni fattori di probabile influenza sulla spesa energetica sostenuta. L'analisi condotta è stata riportata nei capitoli successivi (cfr. capitoli 5 e 6), nel contesto dei quali sono dettagliate e descritte le singole azioni svolte. Il termine *laboratorio* adottato nel titolo di tale sezione di tesi, mira in tal senso a sottolinearne il taglio prettamente operativo che la caratterizza.

4.1 Obiettivi e struttura dell'indagine

4.1.1 Motivazioni e metodologia

La metodologia di analisi sviluppata è diretta a definire uno strumento, di facile implementazione e manutenzione, utile agli enti locali per una conoscenza diffusa delle caratteristiche energetiche del patrimonio edilizio facente parte del proprio territorio, in particolar modo di quello civile privato che non sarà sottoposto in tempi brevi a certificazione. Il quadro conoscitivo strutturato attraverso l'indagine consente di evidenziare le eventuali criticità energetiche che contraddistinguono allo stato di fatto gli edifici esistenti e di acquisire informazioni propedeutiche alla programmazione delle possibili linee d'azione e di intervento volte ad una riqualificazione e ad una riduzione dei consumi.

Come premesso, nelle elaborazioni svolte ai fini dell'analisi e della caratterizzazione dei consumi energetici, la singola struttura edilizia viene adottata quale unità minima di indagine, cui riferire dati in ingresso e nuove informazioni generate. Per ogni edificio, in altre parole, viene definito attraverso l'indagine un insieme di informazioni puntuali, pertinenti alle condizioni ed agli utilizzi energetici in cui lo stesso versa allo stato attuale.

L'analisi presuppone di associare a ciascun fabbricato l'insieme di banche dati, disponibili per lo specifico territorio, rappresentative dei consumi energetici e dei fattori di probabile influenza sulla spesa rilevata: operativamente, si prevede l'utilizzo di uno strumento GIS e di una base cartografica vettoriale, a supporto dell'integrazione, elaborazione e visualizzazione del complesso di archivi di dati confluenti nell'indagine. La prima fase di analisi è relativa all'esame dei consumi energetici sostenuti dai singoli edifici; a tal fine dovranno essere acquisite dalle aziende di distribuzione dell'energia, operanti sul territorio, le banche dati restituive dei consumi rilevati. Le fasi successive presuppongono invece di associare a ciascuna unità edilizia nuovi ed ulteriori archivi informativi, in maniera tale da consentire una caratterizzazione della spesa energetica, precedentemente definita, in relazione ad aspetti specifici che possono essere ritenuti d'influenza sui consumi medesimi. Presupposto fondamentale per l'integrazione delle banche dati riguardanti consumi e relativi fattori di influenza, è la disponibilità di informazioni georiferite: per mezzo della chiave geografica caratteristica di ciascun elemento informativo è possibile infatti instaurare una relazione topologica tra le diverse variabili in gioco, generando una sinergia di informazioni che permette la definizione nuove variabili, precedentemente non rilevate.

I punti chiave del modello proposto riguardano quindi:

- *l'utilizzo prevalente di giacimenti informativi esistenti*, in possesso di amministrazioni pubbliche o private operanti sul territorio di indagine, relativi sia ai consumi energetici sostenuti da ciascuna struttura edilizia sia all'insieme di

quei fattori e variabili, di seguito definiti, potenzialmente in grado di influire sugli stessi consumi;

- *la gestione e l'elaborazione dei dati in ambiente GIS*, per le fasi di georeferenziazione delle banche dati acquisite e di integrazione delle informazioni pertinenti al medesimo edificio, nonché per le fasi di definizione e rappresentazione delle mappature energetiche e dei nuovi dati conoscitivi generati;
- *l'adozione di indicatori sintetici*, per trasmettere in modo chiaro ed immediato, così come previsto dalla normativa[62], le informazioni necessarie a valutare e comparare le prestazioni degli edifici.

L'integrazione di componenti determinate facenti parte del notevole patrimonio informativo, ad oggi già disponibile, relativo al territorio ed all'ambiente, rende possibile, in altre parole, la definizione di nuovi pacchetti informativi specifici, descrittivi della qualità energetica degli edifici (Fig. 32).

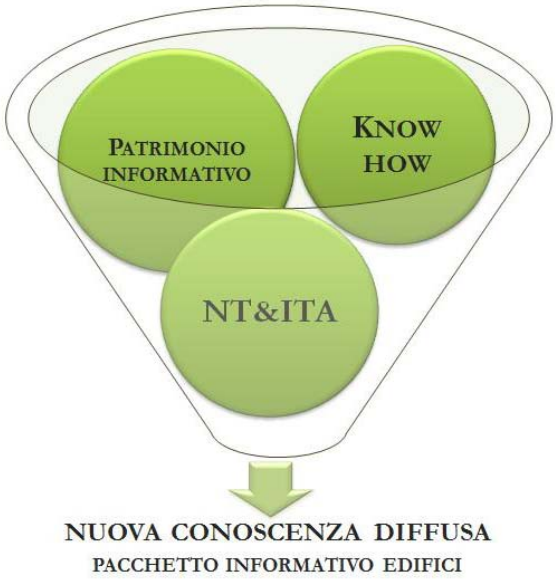


Fig. 32 Elementi chiave per la definizione di una nuova conoscenza diffusa sulle caratteristiche energetiche degli edifici

Esistono ad oggi alcune esperienze di analisi estensiva delle prestazioni energetiche degli edifici realizzate attraverso strumenti GIS. Tra di esse rientrano, a titolo d'esempio, il progetto di monitoraggio promosso dal comune di Laives (BZ) ed il progetto "Audit GIS", finanziato dalla Fondazione Cariplo, che ha riguardato 400 comuni lombardi e piemontesi.

[62] Come visto, la normativa prevede di definire la prestazione energetica dell'edificio attraverso l'utilizzo di indici relativi al fabbisogno energetico annuale (kWh), normalizzato sulla base della superficie (o del volume) dell'edificio di riferimento.

In entrambi i casi, di seguito approfonditi, le indagini sono state limitate ad edifici di pubblica proprietà. L'estensione al parco edilizio privato di un'analisi della qualità energetica strutturata sulla base dei dati di consumo rilevati, così come approfondito nella presente tesi, è stata proposta nel contesto di alcune attività didattiche e di ricerca sviluppate nell'ambito dell'Università IUAV di Venezia.[63]

Le informazioni generate possono divenire parte integrante degli strumenti di pianificazione e programmazione energetica locale. Come osservato (cfr. paragrafo 3.2.2), nel contesto di piano l'analisi delle caratteristiche energetiche del territorio viene normalmente svolta sulla base di dati aggregati (totale consumi sostenuti per fonte energetica, totale consumi sostenuti per impiego finale, totale energia generata nel contesto locale, ecc.), riferiti all'intera area comunale o a porzioni di essa. Le previsioni di intervento definite a riguardo del settore edile, di conseguenza, non risultano essere tarate e dettagliate sulla singola specifica struttura bensì generalmente espresse in termini di stime potenziali relative all'ammontare complessivo del risparmio energetico raggiungibile.

Un maggior livello di disaggregazione territoriale dei dati conoscitivi, quale quello ottenibile predisponendo uno strumento di analisi capace di scendere nel dettaglio del tessuto urbano e di ri-associare ogni singola informazione all'edificio specifico al quale è riferita e dal quale è stata generata, può indubbiamente favorire un approccio integrato ed una più salda connessione tra gli strumenti di programmazione energetica e le strategie di pianificazione urbanistica locale, nel contesto della quale possono essere valutate azioni di intervento e di riqualificazione del patrimonio immobiliare.

I risultati delle analisi svolte, così come riportato nei capitoli successivi dedicati all'implementazione di un caso pratico, possono essere graficamente sintetizzati attraverso la realizzazione di mappe energetiche rappresentative delle caratteristiche degli edifici oggetto di indagine. È importante precisare che le elaborazioni eseguite conducono a risultati indicativi, utili ad individuare e circoscrivere situazioni più o meno critiche, nei confronti delle quali possono rendersi necessari esami e verifiche più approfonditi.

La divulgazione degli esiti dell'indagine, utilizzando ad esempio portali web dedicati, può rendere le informazioni generate una nuova risorsa per il territorio. È fondamentale infatti che la consapevolezza delle ricadute ambientali connesse al fabbisogno energetico degli edifici possa diffondersi capillarmente, in primo luogo fra i cittadini, affinché sia possibile auspicare una riduzione futura degli impatti derivanti dagli usi energetici, attraverso

[63] Prof. Tani I., Master di II Livello in SIT&TLR aa 2009/10, Università IUAV di Venezia, Project Work "*Ambiente & Energia: GIS per la valutazione a larga dell'efficienza energetica degli edifici*"
http://www.ricercasit.it/masterii/Content.aspx?page=121

Progetto "*Energy Web Feltre"*, Università IUAV di Venezia, Fondazione per l'Alta Cultura di Belluno
http://www.ricercasit.it/energywebfeltre/EnergyWebFeltreDef.pdf pag. 30 *"Giacimenti informativi per l'Energy Web"*

l'intervento nelle situazioni contraddistinte da una minor efficienza. In tal senso, i destinatari finali delle nuove informazioni generate possono essere individuati non solo negli *enti locali*, interessati a valutare le possibilità di intervento migliorative nel proprio territorio con ritorni sul piano energetico ambientale, bensì anche in soggetti diversi, quali:

- *privati cittadini*, proprietari degli immobili, che potranno valutare, indicativamente, la rendita energetica della propria abitazione;
- *imprese*, interessate alla commercializzazione di sistemi impiantistici o prodotti edilizi in grado di migliorare il rendimento energetico degli edifici (sistemi di coibentazione, generatori ad alto rendimento, ecc.);
- *utilities*, interessate a proporre interventi migliorativi dell'efficienza dell'uso energetico.

4.1.2 Principali fasi operative e semplificazioni adottate

Il presente paragrafo, dedicato alla descrizione delle principali fasi operative previste dall'indagine, è stato strutturato sulla base di quanto emerso durante l'attività pratica di analisi condotta nel laboratorio sviluppato. In tale momento è stato infatti possibile verificare le potenzialità ed i limiti dello strumento, nonché le semplificazioni che necessariamente si sono dovute adottare.

La procedura di indagine descritta è rivolta ad analisi riguardanti edifici ad utilizzo residenziale. Pur essendo i fondamenti della metodologia proposta trasferibili senza particolari variazioni anche ad edifici di diversa natura, le considerazioni e valutazioni di seguito riportate perdono in molti casi efficacia se riferite ad immobili con differente destinazione d'uso.

Come premesso ed analogamente a quanto successivamente compiuto nell'attività di laboratorio, le elaborazioni previste dall'analisi possono essere riferite a due principali fasi operative:

- valutazione dell'efficienza energetica dell'edificio, sulla base dei dati di consumo rilevato
- caratterizzazione dei consumi, in relazione ad una serie di fattori di potenziale influenza.

FASE 1 - ANALISI DEI CONSUMI

Obiettivo di tale fase è la determinazione di un indice di qualità energetica dell'edificio, strutturato sulla base del consumo effettivamente sostenuto dallo stesso durante uno specifico arco temporale.

Ai fini della definizione della spesa energetica sostenuta, l'analisi presuppone di fare riferimento ai soli consumi termici connessi al riscaldamento delle abitazioni. Tale scelta è motivata da considerazioni di diversa natura, tra le quali la principale è relativa al fatto che i consumi imputabili alle esigenze di riscaldamento sono quelli che maggiormente incidono sul quantitativo di energia richiesto da un edificio per il suo utilizzo (v. Fig. 6, pag. 44). Il fabbisogno energetico connesso alle necessità termiche invernali rappresenta, in altre parole, la componente avente in genere il maggior peso nella definizione del fabbisogno di energia complessivo, caratteristico dell'edificio[64].

Posto che, in Italia, la quasi totalità degli immobili abitativi nei contesti urbani si avvale del metano distribuito in rete quale combustibile per la climatizzazione invernale, la metodologia sviluppata presuppone l'utilizzo dei dati relativi ai volumi di *gas naturale*[65] consumati ad uso riscaldamento nel residenziale, ai fini di una valutazione delle caratteristiche energetiche degli edifici. Noto il consumo sostenuto da ciascun fabbricato, è possibile definire un indice normalizzato in relazione alla superficie utile del medesimo (consumo/superficie). È implicito che agli immobili contraddistinti da una minore efficienza del sistema involucro-impianti risulteranno essere associati indici di consumo più elevati.

Dall'analisi delle serie storiche dei dati pubblicati da ENEA[66], relativi alla composizione del mix energetico utilizzato in ambito civile, emerge come nel corso dell'ultimo ventennio si sia assistito nel territorio nazionale ad una crescente metanizzazione per il riscaldamento delle abitazioni. In tal senso, il modello di analisi implementato nel presente lavoro trascura quindi i contributi energetici apportati da altre fonti combustibili, principalmente connessi all'utilizzo dei vecchi e più inquinanti impianti a gasolio, nei confronti dei quali è comunque in atto un processo di progressiva sostituzione.

Il gas naturale viene utilizzato nel settore residenziale non solo per soddisfare le esigenze connesse al fabbisogno termico invernale, bensì, seppur in parte decisamente inferiore, anche per la produzione di acqua calda sanitaria e per l'uso cottura (Fig. 33). L'analisi delle serie storiche relative alla ripartizione per funzione d'uso del consumo di gas naturale negli

[64] Tale considerazione è valida, soprattutto, nell'ambito di edifici poco performanti, quali quelli che il laboratorio si propone di indagare. Nelle strutture contraddistinte da standard energetici elevati, quali gli edifici passivi, il peso percentuale della spesa connessa al riscaldamento diviene relativamente meno importante sull'ammontare complessivo dei consumi dell'edificio.

[65] Il gas naturale è un gas prodotto dalla decomposizione anaerobica di materiale organico. In natura è presente allo stato fossile, insieme al petrolio, al carbone o da solo in giacimenti di gas naturale. Viene inoltre prodotto dai processi di decomposizione correnti (nelle paludi, nelle discariche, durante la digestione negli animali e in altri processi naturali) e liberato nell'atmosfera anche dall'attività vulcanica. Il gas naturale è spesso denominato *metano*, pur essendo in realtà composto da metano e da altri gas.
http://www.energia.provincia.tn.it/binary/pat_agenzia_energia/piani_programmi/oePEAP_aggiornato.1279185172.pdf

[66] Dati Ministero dello Sviluppo Economico, pubblicati da ENEA.

edifici abitativi, conferma che la quota prevalente del consumo di gas, l'85% circa, è diretta alla climatizzazione invernale. Una percentuale marginale e tendenzialmente in decrescita è rivolta agli usi cucina mentre una quota più consistente, che nel corso dell'ultimo ventennio si è attestata su valori costanti pari a circa il 10% dei consumi complessivi, è utilizzata per la produzione di acqua calda sanitaria.

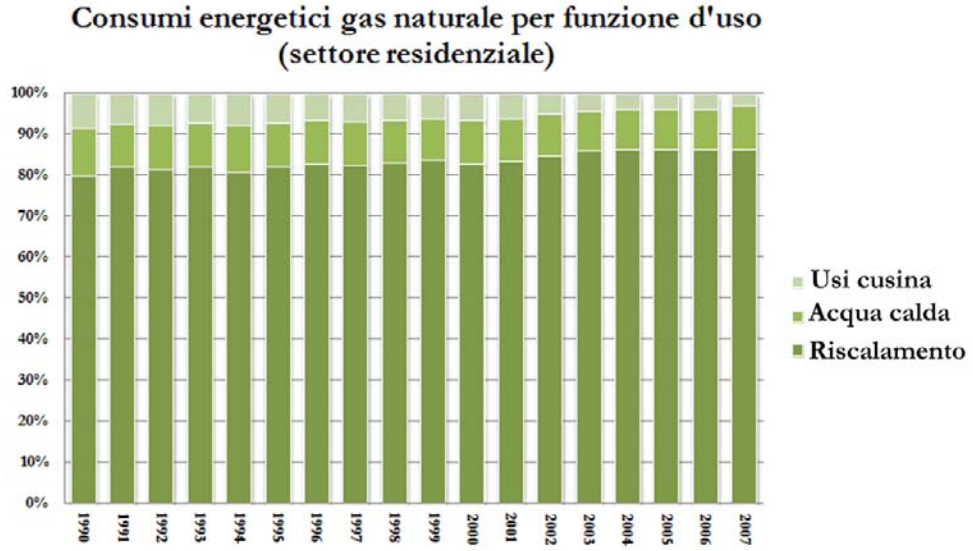


Fig. 33 Ripartizione percentuale per funzione d'uso del gas naturale utilizzato nel settore residenziale
Fonte Elaborazione su dati del Ministero dello Sviluppo Economico (pubblicati da ENEA)

La metodologia sviluppata presuppone, ai fini della valutazione della spesa energetica sostenuta dall'edificio, l'utilizzo degli archivi di dati delle aziende utilities riguardanti i volumi di gas naturale impiegati nel residenziale. Dalle banche dati relative alle forniture di gas ad uso domestico, tuttavia, potrebbe non essere ottenibile indicazione alcuna in merito agli utilizzi del combustibile medesimo, ovvero potrebbe risultare impossibile distinguere se l'utilizzo dello stesso venga destinato alla sola produzione di calore per la climatizzazione degli ambienti oppure, contemporaneamente, anche alla produzione dell'acqua calda sanitaria. In mancanza di tale informazione, ai fini del presente lavoro, si è optato per non scorporare la componente del consumo potenzialmente, ma non necessariamente, sostenuto per la produzione dell'acqua calda sanitaria[67], in virtù del fatto che in numerosi

[67] Qualora fosse verificata la condizione di impianto dedicato alla climatizzazione invernale ed alla contemporanea produzione di acqua calda sanitaria, la percentuale relativa a tale componente potrebbe essere stimata considerando un consumo medio procapite litri/giorno per ogni occupante l'immobile e definendo il quantitativo di energia termica, necessaria a riscaldare la massa d'acqua computata, in relazione ad una data temperatura in ingresso dall'acquedotto e ad una più elevata temperatura di utilizzo. In ultimo, per determinare il volume finale di gas erogato a tale scopo è necessario conoscere, o supporre sulla base di valori mediamente riscontrati, il valore di rendimento dell'impianto.

edifici sussiste tuttora la permanenza di sistemi scalda acqua che impiegano vettori energetici differenti ed alternativi al gas naturale, tra i quali, primi fra tutti, i boiler elettrici. In tali casi specifici il consumo di gas rilevato dovrebbe infatti essere totalmente ricondotto all'uso riscaldamento[68].

Stimata dunque, nel contesto residenziale, la quota del consumo di gas potenzialmente dedicata alla produzione dell'acqua calda sanitaria pari in media indicativamente al 10% dei consumi di gas complessivi (v. Fig. 33) ed optato, in mancanza di informazioni relative alla tipologia dei singoli impianti, per non scorporare tale percentuale ipotetica dalla quota di consumo attribuito ad uso riscaldamento all'edificio, se ne deduce che i risultati del modello, in termini di spesa energetica sostenuta per il riscaldamento, saranno caratterizzati da un margine d'errore pari a circa il 10%. Tale errore si ritiene compatibile con le finalità dell'indagine proposta, volta a fornire delle valutazioni indicative, utili per un primo screening a livello territoriale delle prestazioni energetiche degli edifici[69].

Nell'analisi della performance dell'edificio è stata inoltre esclusa la componente relativa agli utilizzi elettrici, in quanto ad oggi, diversamente da quanto riguarda il consumo di energia termica, non esiste una scala valutativa che consente di giudicare le prestazioni dell'immobile in riferimento a tale tipologia di consumi specifici.

In sintesi, la scelta di definire un indice di prestazione strutturato sulla base dei volumi di metano consumati per la climatizzazione invernale, risulta essere complessivamente supportata dalle seguenti osservazioni:

- è possibile, con un certo grado di approssimazione, ricondurre il consumo di gas al fabbisogno energetico dell'edificio per la climatizzazione invernale[70], poiché:
  - la quasi totalità degli immobili civili in ambito urbano utilizza il gas distribuito in rete per soddisfare le esigenze di riscaldamento
  - la quasi totalità dei consumi di gas rilevati per il contesto residenziale sono diretti ad uso riscaldamento
- le esigenze di riscaldamento sono quelle che maggiormente incidono sul fabbisogno energetico complessivo di cui l'edificio generalmente necessita per il suo utilizzo.

[68] Si considera irrisoria, per gli scopi del presente lavoro, la componente di gas distribuito in rete eventualmente destinata all'uso cucina.

[69] La scelta di ricondurre il consumo di gas rilevato al solo uso riscaldamento, imputando a tale esigenza anche la quota parte di combustibile eventualmente destinata alla produzione di acqua calda sanitaria, può in tal senso portare a delle stime peggiorative rispetto alla situazione reale.

[70] Diversamente, il consumo elettrico sarebbe invece difficilmente riconducibile ad un utilizzo specifico o prevalente.

Come premesso, la verifica della spesa energetica, presuppone l'acquisizione delle banche dati delle aziende utilities distributrici di energia, relative ai volumi di gas naturale impiegati ad uso civile.

La distribuzione del gas avviene attraverso un sistema di condotte e di cabine di riduzione di pressione che ne consente il trasporto sino ai clienti finali, dove il punto terminale fisico di consegna è identificato attraverso il cosiddetto POD, Point Of Delivery, cui è associato un contatore che registra il flusso di gas in uscita destinato all'utenza. A livello operativo, l'analisi prevede la georeferenziazione dei dati di consumo rilevati al POD, sulla base dell'indirizzo attraverso cui lo stesso è identificato e l'inserimento delle informazioni medesime in ambiente GIS, al fine di trasporle sulla base cartografica adottata e di relazionarle all'edificio cui esse fanno capo, in maniera tale di riuscire a comparare dato di consumo e dato di superficie dell'immobile.

Presupposto fondamentale di tale momento di analisi, consiste nell'associare a ciascun edificio l'insieme complessivo dei volumi di gas erogati a ciascuno degli impianti collocati nei civici pertinenti all'edificio stesso. Così come di seguito reso meglio evidente nel contesto di rendicontazione dell'attività pratica di integrazione dei dati di consumo (cfr. capitolo 5), il singolo edificio può essere comprensivo di una moltitudine di numeri civici, a ciascuno dei quali possono a loro volta far capo più punti di consegna.

Posto dunque che in ogni civico possono convogliare uno o più punti di consegna del gas e che in un ciascun edificio possono essere contenuti uno o più civici (Fig. 34), per definire il consumo energetico complessivo di uno specifico fabbricato occorre dapprima conoscere il consumo totale sostenuto da ogni singolo civico, ottenuto dalla somma dei consumi rilevati per i POD del medesimo, per poi determinare il totale dei consumi sostenuti da tutti i civici che ricadono nell'edificio di interesse. Un esempio della situazione descritta è quello di un edificio comprensivo di più civici, ciascuno dei quali contraddistinto dalla presenza di una pluralità di impianti autonomi (Fig. 34, caso C). L'esistenza di un rapporto di tipo 1 ad 1 tra fabbricato e civico e tra civico ed impianto si verifica invece nella condizione di edificio destinato ad abitazione unifamiliare o in quella di edificio in cui è presente un unico civico con impianto centralizzato (Fig. 34, caso A).

Fig. 34 Rapporto tra edifici, civici e POD

Noto il volume totale di gas mediamente consumato nel corso di un anno da ciascun edificio, è possibile, dopo aver determinato il suo equivalente in kWh, definire un indice di prestazione per il fabbisogno invernale, espresso in termini di kWh/m^2 anno, attraverso cui comparare le performance dei diversi immobili[71]. L'analisi condotta consente, in altre parole, di ottenere un indicatore sintetico utile ad un'immediata valutazione della qualità dell'edificio.

La validità degli esiti ottenuti risulterà ovviamente essere influenzata dalla consistenza del volume di dati disponibile: una serie sufficientemente lunga di acquisizione di dati relativi al consumo mitiga di fatto l'errore dettato da altre variabili sicuramente presenti.

Si precisa che, differentemente da quanto previsto dall'equazione per il calcolo del fabbisogno di energia primaria definita dalla UNI/TS 11300 - parte 2 (cfr. paragrafo 2.3.1), la metodologia proposta, oltre a considerare un unico vettore energetico (il gas naturale), non considera il fabbisogno energetico richiesto dagli ausiliari dell'impianto di riscaldamento (ventilatori per la combustione, pompe di circolazione, ecc.).

FASI SUCCESSIVE - CARATTERIZZAZIONE DEI CONSUMI

Le fasi successive prevedono la caratterizzazione dell'indicatore di prestazione precedentemente definito, in relazione ad un set di variabili rappresentative di fattori che possono essere ritenuti influenti sulla stessa spesa energetica.

Il potenziale conoscitivo delle numerose banche dati già in possesso delle amministrazioni operanti sul territorio, eventualmente correlato da risorse informative derivate da rilievi condotti ad hoc, può essere sfruttato per un'analisi più ampia del fenomeno, che consideri non solo il risultato finale espresso in termini di consumi sostenuti, bensì anche la moltitudine di fattori che di fatto ne determinano l'entità. Nella seguenti fase dell'indagine, ad ogni fabbricato vengono dunque associati in ambiente GIS gli archivi di dati georiferiti che si rendono disponibili, in maniera tale da mettere a sistema ed integrare risorse conoscitive fra loro ad oggi slegate, definendo un pacchetto informativo inerente consumi e caratteristiche energetiche di ciascun edificio.

I fattori di potenziale interesse che possono essere coinvolti nell'indagine sono molteplici. Si è ritenuto pertanto più opportuno dedicare alla loro definizione e classificazione una sezione specifica della presente relazione (cfr. paragrafo 4.2.2).

[71] Per la definizione dell'equivalente valore in kWh e la metodologia speditiva di stima della superficie di ciascun edificio si rimanda al capitolo 5.

4.1.3 Alcune esperienze di riferimento

Sono di seguito illustrate due esperienze di analisi delle prestazioni energetiche degli edifici, definite sulla base dei dati di consumo sostenuto per l'utilizzo dei medesimi.

PROGETTO ECOGIS LAIVES

Il progetto EcoGIS Laives, è stato strutturato sulla base di uno studio condotto nel 2007 da Ökoinstitut Südtirol / Alto Adige (*Rapporto Energetico 2005 e 2006 e confronti con il 1996*), attraverso il quale sono stati verificati i consumi di energia degli edifici e della rete di illuminazione pubblica, sostenuti nel Comune di Laives (BZ) durante il corso degli anni 2005 e 2006. Lo studio è stato diretto a stimare l'efficienza energetica dei singoli edifici e dei singoli tratti di rete di illuminazione pubblica nonché a definire il potenziale di risparmio complessivo, conseguibile attraverso l'esecuzione di interventi migliorativi specifici. Nel contesto delle analisi svolte è stato inoltre previsto un confronto con i consumi energetici rilevati nel corso di un anno assunto a riferimento (1997), oggetto di un precedente rapporto analogamente diretto ad un'analisi della spesa energetica a carico dell'ente comunale (*Relazione sui consumi energetici del Comune di Laives 1996/97*).

La componente di indagine dedicata all'esame del patrimonio edilizio, ha considerato i consumi sostenuti da 26 edifici pubblici: asili nido, scuole materne, elementari e medie, impianti sportivi, uffici ed altre strutture comunali (Fig. 35). L'analisi, strutturata sulla base dei dati di consumo acquisiti dai fornitori energetici, ha messo in evidenza che la quota più rilevante della spesa sostenuta da ciascun edificio può essere ricondotta alle esigenze di riscaldamento. Al fine di comparare l'efficienza dei diversi immobili, sono stati definiti indicatori sintetici di prestazione ottenuti dal rapporto tra il consumo termico per il riscaldamento sostenuto durante il corso di un determinato anno e la superficie netta dell'edificio; sono stati altresì definiti indicatori di consumo elettrico specifico, determinati, in tal caso, dal rapporto tra consumo elettrico annuo e superficie lorda (Fig. 36). Per poter mettere a confronto indicatori di prestazione relativi ai consumi termici, definiti in riferimento ad anni specifici (1997, 2005 e 2006) ciascuno dei quali caratterizzato da un determinato andamento delle temperature, i dati di consumo assoluto sono stati normalizzati in relazione ai gradigiorno rilevati nel corso dell'anno medesimo.

I dati prodotti dall'analisi sono stati organizzati tramite un applicativo GIS basato su WEB. Lo studio condotto è stato cioè pubblicato online e reso liberamente accessibile al cittadino attraverso un'interfaccia grafica interattiva, strutturata sulla cartografia comunale (Figg. 35 e 36).

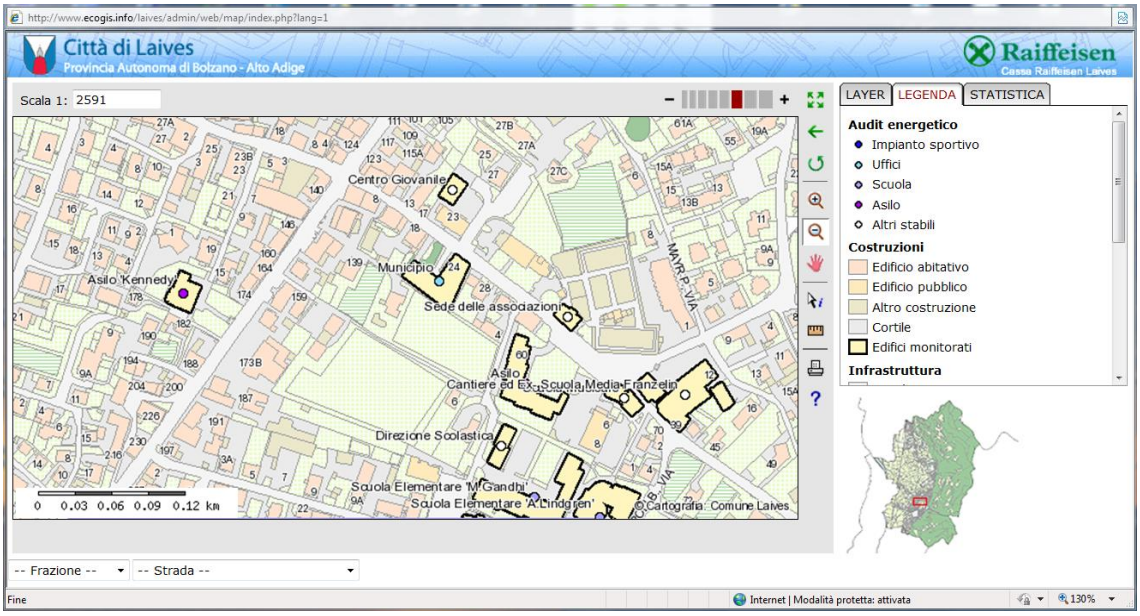


Fig. 35 Mappa degli edifici monitorati
Fonte http://www.ecogis.info/laives/public/web/index.html

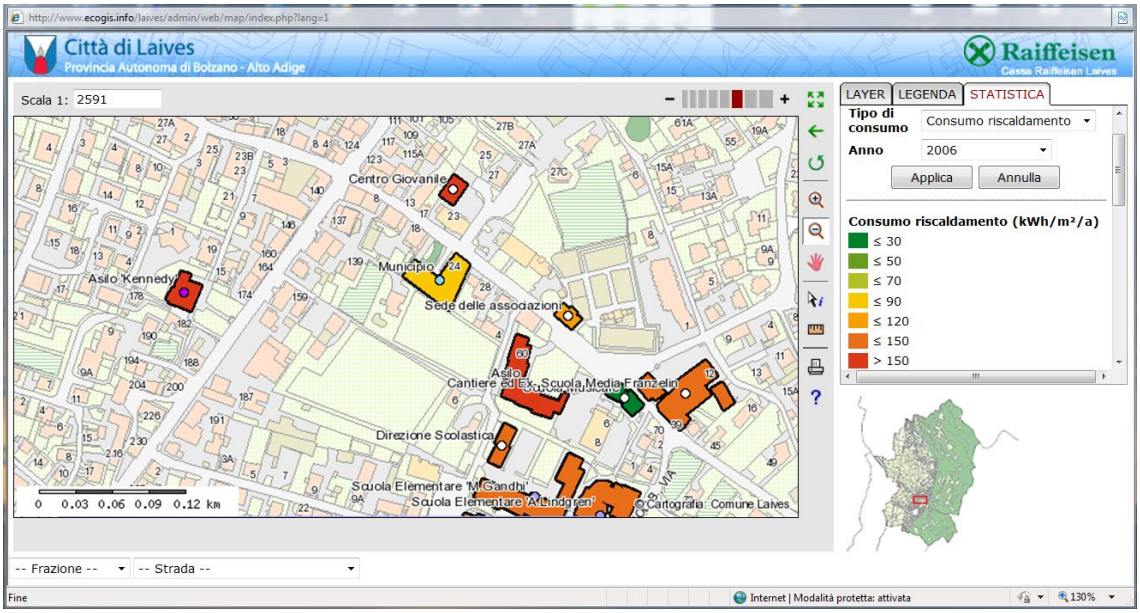


Fig. 36 Mappa dei consumi termici rilevati
Fonte http://www.ecogis.info/laives/public/web/index.html

Per ciascuno degli edifici analizzati è stata pubblicata una scheda descrittiva contenente i principali dati relativi alla gestione energetica ed alle caratteristiche costruttive dell'immobile (Fig. 37).

Fig. 37 Scheda di dettaglio edificio
Fonte http://www.ecogis.info/laives/public/web/index.html

Tale studio, in sintesi, ha restituito una fotografia dello stato attuale dei centri di consumo comunali, a disposizione degli amministratori e dei tecnici per la programmazione degli opportuni interventi correttivi. Attraverso la pubblicazione WEB, gli esiti del lavoro prodotto sono stati inoltre diffusi ai cittadini.

In ultimo, il progetto ha previsto una sezione dedicata al calcolo dell'irraggiamento solare volto a definire, per le falde dei tetti dell'intera città, una stima dell'energia incidente. I risultati sono stati pubblicati sul medesimo portale (Fig. 38): il cittadino, cliccando sul tetto della propria casa, dispone dunque di un primo insieme di elementi, utile a valutare se l'installazione di un impianto solare termico o fotovoltaico possa ritenersi più o meno interessante.

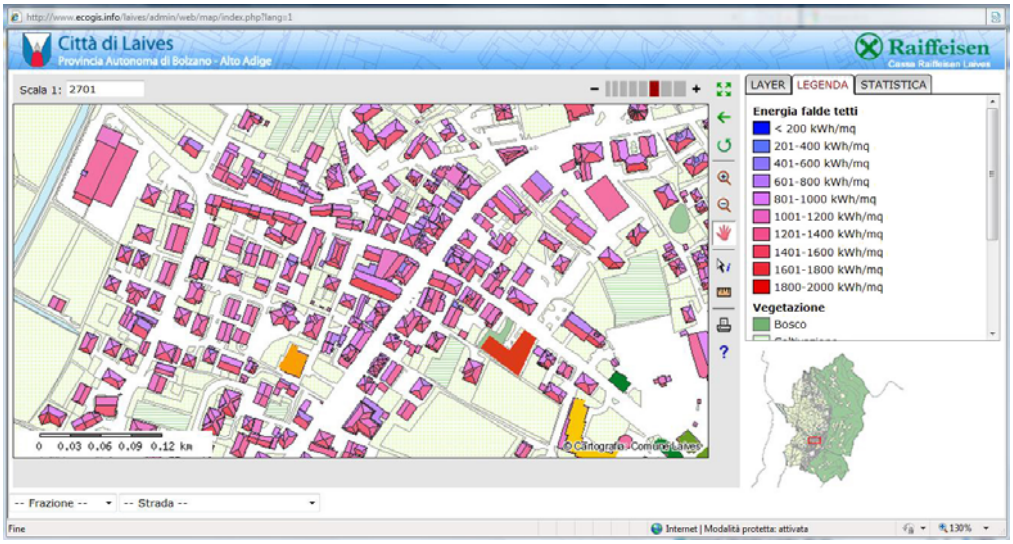


Fig. 38 Stima dell'energia incidente sulle falde dei tetti
Fonte http://www.ecogis.info/laives/public/web/index.html

PROGETTO AUDITGIS CARIPLO

Il progetto, nato a seguito di bando promosso durante gli anni 2006, 2007 e 2008 dalla fondazione Cariplo, ha avuto l'obiettivo di favorire la diffusione degli audit energetici negli edifici dei medi e piccoli comuni, in maniera tale da avviare all'interno delle relative amministrazioni un processo di formazione di competenze specifiche, relative alla gestione energetica degli edifici. Nel corso dei tre anni, il bando ha coinvolto ben 650 comuni al di sotto dei 30·000 abitanti, distribuiti tra le diverse province lombarde e tra quelle piemontesi di Novara e Verbania, per un totale di 2·500 edifici monitorati.

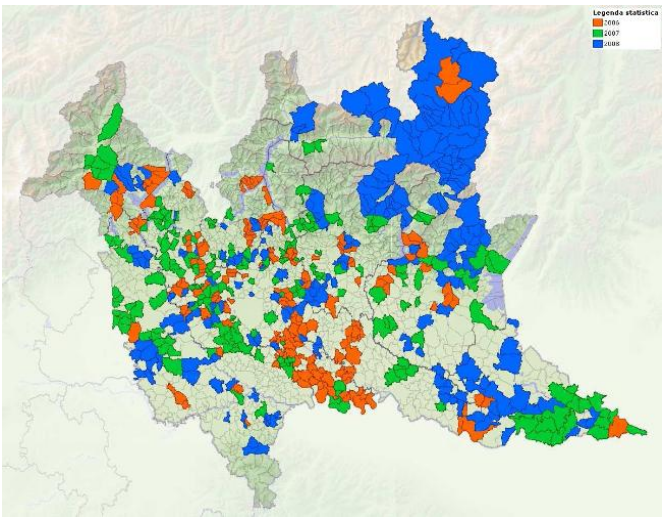


Fig. 39 Comuni coinvolti nei tre anni di bando
Fonte http://www.webgis.fondazionecariplo.it/public/

Per ciascuno degli edifici soggetti ad audit sono stati rilevate informazioni relative ai profili di consumo termico ed elettrico, alle tipologie degli impianti installati nonché informazioni riguardanti le caratteristiche tecniche e costruttive (muri in pietra, muri in mattoni, ...) e la destinazione d'uso dell'immobile (scuole, uffici, impianti sportivi, ...).

I dati di consumo sono stati definiti, anche in questo caso, in termini di indicatori sintetici derivati dal rapporto tra la spesa sostenuta e la superficie dell'edificio. La classe energetica degli edifici è stata indicata dai comuni partecipanti alle edizioni del bando 2006 e 2007 qualora gli stessi immobili fossero stati sottoposti volontariamente a certificazione energetica. Nell'edizione del 2008, la certificazione è stata invece individuata tra le azioni richieste obbligatoriamente dal bando.

L'obiettivo degli audit non è stato esclusivamente quello di fare il punto della situazione dei consumi energetici del patrimonio immobiliare pubblico lombardo e piemontese: sulla base dei dati acquisiti sono stati infatti proposti degli interventi per il miglioramento dell'efficienza energetica, valutandone il potenziale apporto in termini di riduzione dei consumi e delle emissioni di CO_2 ed i tempi di rientro degli investimenti necessari.

I risultati delle edizioni 2006, 2007 e 2008 hanno consentito di definire un'importante ed esaustiva base informativa, di seguito messa a disposizione di cittadini, amministratori ed esperti settoriali. Per mezzo del progetto AuditGIS è stata infatti realizzata una piattaforma WebGIS per la rappresentazione e la georeferenziazione dei risultati degli audit energetici e delle numerose informazioni raccolte.

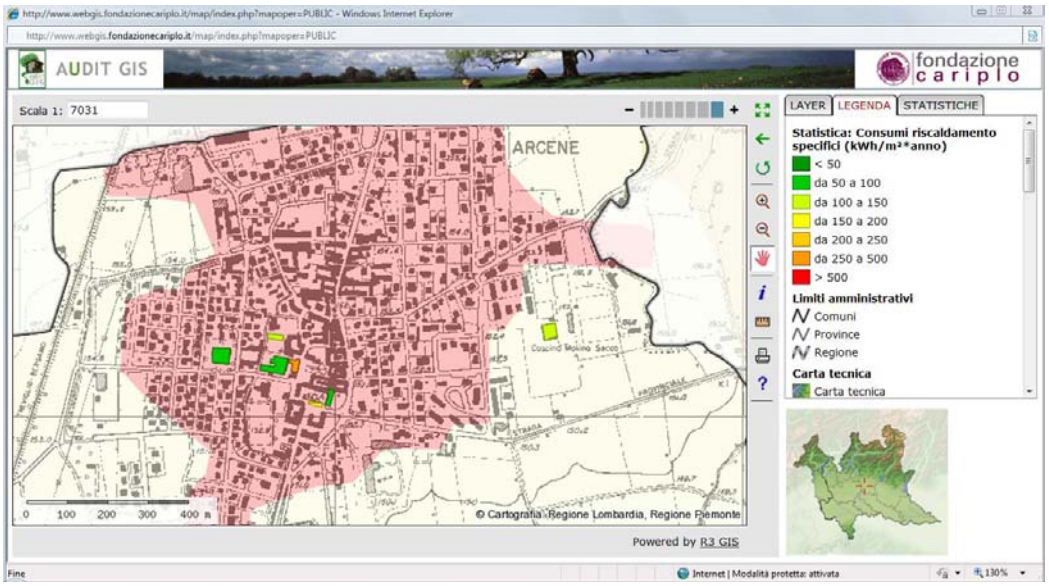


Fig. 40 Mappa dei consumi termici rilevati per gli edifici di Arcene (BG)
Fonte http://www.webgis.fondazionecariplo.it/public/

Attraverso il portale AuditGIS, le informazioni della banca dati sono state completamente rese fruibili al pubblico: è stata prevista sia l'estrazione diretta dei dati, sia la consultazione di un ampio set di statistiche, già elaborate e periodicamente aggiornate, relative ai principali parametri rilevati durante le diagnosi energetiche (consumi elettrici e termici, interventi di miglioramento proposti, CO_2 evitata, stima dei tempi di ritorno degli investimenti, …) e riferite ad ambiti territoriali rappresentativi dell'intera area di riferimento per il progetto (Lombardia e province di Novara e Verbania), delle singole regioni e province o dei singoli comuni.

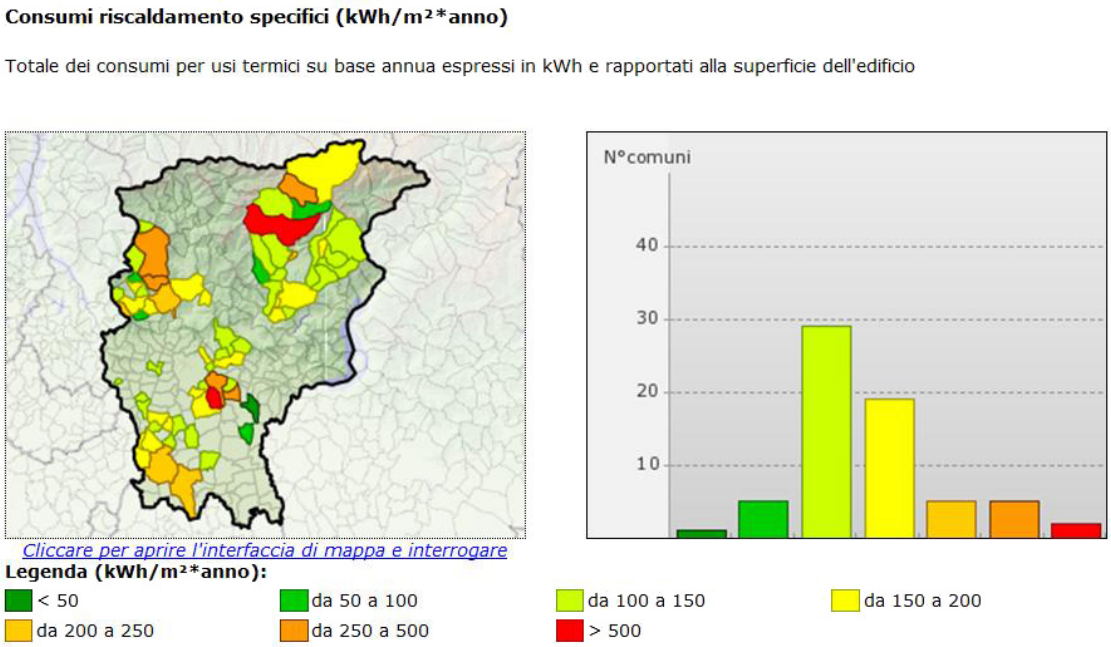


Fig. 41 Indici di consumo termico medio rilevati nei comuni della provincia di Bergamo
Fonte http://www.webgis.fondazionecariplo.it/public/

Anche in questo caso, così come visto in merito al precedente progetto, sono state definite delle schede di dettaglio relative ad ogni edificio sottoposto ad audit, consultabili navigando sulla mappa interattiva pubblicata nel portale.

4.2 Campo di applicabilità: contesto territoriale e patrimonio informativo di riferimento

Il presente paragrafo è diretto ad evidenziare la trasferibilità del modello di indagine sviluppato, dimostrando come l'esperienza locale condotta e di seguito riportata (cfr. capitoli 5 e 6) possa essere ripetuta e riproposta in numerosi contesti senza particolari variazioni o limiti di applicabilità.

Di fatto, la metodologia definita è relativa ad indagini rivolte ad aree urbanizzate le cui caratteristiche tipologiche si ritrovano con facilità in numerose porzioni del territorio nazionale e strutturata attraverso l'utilizzo di banche dati e risorse conoscitive normalmente già facenti parte del patrimonio informativo acquisito dalle strutture e dalle amministrazioni locali operanti nei singoli territori.

4.2.1 Caratteristiche del contesto territoriale di riferimento

L'ambito territoriale di riferimento cui l'indagine viene rivolta può essere tendenzialmente identificato nelle porzioni non centrali e nei quartieri periferici delle aree urbane e metropolitane, contraddistinti da una destinazione d'uso prevalente di tipo abitativa. Il profilo edilizio mediamente caratteristico di tali contesti, rappresentativi di situazioni ampiamente diffuse sul territorio nazionale, può considerarsi ottimale in ragione degli scopi dell'analisi e delle relative modalità operative attraverso cui la stessa viene svolta.

Esiste una vasta letteratura che ha trattato, nel corso del tempo, il tema delle *aree periferiche*: numerosi studi si sono occupati di descriverle e connotarle in relazione alle tipologie edilizie ed alle forme di urbanizzazione in esse identificate, cui in genere ci si riferisce con accezione negativa, nonché di approfondirne ed indagarne l'identità ed i caratteri sociali, economici e culturali. La tradizione individua la periferia quale luogo definito in relazione ad un centro urbano, nella fattispecie quale l'insieme dei quartieri posti a margine dello stesso (Bellicini, 2001). Nella presente tesi, la connotazione di quartiere periferico viene utilizzata per definire l'agglomerazione che sta a metà tra il nucleo della città vecchia e la campagna, che non ha dunque né le caratteristiche di densità e compattezza del tessuto urbano tipico dei centri storici, né quelle di dispersione dell'insediamento frammentato e sparpagliato, proprio delle più recenti espansioni residenziali ed identificato dalla terminologia contemporanea attraverso il concetto di *urban sprawl*.

Le periferie possono considerarsi quale un'invenzione della città moderna, che fa seguito all'abbattimento delle cinte murarie di difesa, divenute inutili col trascorrere del tempo (Cerasoli, 2008). In tal senso, un primo criterio per circoscrivere l'ambito proprio di tali porzioni può essere quello relativo all'epoca di costruzione degli edifici, ovvero quello di separare ciò che è stato costruito prima, il centro, da quanto è stato costruito dopo, la periferia (Bellicini, 2001). Se si trasferisce tale concetto a tutto il patrimonio edilizio italiano

(Tab. 5), tralasciando la segmentazione tra edilizia urbana ed edilizia rurale diffusa, si nota come la maggioranza della popolazione nazionale (quasi l'80%) risieda in edifici costruiti dopo il 1945: in altre parole, ad ora, la gran parte della popolazione urbana vive ed abita in periferia così come la città di oggi è quasi totalmente composta dalla periferia.

Localizzazione per epoca di costruzione	Abitazione		Occupanti	
	Numero	%	Numero	%
Città storica - prima del 1919	3893567	14,3%	6505099	11,5%
Città moderna - dal 1919 al 1945	2704969	9,9%	4908063	8,7%
Periferia anni '50 - dal 1946 al 1961	**4333882**	**15,9%**	**8736962**	**15,5%**
Periferia anni '60 - dal 1962 al 1971	**5707383**	**20,9%**	**12255801**	**21,7%**
Periferia anni '70 - dal 1972 al 1981	**5142940**	**18,9%**	**11367273**	**20,1%**
Periferia anni '80 - dal 1982 al 1991	**3324794**	**12,2%**	**7887056**	**14,0%**
Periferia anni '90 - dopo il 1991	2161345	7,2%	4816251	8,5%
Totale	27268880		56476505	

Tab. 5 Peso delle periferie in Italia
Fonte Rielaborazione da Bellicini L. (2001) *"Periferia Italiana"* Meltemi Editore, eseguita su dati ISTAT (14° Censimento della popolazione e delle abitazioni - 2001)

L'avvio del processo di espansione delle aree pericentrali e periferiche, che ha caratterizzato la recente storia contemporanea, può essere fatto coincidere col termine della seconda guerra mondiale, momento in cui l'Italia si trova a dover rispondere alle esigenze di ricostruzione e sviluppo ed a dover far fronte ai pesanti danni causati dal conflitto. Infatti, proprio nel decennio a cavallo del 1950, le prime periferie cominciano a sorgere, sotto varie forme, per ospitare le molteplici ondate di emigranti che abbandonano paesi e piccoli borghi, soprattutto dal centro e dal sud del paese, che vedono nella città le opportunità di una vita nuova e migliore (Cerasoli, 2008). I nuovi quartieri, nati in quegli anni nelle cinture delle città, possono ripartirsi in due grandi famiglie di periferie: quelle *spontanee* e quelle *pianificate* (Cerasoli, 2008). Le prime sorgono ai margini delle città, occupando gli ex terreni agricoli, sulla spinta di ripetute emergenze abitative, spesso rimaste insoddisfatte, mentre le seconde derivano invece dalla redazione ed attuazione dei primi piani urbanistici comunali.

Agli albori dell'epoca del boom economico, gli anni '60, le città si espandono rapidamente per dare risposta alle necessità di nuove residenze e servizi destinati a coloro che giungono dalle diverse parti del paese, in cerca di occupazione e nuove prospettive di vita. La popolazione tende a concentrarsi nelle aree urbane e la speculazione edilizia cresce; i centri storici cominciano lentamente a svuotarsi dagli abitanti tradizionali mentre si sviluppano nuovi quartieri residenziali, sia borgate di lusso che borgate più povere. Nonostante quegli anni, fiorenti per il settore delle costruzioni, vedano la realizzazione di

nuovi e molteplici edifici, in numerose situazioni l'emergenza abitativa rimane comunque non risolta ed il problema della casa persiste con tutta la sua gravità. I governi, sebbene con risorse non sempre adeguate, tentano di intervenire cercando di affrontare in modo organico la questione dell'edilizia residenziale pubblica: attraverso la legge 167/1962[72] e le norme che sono seguite, viene dato l'avvio alla realizzazione di ingenti programmi per l'esecuzione di opere sovvenzionate o a totale carico dello stato, in particolar modo nel settore abitativo, che portano al completamento di numerosi quartieri di edilizia popolare. La spinta propulsiva propria degli anni della ricostruzione è contraddistinta dunque da una forte esigenza di soddisfare il fabbisogno primario dell'abitazione, con un'attenzione spesso maggiormente rivolta alla quantità, piuttosto che alla qualità, delle opere prodotte.

Nei decenni successivi si realizzano in Italia, grazie all'iniziativa dello stato, numerosi fabbricati abitativi e per la disciplina dell'edilizia residenziale pubblica sono promulgate diverse leggi, tuttora costituenti un complesso ed articolato corpus normativo. Molti dei quartieri sorti in quegli anni, ad oggi caratterizzati da problematiche di obsolescenza edilizia e di abbandono, necessitano allo stato attuale di ingenti interventi di riqualificazione.

Come visto, le periferie si sviluppano allo stato odierno su una buona parte dei territori comunali. La loro crescita è stata in molti casi subordinata alle condizioni ed alle necessità proprie del momento e dello specifico contesto in cui sono venute a crearsi, tuttavia, seppur con ragionevoli differenze esistenti nei singoli casi, è oggi spesso possibile riconoscere in tali ambiti urbani, porzioni di aree tipizzate che si ritrovano e si ripetono, con le medesime caratteristiche, nelle diverse città italiane: il centro direzionale, commerciale e terziario, i poli industriali, gli assi di scorrimento, il quartiere dormitorio ecc.. Il medesimo principio vale anche per quanto riguarda, nello specifico, le tipologie edilizie abitative: il villino mono/bifamiliare, la palazzina privata, l'insediamento pubblico, ecc.., si ripropongono con le stesse caratteristiche in ciascuna delle periferie delle nostre città. Si rileva, in altre parole, una connotazione tipologica prevalente rispetto a quella territoriale, ovvero un'omogeneizzazione delle tipologie insediative, ripetute e riproposte senza alcun legame apparente con le specificità del contesto geografico in cui sono venute a collocarsi.

Il modello di analisi dell'efficienza energetica sviluppato nella presente tesi si rivolge in primo luogo a tale tipologia di contesti urbani in virtù della loro diffusione sul territorio nazionale, caratteristica che ne avvalora le possibilità di ripetibilità e trasferibilità. In aggiunta a ciò, come premesso nella prima parte del paragrafo, si evidenzia come il profilo edilizio caratteristico di tali ambiti possa essere considerato ottimale anche in ragione delle modalità operative attraverso cui si svolge la stessa analisi.

[72] Legge ordinaria del Parlamento 18 aprile 1962, n. 167 *"Disposizioni per favorire l'acquisizione di aree fabbricabili per l'edilizia economico e popolare"* (G.U. n. 111 del 30/04/1962)

I centri storici sono in genere caratterizzati da una tipologia insediativa fitta, contraddistinta da agglomerati costruttivi aggregati e da cortine edilizie continue, spesso conseguenza della limitatezza dello spazio un tempo edificabile, contenuto all'interno delle mura di difesa. Il tessuto urbano periferico è invece connotato da maglie tendenzialmente regolari e da edificazioni normalmente isolate (villini unifamiliari, schiere, torri, ecc.), perimetralmente distaccate l'una dalle altre.

Come anticipato (cfr. paragrafo 4.1.1), la metodologia di analisi individua nel singolo edificio l'unità di indagine cui riferire i consumi e le banche dati informative che si rendono disponibili. Operativamente, l'analisi condotta in GIS prevede l'utilizzo di una cartografia vettoriale, definita presumibilmente mediante processi di restituzione aerofotogrammetrica, nell'ambito della quale siano individuate entità geometriche specifiche rappresentative dei singoli edifici. La maggiore complessità della maglia e dell'articolazione del tessuto urbano all'interno dei centri storici, può rendere difficile la digitalizzazione accurata e precisa della sagoma di ciascuna struttura: nella cartografia, i perimetri degli edifici possono dunque essere restituiti con minore esattezza, talvolta accorpando in comparti unici corpi edilizi contigui, rendendo di conseguenza impossibile distinguere l'una o l'altra struttura (Fig. 42). La vettorializzazione grafica è invece relativamente più semplice, nonché probabilmente più precisa, qualora il processo di restituzione riguardi strutture tipologicamente meno complesse e non contigue, quali edifici isolati e distaccati l'uno dagli altri (Fig. 43).

Fig. 42 Tessuto edilizio in un contesto di centro storico (Trento): visione da terra, ripresa aerea e restituzione cartografica
Fonte Elaborazione con immagine Google Street View, ortofoto Servizio Sistema Informativo del Comune di Trento, cartografia numerica del Comune di Trento

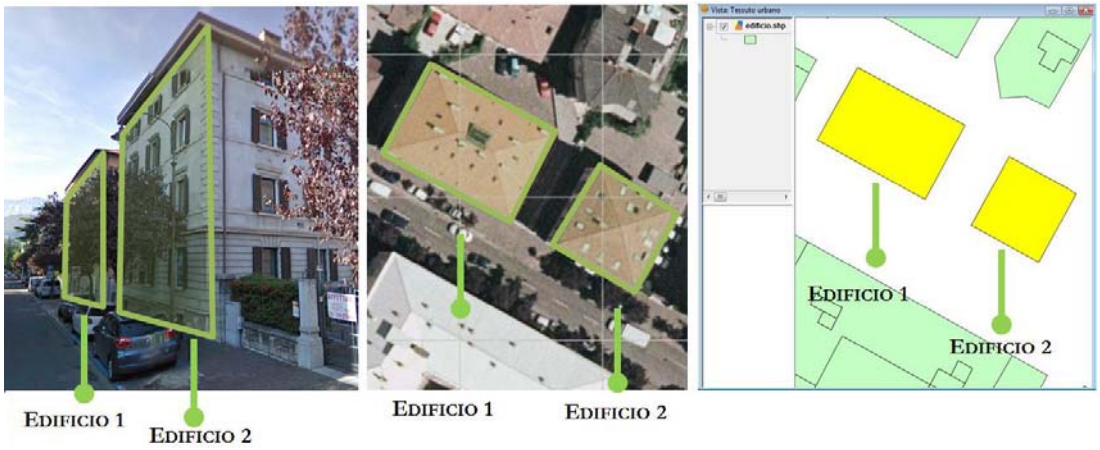


Fig. 43 Tessuto edilizio in un contesto di area pericentrale (Trento): visione da terra, ripresa aerea e restituzione cartografica
Fonte Elaborazione con immagine Google Street View, ortofoto Servizio Sistema Informativo del Comune di Trento, cartografia numerica del Comune di Trento

Sintetizzando quanto espresso nel presente paragrafo, gli ambiti urbanizzati periferici a destinazione abitativa costituiscono il contesto territoriale ottimale per l'applicazione del modello di indagine sviluppato, in relazione ad una molteplicità di aspetti connessi in particolar modo alle seguenti considerazioni:

- la maggioranza delle unità residenziali sono, ad oggi, site al di fuori dei centri storici
- la tipologia edilizia tipica di tali contesti rende più facile e più agevole lo svolgimento della fase meramente operativa dell'indagine

- è significativo programmare degli interventi in tali contesti, ove il miglioramento delle prestazioni energetiche può essere abbinato ad azioni di riqualificazione architettonica ed urbana di edifici ed aree spesso connotati da situazioni di degrado.

Non da ultimo, si precisa che il campo di indagine di riferimento debba essere inoltre ristretto in relazione alle condizioni climatiche al contorno, le quali devono essere tali per cui la spesa energetica connessa al riscaldamento dell'edificio possa considerarsi rilevante sull'ammontare dei consumi energetici complessivi sostenuti.[73]

4.2.2 Caratteristiche del patrimonio informativo di riferimento

Scopo del presente paragrafo è il riconoscimento dei fattori e delle variabili potenzialmente influenti sulla spesa energetica, ovvero l'identificazione delle banche dati che possono essere adottate al fine di una caratterizzazione dei consumi. Il patrimonio informativo di riferimento, di seguito definito, è stato articolato in gruppi tematici di indagine, nell'ambito dei quali sono stati contemplati, oltre alle informazioni pertinenti alla singola e specifica fabbrica edilizia, anche elementi peculiari del contesto territoriale/climatico di riferimento e del tessuto urbano in cui l'edificio è sito. Ogni singola variabile di influenza individuata può essere quantificata o qualificata attraverso risorse informative specifiche; risorse che acquisite, elaborate e diffuse grazie alle molteplici possibilità offerte dal complesso della *Information and Communication Technology* (ICT), divengono importanti elementi per definire quadri conoscitivi utili ad una maggiore e più ampia comprensione delle caratteristiche energetiche degli edifici cui è rivolta l'analisi.

Come premesso, si sono individuate aree tematiche di riferimento in relazione alle quali la spesa energetica può essere caratterizzata:

- Contesto fisico/morfologico e climatico
- Struttura urbana
- Sistema edificio-impianto
- Utenza

Le variabili informative pertinenti alle prime due aree di indagine, sono relative a caratteristiche proprie del sito al contorno mentre nei rimanenti gruppi si individuano invece fattori puntuali e specifici del singolo edificio. Le osservazioni riportate nelle sezioni dedicate all'esame del tessuto urbano e del rapporto col contesto fisico e morfologico di

[73] Come già esposto nel precedente paragrafo, l'indagine valuta la prestazione energetica sulla base dei consumi termici sostenuti per il riscaldamento. In tal senso, risulta dunque essere poco significativo allargare l'indagine a contesti in cui, tendenzialmente, la spesa energetica per il fabbisogno invernale è meno importante in virtù di condizioni climatiche maggiormente favorevoli.

riferimento, possono definirsi di particolare interesse non solo ai fini di una caratterizzazione dei consumi, bensì, soprattutto, anche nell'ambito di analisi e verifiche delle prestazioni energetiche della struttura urbana, svolte a supporto di una pianificazione del territorio attenta a criteri di sostenibilità.

Si riporta, in una prima parte, una motivazione del perché i fattori caratteristici di ciascuna delle aree tematiche previste possano ritenersi influenti ed interessanti ai fini dell'indagine. Al termine del paragrafo, in una tabella di sintesi (Tab. 6, pag. 147), vengono invece identificate le risorse informative attraverso le quali le singoli variabili individuate possono essere quantificate o qualificate.

CONTESTO FISICO/MORFOLOGICO E CLIMATICO

Gli elementi conoscitivi pertinenti a tale area sono relativi ad un'analisi del sito (latitudine, longitudine, altitudine, ecc.) e dei suoi agenti fisici caratteristici (clima igrotermico e precipitazioni, ventosità, intensità della radiazione solare, disponibilità di luce naturale, ecc.). Tali fattori esercitano infatti una forte influenza sullo scambio energetico tra la struttura edilizia e l'ambiente esterno e, conseguentemente, sul fabbisogno di energia necessaria all'utilizzo dell'edificio ed al mantenimento delle condizioni di comfort negli ambienti interni. E' implicito, a titolo d'esempio, che climi particolarmente freddi o particolarmente caldi richiedano un maggiore consumo di energia nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro per il riscaldamento o il raffrescamento degli stessi così come è implicito che nell'ambito di località contraddistinte da valori più favorevoli dell'irraggiamento solare medio annuo (Fig. 44) risulti essere più elevato il potenziale di energia, elettrica o termica, generabile attraverso l'ausilio di impianti fotovoltaici o collettori solari.

Come anticipato, è tuttavia doveroso precisare che analisi di questo genere, più che ad una caratterizzazione ex post dei consumi sostenuti, così come presupposto dagli obiettivi del lavoro, possano risultare maggiormente utili nell'ambito di indagini preliminari alla progettazione edilizia o alla pianificazione urbanistica, volte a garantire che le scelte morfologiche e tecnologiche adottate siano rispondenti a criteri di sostenibilità. La conoscenza e la ricognizione delle caratteristiche peculiari del contesto morfologico e climatico di riferimento possono infatti preludere alla ricerca di soluzioni tipologiche, sia alla scala architettonica che a quella urbana, e di scelte impiantistiche maggiormente condizionate dalle specificità del sito, capaci di ottimizzare lo sfruttamento delle risorse disponibili in loco e di minimizzare dunque l'ammontare dei consumi energetici. Tali principi e fondamenti sono alla base della cosiddetta architettura bioclimatica o progettazione eco compatibile.

Fig. 44 Irraggiamento solare medio annuo dell'Italia
Fonte http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

STRUTTURA URBANA

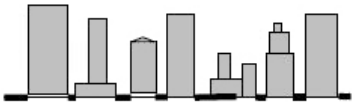
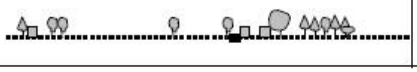
Numerosi aspetti delle aree urbane sono in grado di esercitare un significativo impatto su molteplici parametri climatici, i quali, nel contesto di influenza delle città, assumono caratteristiche del tutto peculiari e distinte. Il microclima urbano, infatti, risulta essere notevolmente condizionato dall'interazione tra agenti fisici e proprietà strutturali delle aree urbanizzate: l'estensione della città e la concentrazione insediativa, le dimensioni e le geometrie dei manufatti, i materiali ed i colori delle strutture, la distribuzione della vegetazione, ecc., possono comportare una notevole incidenza sulle condizioni climatiche ed ambientali rilevate alla scala locale.

Analogamente a quanto già osservato in riferimento alla precedente sezione tematica, l'analisi della morfologia urbana risulta di particolare interesse qualora diretta a supportare processi di pianificazione volti a garantire uno sviluppo della città rispondente a criteri di sostenibilità. La caratterizzazione ex post dei consumi rilevati in relazione ad aspetti specifici propri della struttura urbana circostante, può essere tuttavia significativa qualora la spesa energetica considerata riguardi il raffrescamento degli ambienti interni: come di seguito descritto, il microclima urbano risulta infatti fortemente influenzato dalla capacità

delle aree edificate di immagazzinare maggiormente il calore rispetto al territorio non costruito. L'analisi del tessuto della città può dunque essere particolarmente rilevante per i centri urbani siti alle latitudini mediterranee, nell'ambito dei quali, durante la stagione estiva, si riscontrano incrementi notevoli della temperatura, nonché dell'inquinamento, rispetto ai valori rilevati nei territori limitrofi.

Interessanti approfondimenti in merito a tali tematiche sono stati compiuti da Tim R. Oke (British Columbia, Canada). Tra le componenti fondamentali per l'analisi e la rappresentazione delle peculiarità meteorologiche proprie di un'area urbana, Oke ha individuato elementi strettamente legati alle caratteristiche fisiche e morfologiche della città, giungendo ad articolare uno schema di *zone climatiche urbane*[74], ciascuna delle quali contraddistinta da una maggiore o minore capacità di influenza sui valori di temperatura, umidità e ventosità rilevati a scala locale. Le zone climatiche urbane di Oke sono definite in relazione alla struttura del tessuto edificato (Fig. 45, colonna *image*), alla classe di rugosità del terreno (*roughness*), al rapporto tra l'altezza dei principali elementi fisici sviluppati in verticale, edifici ed alberi, e le strade, o spazi liberi, tra di essi esistenti (*aspect ratio*) nonché, infine, in relazione alla percentuale di superficie impermeabilizzata (*% built*). L'importanza dello schema definito da Oke non viene riconosciuta nell'assoluta accuratezza con cui sono descritte le aree in questione, bensì nella capacità di classificare le zone di una comunità in porzioni di territorio aventi analoghe capacità di modificare il microclima locale. Nella figura che segue, le zone climatiche urbane sono ordinate in relazione alla loro potenziale capacità di impatto.

[74] Oke T. R. (2004), *"Initial Guidance to obtain representative metereological observation at urban sites"*, WMO Ginevra

Urban Climate Zone, UCZ[1]	Image	Rough-ness class[2]	Aspect ratio[3]	% Built (imperm-eable)[4]
1. Intensely developed urban with detached close-set high-rise buildings with cladding, e.g. downtown towers		8	> 2	> 90
2. Intensely developed high density urban with 2 – 5 storey, attached or very close-set buildings often of brick or stone, e.g. old city core		7	1.0 – 2.5	> 85
3. Highly developed, medium density urban with row or detached but close-set houses, stores & apartments e.g. urban housing		7	0.5 – 1.5	70 - 85
4. Highly developed, low or medium density urban with large low buildings & paved parking, e.g. shopping mall, warehouses		5	0.05 – 0.2	70 - 95
5. Medium development, low density suburban with 1 or 2 storey houses, e.g. suburban housing		6	0.2 – 0.6, up to >1 with trees	35 - 65
6. Mixed use with large buildings in open landscape, e.g. institutions such as hospital, university, airport		5	0.1 – 0.5, depends on trees	< 40
7. Semi-rural development, scattered houses in natural or agricultural area, e.g. farms, estates		4	> 0.05, depends on trees	< 10

Key to image symbols: buildings; vegetation; impervious ground; pervious ground

Fig. 45 Le zone climatiche urbane di Oke
Fonte Oke T. R. (2004), *"Initial Guidance to obtain representative metereological observation at urban sites"*, WMO Ginevra

Come premesso, poiché il microclima locale risulta essere fortemente influenzato dall'interazione tra l'irraggiamento solare e le caratteristiche fisiche della struttura e della morfologia urbana, le analisi di tali aspetti possono ritenersi particolarmente rilevanti nei contesti contraddistinti da un clima caldo o temperato. Uno dei maggiori fenomeni di amplificazione degli effetti provenienti dalla radiazione solare, determinato dalla conformazione del tessuto urbanizzato, è infatti quello costituito dalla *trappola termica* che può venirsi a costituire qualora gli edifici siano eccessivamente ravvicinati l'un l'altro (DePascali, 2001): le pareti delle strutture e le superfici stradali, agendo da riflettori, provocano il rimbalzo di quote via via decrescenti della componente radiativa, comportando di conseguenza un aumento degli assorbimenti complessivi di calore da parte delle murature, del terreno e del volume d'aria intermedio (Fig. 46). La trappola termica riduce in sostanza la quota di irraggiamento solare riflesso e disperso verso l'alto, lontano dall'edificio, generando un aumento delle temperature, noto anche come effetto *canyoning*,

le cui potenzialità sono decisamente minori qualora si abbia a che fare con edifici collocati ad una distanza tale per cui gli effetti della radiazione riflessa divengono insignificanti.

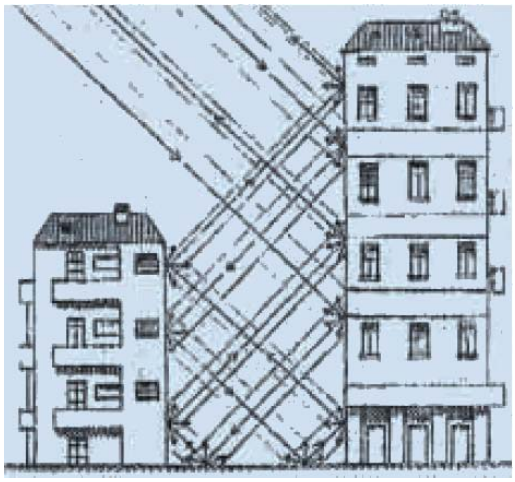


Fig. 46 Trappola termica urbana
Fonte Borghi S. (1998), *"Il Clima"* in Natura Oggi 1/1998

Oke ha indagato quest'aspetto individuando una metodologia attraverso cui stimare l'accumulo istantaneo di calore solare in porzioni urbane contraddistinte da una percentuale determinata di superficie edificata, rilevando che, a parità di radiazione, più l'ambiente risulta costruito, maggiore è l'immagazzinamento di calore diurno e maggiore il rilascio di calore notturno. Le equazioni definite da Oke a tal proposito si limitano tuttavia a considerare unicamente la percentuale di superficie coperta quale parametro urbano discriminante, tralasciando invece altri elementi estremamente significativi ai sensi del fenomeno in oggetto quali, ad esempio, l'altezza delle costruzioni o i valori di albedo[75] delle superfici.

Il fenomeno localizzato della trappola termica genera, alla scala urbana, l'effetto noto come *isola di calore*, concetto che identifica la zona atmosferica sovrastante la città, nel contesto della quale si registrano temperature mediamente più elevate rispetto a quelle dei territori circostanti.

La città interagisce con gli agenti climatici ed energetici rilevati alla scala locale, andando in particolar modo a modificare il bilancio termico tra l'energia solare in entrata e l'energia riflessa e rilasciata a posteriori. L'approfondimento dei concetti esposti nel presente sottoparagrafo, come detto, può considerarsi di particolare rilievo ai fini di una corretta

[75] L'albedo individua il potere riflettente di una superficie, misurando la frazione di radiazione incidente che viene riflessa in tutte le direzioni. L'esatto valore della frazione dipende, per lo stesso materiale, dalla lunghezza d'onda della radiazione considerata. La maggiore o minore radiazione riflessa, e il conseguente minore o maggiore assorbimento, possono influenzare la temperatura della superficie considerata.

pianificazione energetica urbana, consapevole del fatto che la spesa energetica del singolo edificio è conseguenza, tra le altre cose, anche della struttura insediativa complessiva.

SISTEMA EDIFICIO/IMPIANTO

Gli elementi conoscitivi analizzati in questa sezione sono quelli per i quali risultano più diretti ed evidenti il nesso e l'influenza determinata sulla spesa energetica sostenuta, ovvero quelli che, con maggiore facilità, si prestano ad una caratterizzazione del consumo finale rilevato. Le variabili informative descrittive del sistema edificio-impianto devono essere rappresentative sia del progetto architettonico/compositivo proprio della struttura edilizia, sia delle scelte tecnologiche in essa incorporate. È necessario cioè descrivere l'edificio sulla base di un approccio di tipo globale, che dettagli quanti più fra gli elementi potenzialmente in grado di condizionarne il fabbisogno energetico. Le caratteristiche dell'edificio utili ai fini dell'indagine possono dunque riguardare, tra gli altri, i seguenti aspetti:

- orientamento ed ombreggiatura
- geometria e morfologia
- caratteristiche dei materiali costruttivi
- tipologia dei sistemi impiantistici

ecc.

Relativamente al primo punto dell'elenco, il bilancio energetico tra edificio ed ambiente esterno risulta essere influenzato dall'orientamento della struttura e dalla relativa esposizione all'irraggiamento solare. Gli studi dedicati all'architettura solare hanno dimostrato come lo sviluppo longitudinale dell'edificio lungo l'asse est-ovest, grazie al quale si massimizza cioè il fronte esposto a sud, consente di ottimizzare il beneficio derivante dagli apporti termici solari. Durante l'inverno, infatti, quando il sole sorge a sud-est e tramonta a sud-ovest, il lato esposto a sud è l'unico a ricevere radiazioni per tutto il giorno, inoltre, poiché in tale stagione la posizione del sole è bassa, i raggi incidono sulla facciata quasi perpendicolarmente, raggiungendo attraverso le finestre le aree più profonde delle stanze. In estate invece, quando la posizione del sole è alta, i suoi raggi incidono a mezzogiorno ad angolo acuto, colpendo dunque la facciata in maniera significativamente meno intensa. Ciò significa che il lato a sud riceve il massimo delle radiazioni proprio in inverno, quando vi è maggiore necessità di beneficiare di un apporto termico, minimizzando viceversa tale apporto durante la stagione estiva (Fig. 47). L'orientamento dell'edificio e la distribuzione delle aperture possono dunque ritenersi fattori capaci di influire sulla spesa energetica necessaria al mantenimento della temperatura di comfort.

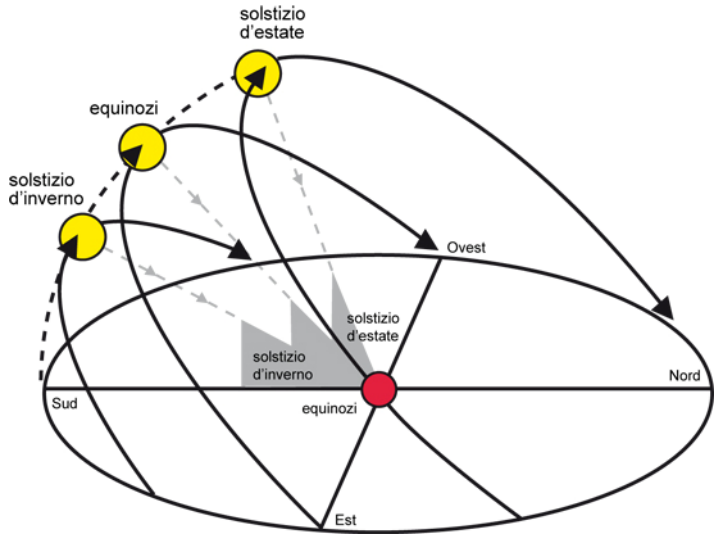


Fig. 47 Radiazione solare ed orientamento dell'edificio
Fonte http://www.rw-buildingschool.it/formazione/consigli+progettuali/orientamento

Altra variabile condizionata dall'orientamento della struttura edilizia riguarda l'esposizione delle falde di copertura, fattore di estrema rilevanza al fine di definire il potenziale di sfruttamento della fonte solare, attraverso l'installazione di impianti fotovoltaici e collettori termici.

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche/morfologiche, quella di maggior importanza ai fini del presente studio riguarda la compattezza della struttura. Quanto più l'edifico è compatto, minore è infatti, a parità di volume, la superficie disperdente esposta all'esterno. La sfera è la forma solida per la quale si massimizza tale caratteristica; la geometria che più le si avvicina, non essendo la sfera adottabile nell'edilizia, è costituita dal cubo. Si ricorda a tal proposito come la normativa nazionale preveda che la scala di valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio sia parametrata, oltre che sui gradi giorno, proprio sul fattore di compattezza della struttura, espresso dal rapporto S/V.

In merito alle caratteristiche dei materiali costruttivi, l'elemento principale riguarda la capacità di isolamento termico delle strutture perimetrali, definita dal valore di trasmittanza delle medesime. La trasmittanza risulta essere condizionata dallo spessore e dal valore di conducibilità termica[76] propri di ogni singolo componente stratigrafico della struttura considerata.

[76] La conducibilità termica valuta l'attitudine di un materiale a consentire il passaggio del calore, quantificando il flusso termico che attraversa una superficie unitaria di spessore unitario sottoposta ad una differenza di temperatura di 1°C. Si indica convenzionalmente con il simbolo λ e si esprime in W/mK.

Tale parametro, come già visto nel precedente capitolo (cfr. paragrafo 2.4.2) può essere misurato attraverso strumenti specifici. In mancanza di essi è possibile, in alternativa, risalire ad un valore indicativo della trasmittanza delle strutture, sia verticali che orizzontali, sulla base della data di realizzazione dell'edificio. L'attenzione rivolta al grado di dispersione delle strutture è divenuta infatti sempre più rilevante con l'evolversi della normativa dedicata al risparmio energetico ed i parametri di prestazione dell'involucro edilizio sono divenuti sempre più stringenti. Qualora non si possa eseguire una misurazione rigorosa, è dunque possibile definire la trasmittanza ricorrendo ad abachi semplificati, quali quelli contenuti nella normativa tecnica UNI/TS 11300 (Fig. 48). Nella fattispecie, i prospetti riportati dalla suddetta fanno riferimento a strutture edilizie realizzate in periodi durante i quali la legislazione prevedeva una verifica dell'isolamento termico sulla base di un coefficiente medio globale di dispersione dell'involucro ed individuano, di conseguenza, valori medi indicativi delle trasmittanze che consentivano il rispetto dei limiti di legge in vigore nel relativo periodo di costruzione.

Trasmittanza termica delle strutture coibentate [W/(m^{2}K)]

Spessore [m]	Zona climatica			
	C o D		E o F	
	Anno di costruzione			
	1976-1985	1986-1991	1976-1985	1986-1991
Chiusure verticali opache				
0,25	1,20	0,81	0,81	0,61
0,30	1,15	0,79	0,79	0,60
0,35	1,10	0,76	0,76	0,59
0,40	1,10	0,76	0,76	0,59
Chiusure verticali opache verso ambienti interni				
0,25	1,11	0,77	0,77	0,59
0,30	0,99	0,71	0,71	0,55
0,35	0,98	0,70	0,70	0,55
Coperture piane				
0,20	1,85	1,06	1,06	0,75
0,25	1,70	1,01	1,01	0,72
0,30	1,50	0,93	0,93	0,68

Fig. 48 Determinazione semplificata della trasmittanza termica dei componenti opachi in edifici esistenti
Fonte UNI/TS 11300 - parte 1

La capacità dell'involucro di limitare le dispersioni termiche è condizionata, oltre che dalla bontà dei materiali, anche da una valida esecuzione delle strutture, che garantisca la correzione di eventuali ponti termici.

Infine, così come introdotto dalla legge 10, al fine di un'analisi energetica, è necessario considerare come un tutt'uno il sistema edificio/impianto. Le proprietà dell'impianto di più agevole adozione nell'ambito del modello considerato, riguardano la tipologia di

combustibile ed il rendimento medio stagionale. La definizione del rendimento dell'impianto richiede, come visto, una conoscenza estremamente dettagliata delle numerose specifiche che contraddistinguono i sottosistemi di emissione, regolazione, distribuzione e generazione. Anche in questo caso, la normativa UNI/TS 11300 provvede a fornire valori indicativi del rendimento dei sottosistemi impiantistici, individuati in relazione a caratteristiche determinate che possono ritenersi influenti ai fini della definizione del rendimento del sottosistema specifico (ad esempio, per quanto riguarda l'emissione, le tabelle riportate dalla norma individuano valori di rendimento articolati in funzione dell'altezza dei locali, parametro che influenza in maniera significativa l'entità delle perdite associate a tale sottosistema).

UTENZA

Le variabili specifiche di tale gruppo di indagine sono con molta probabilità le più difficili da articolare in maniera sistematica, in quanto è meno vasta la letteratura che, ad oggi, si è occupata di tali temi specifici. Si ritiene tuttavia indispensabile, ai fini di una completa analisi energetica, integrare le informazioni di tipo tecnico con elementi conoscitivi inerenti aspetti demografici, sociali e culturali peculiari dell'utenza. La composizione, il comportamento, le disponibilità economiche e la propensione al consumo delle famiglie sono infatti elementi che, direttamente o indirettamente, hanno un'influenza sulla spesa energetica. L'esame della variabilità dei consumi in relazione a talune specifiche demografiche, può pertanto costituire un valido supporto alla programmazione di campagne informative volte a promuovere comportamenti di consumo più ecologici.

L'approfondimento della conoscenza relativa ai potenziali fattori influenti il fabbisogno energetico degli edifici può essere utile ai fini dello sviluppo di nuovi modelli e metodi di previsione dei consumi, nonché alla programmazione di linee di intervento finalizzate al risparmio energetico. Le variabili individuate, articolate all'interno delle macroaree di indagine precedentemente definite, sono state associate nello schema di seguito riportato (Tab. 6) a risorse informative specifiche, attraverso le quali ciascuna di esse può essere qualificata o quantificata. Diverse fra le risorse identificate, quali ad esempio le riprese termografiche, da aereo o da terra, utili ad una valutazione delle dispersioni termiche dai tetti o dalle pareti, o i modelli digitali del terreno (DTM) e delle superfici (DSM), con molta probabilità non sono disponibili, allo stato attuale, in ogni singolo contesto territoriale. Molte altre fanno però riferimento a giacimenti informativi generalmente in possesso delle pubbliche amministrazioni; si pensi, ad esempio, alle molteplici informazioni potenzialmente estraibili da numerosi archivi comunali o alle informazioni desumibili dai rilevamenti Istat: elementi conoscitivi che, se messi a sistema, possono dare un contributo ad una maggiore comprensione del fenomeno indagato.

Tema di indagine	Variabile	Dato	Risorsa informativa
CONTESTO FISICO/MORFOLOGICO CONTESTO CLIMATICO	Localizzazione	lat/long/quota z	ortofoto/CTN/DTM
		distanza dal mare	ortofoto/CTN/DTM
		versante di localizzazione	DTM
	Variabili climatiche	T medie	dati ARPA regionali
		velocità del vento	dati ARPA regionali
		umidità	dati ARPA regionali
	Orografia	esposizione contesto	DTM
		ombreggiature naturali	DTM
STRUTTURA URBANA	Rapporto pieni/vuoti	volume edificato	DTM/DSM
		rapporto sup. edificata/sup. non edificata	DTM/DSM
		ombreggiature artificiali	DTM/DSM
	Caratteristiche suolo urbano	aree verdi	ripresa multispettrale/ripresa termica/ortofoto
		permeabilità suolo	ripresa multispettrale/ripresa termica
		canyon urbani/isole di calore	ripresa termica
SISTEMA EDIFICIO/IMPIANTO	Caratteristiche geometriche	superficie utile/volume edificio/superficie disperdente/esposizione ed orientamento	CTN/DSM/archivi catastali
	Caratteristiche termofisiche	trasmittanza componenti opache/trasparenti	ripresa termica/dati indagine termoflussimetrica/prospetti UNITS 11300
		(epoca di costruzione)*	(DB comuni / censimenti ISTAT)
		ponti termici	ripresa termica
		tenuta all'aria	dati test blower door
	Condizioni ambientali interne	microclima interno	dati sensori termoigrometrici
	Caratteristiche impianti	tipo e rendimento caldaia	DB comuni/dati statistici/ prospetti UNITS 11300
		presenza impianti fonti rinnovabili	ortofoto ** /DB comuni
UTENZA	Tipologia edilizia	destinazione d'uso	DB comuni
	Caratteristiche utenti	numero occupanti/età/reddito/ composizione nuclei familiari	DB comuni/dati ISTAT

* quale indicatore delle probabili caratteristiche di trasmittanza delle strutture

** per la verifica della presenza di pannelli fotovoltaici e di collettori termici

Tab. 6 Potenziali variabili di influenza dei consumi rilevati

Bibliografia e Sitografia

Bellicini L., Ingersoll R. (2001), *Periferia italiana*, Meltemi Editore, Roma

Benedetti C., Tani I. (2010), *Modelli GIS per la costruzione di quadri di conoscenza delle caratteristiche energetiche del parco immobiliare locale,* Atti della sesta Conferenza Nazionale in *Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale*, Potenza

Bonafè G. (2006), *Microclima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione,* Servizio Idro-Meteorologico Arpa Emilia Romagna

Cerasoli M. (2008), *Periferie urbane degradate,* Paper Cittalia redatto nell'ambito del *Piano di accompagnamento alle regioni del Mezzogiorno per il rafforzamento della capacità amministrativa in preparazione della nuova politica per la competitività, lo sviluppo e la coesione (2007-2013)*

Comune di Trento, Ambiente Italia srl (2004), *Il percorso partecipato,* in *Trento per Kyōto - Piano di azione energetico partecipato*

De Matteis M. (2011), *Qualità dell'abitare nello spazio collettivo. Rigenerare la periferia attraverso nuove configurazioni, densità, sostenibilità,* Atti della XIV Conferenza SIU, Torino

De Pascali P. (2001), *Energia microclima e forma urbana*, in *Gestione Energia,* n. 3, pp. 5-11

Lepore M. (2004) *Progettazione bioclimatica in ambito urbano,* Aracne Editrice, Roma

Rodrighiero M. Nickerson J. (2011), *Natura delle periferie contemporanee*
http://www.sra.it/essays3.php

Oke T. R. (2004), *Initial Guidance to obtain representative metereological observation at urban sites*, WMO Ginevra

Ökoinstitute Südtirol (2007), *Comune di Laives. Rapporto energetico 2005 e 2006 e confronti con il 1996,* Ecoistituto Alto Adige, Bolzano

Tani I., Gardi C. (2008), *Applicazioni GIS per la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici a scala territoriale*, in *Ambiente territorio: cultura dell'ambiente e scienza del territorio,* n. 2(4), pp. 44-47

Urbani P. (2010), *L'edilizia residenziale pubblica, tra Stato ed Autonomie locali*, Atti del Convegno *Diritti fondamentali e politiche UE dopo Lisbona*, Pescara

Università IUAV di Venezia, Master di II Livello in SIT&TLR (2010), *Project Work Ambiente Energia: GIS per la valutazione a larga scala dell'efficienza energetica degli edifici*
www.ricercasit.it/masterii/Content.aspx?page=121

Università IUAV di Venezia, Dottorato di ricerca in NT&ITA (2010), *Progetto Energy Web Feltre*
http://www.ricercasit.it/energywebfeltre/EnergyWebFeltreDef.pdf

Vedana C. (2006), *Dossier Città e sviluppo urbano*, redatto nell'ambito del *Programma Enpowerement delle Amministrazioni Pubbliche del Mezzogiorno*

www.ecogis.info

www.ecogis.info/laives/public/web/index.html

www.energybook.it

http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

www.sustainability.bz.it

www.webgis.fondazionecariplo.it/public

5 LABORATORIO PARTE 1. DEFINIZIONE DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Nel presente capitolo e nel successivo viene riportata l'esperienza di analisi condotta su di un'area studio, elaborata adottando la metodologia di indagine precedentemente descritta.

La prima fase di laboratorio è stata diretta a determinare gli indici di prestazione energetica caratterizzanti le unità edilizie site nel territorio in esame: come premesso, ciascuna azione svolta è stata puntualmente descritta e dettagliata, evidenziando le potenzialità della tecnica proposta nonché le difficoltà ed i limiti applicativi che si sono incontrati.

Le analisi condotte hanno previsto l'impiego del software GIS open source gvSIG e del software JMP per l'analisi della distribuzione dei valori di consumo rilevati e per la realizzazione dei relativi grafici. È stato inoltre utilizzato il software Microsoft Access per la gestione e l'elaborazione di alcune delle banche dati acquisite. Il supporto cartografico adottato per l'integrazione dei dati e la visualizzazione dei risultatati in GIS è stato quello della cartografia tecnica numerica comunale. Da tale banca dati sono state derivate le informazioni di superficie degli edifici, necessarie alla definizione degli indici di prestazione. In una fase successiva, sono state verificate le potenzialità di alcune delle banche dati catastali, quale supporto alla cartografia comunale per una definizione di maggior precisione dei valori di superficie degli immobili.

5.1 Descrizione dell'area di indagine

L'ambito territoriale adottato quale caso studio corrisponde ad una delle circoscrizioni amministrative del comune di Trento: la frazione di Gardolo.

Il territorio di Gardolo si estende per circa 800 ettari a nord del centro storico di Trento, su di un'area pianeggiante delimitata a nord-est dal Monte Calisio (1.096 m s.l.m.) ed a nord-ovest dalla Paganella (2.125 m s.l.m.).

Fig. 49 Il territorio di Gardolo all'interno del comune di Trento
Fonte Elaborazione su immagine Google Earth

La posizione strategica e la bontà delle vie di comunicazione che collegano Gardolo al centro di Trento, tra le quali la tangenziale a quattro corsie, hanno fatto sì che tale circoscrizione sia stata interessata negli ultimi decenni da un forte e rapido sviluppo urbanistico, divenendo uno dei sobborghi più popolosi del comune (circa 12.000 abitanti).

All'interno di tale territorio ricadono indicativamente un migliaio di unità edilizie ad uso abitativo, nei confronti delle quali sono state dirette le analisi di seguito riportate. Il nucleo principale ove si concentrano gli edifici residenziali è collocato nell'area sud della circoscrizione (Fig. 50).

Fig. 50 Principale nucleo a destinazione abitativa
Fonte Elaborazione su ortofoto Servizio Sistema Informativo del comune di Trento

5.2 Realizzazione della mappatura energetica

Al fine di stimare gli indici di prestazione degli immobili, valutati in relazione alla spesa energetica sostenuta per il soddisfacimento del fabbisogno termico[77] ed espressi in termini di kWh/m^2 anno, sono stati acquisiti i dati relativi ai volumi di gas metano consumati ad uso residenziale da ogni singolo edificio e la cartografia tecnica numerica del territorio di interesse[78]. Operativamente, tale fase di analisi ha previsto la georeferenziazione in ambiente GIS delle banche dati sui consumi rilevati, allo scopo di poter correlare e rapportare i consumi alla superficie riscaldata dell'edificio in cui gli stessi sono stati sostenuti.

I dati riguardanti i volumi di gas metano consumati, espressi in metri cubi, sono stati trasformati in valori definiti in chilowattora sulla base del potere calorifico inferiore del combustibile, utilizzando il seguente fattore di conversione[79]:

$$1\ m^3 \text{ gas metano} \approx 10\ kWh$$

Per la stima della superficie riscaldata degli edifici, definita attraverso la cartografia vettoriale acquisita, è stato invece sufficiente conoscere l'area di ingombro di ogni fabbricato e la relativa altezza misurata a livello di gronda. Essendo le strutture oggetto di indagine edifici a destinazione residenziale, è stata supposta un'altezza interpiano costante di tre metri ed è stato dedotto il numero di piani di ciascun immobile dividendo per tre l'altezza rilevata alla gronda. Moltiplicando il numero dei piani per il valore della superficie di ingombro del corrispondente edificio, ovvero per l'area del poligono che lo identifica su mappa, è possibile definire la superficie lorda complessiva dello stesso.

Posto infine che nei fabbricati ordinari con tramezzatura interna è ragionevole considerare una percentuale di muratura pari a circa il 20% della superficie totale, la superficie netta può essere dedotta attraverso la seguente formula:

$$S_{utile} = S_{ingombro} * (h/3) * 80\%$$

Le operazioni di seguito descritte hanno dunque consentito di definire un indice di prestazione ottenuto dalla normalizzazione del dato di consumo energetico sul valore di superficie utile dell'edificio e di realizzare, in parallelo, una mappatura energetica dell'area in esame attraverso la quale si rende possibile una prima ed immediata valutazione in merito alla qualità degli edifici.

---

[77] In merito alle semplificazioni tecniche adottate ai fini della valutazione delle prestazioni energetiche, si rimanda a quanto già definito nel paragrafo 1 del capitolo 5, nell'ambito della descrizione del modello di analisi sviluppato.

[78] Nei paragrafi successivi sono individuati i soggetti dai quali sono stati rilasciati i dati e sono dettagliate le caratteristiche e la tipologia delle informazioni acquisite.

[79] www.eni.com

5.2.1 Descrizione dei dati acquisiti

Le risorse acquisite ai fini della realizzazione della prima fase di analisi sono state fornite in parte dall'Ufficio Ambiente del Comune di Trento (serie storica consumi anni 2007 e 2008) e dal Servizio Sistema Informativo dello stesso comune (cartografia tecnica numerica) ed in parte dalla società Trenta spa, azienda distributrice del gas naturale nel contesto territoriale in esame (serie storica consumi anni 2009 e 2010). Sono state inoltre acquisite le ortofoto ad alta risoluzione (scala 1:2'000) dell'area di indagine, basate su una ripresa aerea condotta nel 2009, distribuite attraverso il portale web del medesimo Servizio Sistema Informativo del Comune di Trento[80].

CARTOGRAFIA TECNICA NUMERICA COMUNALE

La cartografia utilizzata consiste di dati vettoriali strutturati in formato shapefile. Nella fattispecie, gli elementi cartografici fondamentali ai fini dell'indagine sono stati identificati nelle seguenti entità:

- shapefile rappresentativo degli edifici, riprodotto in scala 1:2'000 ed aggiornato all'anno 2'000; da tale tema, comprensivo di tutti gli immobili civili siti nell'area di indagine, sono stati successivamente selezionati i soli edifici abitativi, escludendo dunque gli edifici con destinazione terziaria (commerciale, scolastica, direttiva);
- shapefile rappresentativi dei numeri civici e del grafo strade comunale, aggiornati dall'Ufficio Toponomastica del Comune di Trento al momento di richiesta del dato (marzo 2010).

Nella tabella che segue (Tab. 7), sono stati dettagliate le caratteristiche principali e gli attributi alfanumerici significativi[81] degli shapefile costituenti la base cartografica adottata a supporto delle elaborazioni svolte. In aggiunta a tali temi, sono stati acquisiti ulteriori dati vettoriali che, pur non fondamentali ai fini delle successive indagini sulle prestazioni energetiche, sono stati utili a favorire una maggiore comprensione delle caratteristiche e della struttura dell'area in esame nonché a consentire lo svolgimento delle operazioni di pretrattamento, di seguito descritte, condotte sui dati cartografici allo scopo di renderli compatibili e coerenti con le metodologie e gli obiettivi dell'analisi. Tra di essi rientrano gli shapefile areali identificativi dei capannoni industriali, delle tettoie e baracche e gli shapefile lineari identificativi dei marciapiedi e degli eventuali muri divisori delle proprietà.

[80] http://www.comune.trento.it/Aree-tematiche/Cartografia

[81] Al fine di alleggerire la tabella attributi propria di ciascuno degli shapefile acquisiti, sono stati eliminati i campi ritenuti non fondamentali ai fini dell'indagine. A titolo d'esempio, sono stati rimossi gli attributi che assumevano il medesimo valore per tutti i record contenuti nello shapefile, quali l'attributo rappresentativo del codice di avviamento postale (38121) o quello restituente la denominazione del sobborgo di pertinenza (Gardolo).

shapefile	geometria	n. record	attributi		
			nome campo	dominio	descrizione
edifici.shp	areale	2150	cod_ed	string	identificativo edificio
			tipo_label	string	tipologia poligono (2.02.01, 2.02.02, 2.02.08, 2.02.29, 2.02.30, 2.02.91, codici rappresentativi rispettivamente di: unità volumetrica di edificio, edificio a portico, edificio a sbalzo, volume interrato, edificio di culto, cavedio in edificio)
			area	double	area poligono
			perimetro	double	perimetro poligono
			z	double	altezza gronda
civici.shp	puntuale	4257	chiave	string	identificativo civico
			tipo_num	string	(principale/secondario)
			ingresso	string	(abitazione/cancello/altro)
			civico_alf	string	civico completo (es. 1/A)
			civico_num	string	civico numero (es. 1)
			civico_let	string	civico lettera (es. A)
			via	string	nome completo via
			cod_via	string	codice via
grafo.shp	lineare	545	cod_via	string	codice via
			via	string	nome completo via

Tab. 7 Caratteristiche ed attributi dei principali shapefile acquisiti[82]

Il primo step dell'indagine ha presupposto la georeferenziazione dei dati relativi ai consumi medi annui rilevati, trasposti in ambiente GIS quale nuovo attributo dello shapefile puntuale rappresentativo dei numeri civici. È stato previsto, in altre parole, di

[82] Si precisa che gli attributi sono elencati in un ordine diverso rispetto a quello in cui compaiono nella tabella attributi propria di ciascuno shapefile; la tabella 7 individua infatti quale primo campo di ogni shapefile l'attributo avente funzione di chiave identificativa e, di seguito, riporta i rimanenti attributi ordinandoli per caratteristiche di dominio o di significato simili. Pertanto, nelle figure successive, estratte dalle elaborazioni GIS, possono comparire delle tabelle attributi caratterizzate da un ordine dei campi leggermente dissimile.

correlare a ciascun record rappresentativo di un distinto e specifico civico, il consumo complessivo rilevato nei punti di consegna (POD) ad esso afferenti (cfr. paragrafo 4.1.2).

Il passo successivo ha riguardato invece la connessione in GIS dell'informazione sui consumi all'edificio nel quale gli stessi sono stati sostenuti. Posto che il rapporto esistente tra edificio e civico (cfr. paragrafo 4.1.2) non necessariamente è di tipo uno ad uno, per determinare il consumo complessivamente sostenuto da ciascun edificio, è indispensabile definire la somma dei consumi associati ad ogni civico pertinente all'edificio medesimo (v. Fig. 34, pag. 124). Il trasferimento all'edificio di appartenenza delle informazioni sui consumi sostenuti, associate in una prima fase al civico in cui gli stessi sono stati rilevati, necessita dell'esistenza di una relazione topologica tra il dato puntuale rappresentativo dei numeri civici e quello poligonale rappresentativo degli edifici, tale per cui ciascun punto identificativo di un civico debba essere spazialmente contenuto all'interno del poligono identificativo dell'edificio al quale esso stesso si riferisce. In questo modo, una volta conosciuto il consumo medio annuo complessivo afferente a ciascun civico, è possibile determinare il consumo medio annuo totale sostenuto nella rispettiva struttura edilizia. Gli strumenti GIS consentono infatti, attraverso un'operazione di *join spaziale*, di definire una funzione di raggruppamento con la quale per ciascun edificio vengono sommati i valori di consumo associati ad ogni elemento puntuale dei civici ricadente all'interno del poligono che lo individua. Noto il consumo totale sostenuto dallo specifico edificio, è possibile correlarlo all'informazione relativa alla superficie utile del medesimo ed ottenere l'indice di prestazione, espresso in kWh/m^2 annuo, utile a comparare il livello di efficienza di edifici caratterizzati da una diversa estensione dello spazio riscaldato.

Nell'esempio riportato in figura (Fig. 51), la spesa energetica complessiva sostenuta dall'edificio è definita dal consumo totale rilevato per i civici 5, 7, 9, 11, 13, 15 in esso contenuti (rapporto 1:N tra edificio e civico), ciascuno dei quali è a sua volta definito dalla somma dei consumi registrati dai POD facenti capo al civico specifico (rapporto 1:N tra civico e POD).

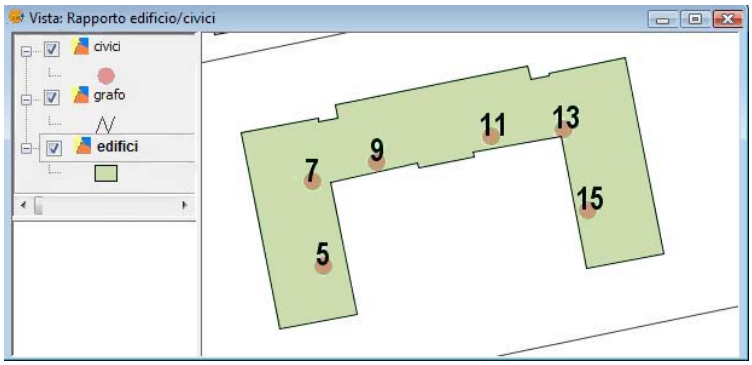


Fig. 51 Rapporto edificio e civici

La correlazione tra consumi e superfici è stata preceduta da una minuziosa fase di controllo in merito alla coerenza del dato cartografico con i fini della presente indagine. La cartografia adottata, nata con finalità diverse da quelle del lavoro, ha reso infatti necessaria la realizzazione di numerose operazioni di trattamento dei dati acquisiti, volte a correggere talune caratteristiche della cartografia stessa ritenute non conformi con gli scopi dell'analisi, che avrebbero comportato una distorsione dei risultati ottenuti in fase di definizione degli indici di prestazione. Le azioni condotte a tal proposito sono state articolate nei passaggi di seguito descritti.

In primo luogo, sono state realizzate alcune operazioni di filtro volte a rimuovere dallo shapefile degli edifici gli elementi non indispensabili ai fini dell'indagine:

- sono stati considerati elementi utili dello shapefile i soli record relativi a fabbricati aventi altezza superiore a 3 metri (campo $z > 3$ m); in questa maniera sono stati eliminati i poligoni rappresentativi di fabbricati classificabili, con molta probabilità, come pertinenze non riscaldate dell'edificio (es. garages);
- sono stati esclusi i poligoni rappresentativi di fabbricati con destinazione diversa da quella residenziale; tale operazione è stata compiuta in parte avvalendosi dell'informazione deducibile dal campo *tipo_label*, riportato nella tabella attributi dello shapefile (v. Tab. 7, pag. 156), il quale ha consentito di riconoscere 12 poligoni rappresentativi di edifici di culto (campo *tipo_label* = 2.02.30) e 6 poligoni rappresentativi di corti interne agli edifici (campo *tipo_label* = 2.02.91) ed in parte avvalendosi delle riprese di Street View Google Earth, tramite le quali sono stati identificati i poligoni relativi ad edifici con destinazione esclusivamente terziaria (centri commerciali, uffici, edifici scolastici, ecc.).

È stata garantita la condizione che ogni elemento puntuale dello shapefile dei numeri civici fosse univocamente identificabile attraverso il codice definito dal rispettivo attributo *chiave*[83]. E' stato verificato, in altre parole, che nella rappresentazione GIS non esistessero per ciascuna singola via più civici contraddistinti dal medesimo valore alfanumerico (ovvero contraddistinti dal medesimo campo *civico_alf*). Ciò significa, che se per l'edificio sito in via Roma al 4/A esistono nella realtà due ingressi contraddistinti dal medesimo numero 4/A, l'uno posto ad esempio sul fronte principale dell'immobile e l'altro posto sul retro, lo shapefile dovrà contemplare un solo elemento puntuale rappresentativo di tale civico. Questo in modo di evitare, nella fase successiva, di andare ad associare più di una volta allo specifico edificio il consumo rilevato al civico 4/A.

[83] Ogni record dello shapefile *civici.shp*, viene identificato nella rispettiva tabella attributi attraverso il campo *chiave*: attributo alfanumerico definito dalla concatenazione del campo *cod_via*, rappresentativo del codice identificativo della via di appartenenza, con il campo *civico_alf*, rappresentativo del civico alfanumerico. Come descritto nel successivo paragrafo, tale attributo ha costituito l'elemento di connessione attraverso cui le informazioni sui consumi sono state trasferite allo shapefile dei numeri civici.

A tal fine:

- sono stati in primo luogo esclusi dallo shapefile dei numeri civici i record riferiti agli edifici non abitativi, non contemplati ai fini dell'indagine; ciò è stato possibile andando a selezionare e di seguito a rimuovere i numerici civici che erano spazialmente ricompresi all'interno dei poligoni rappresentativi di edifici non residenziali, quali i capannoni ed i fabbricati a destinazione terziaria; attraverso tale operazione sono stati rimossi oltre 2'200 record;
- è stata successivamente verificata, per i record rimanenti, l'univocità dell'attributo *chiave*: tale condizione non era inizialmente sempre rispettata poiché, in diversi casi, al medesimo edificio erano associati un civico principale e dei civici secondari, identificati in GIS da elementi puntuali distinti ma caratterizzati dal medesimo valore del campo *civico_alf* e, di conseguenza, del medesimo valore del campo *chiave* (Fig. 52); al fine di garantire la corretta correlazione con le banche dati sui consumi, è stato necessario assicurare che il valore di tale attributo fosse univoco e capace di identificare uno ed un solo record all'interno dello shapefile: la correzione di tali incongruenze ha richiesto una verifica dei codici riportati nella tabella attributi dello shapefile, volta ad individuare e rettificare le situazioni inesatte, ovvero ad eliminare i duplicati dei civici principali contraddistinti dal medesimo campo identificativo.

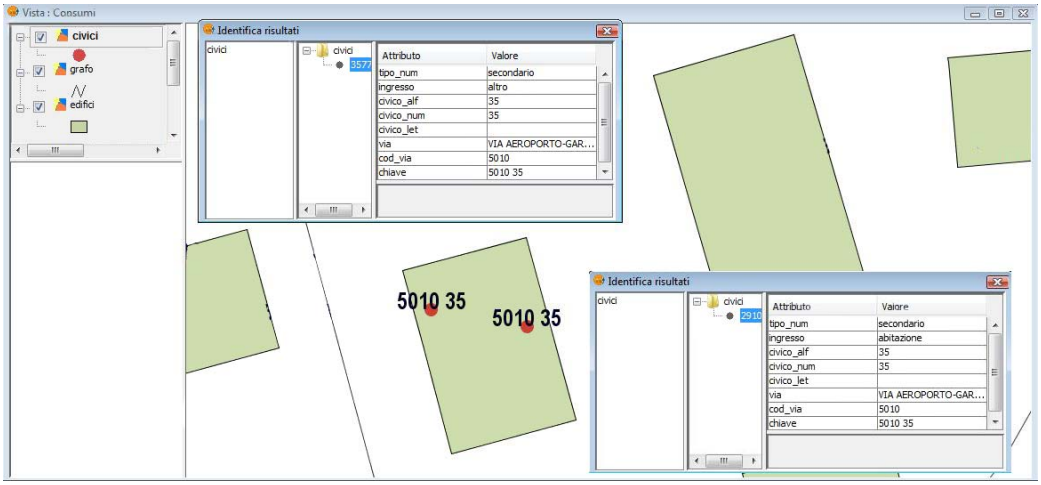


Fig. 52 Verifica dell'univocità dell'attributo chiave. All'edificio in figura sono associati due ingressi rappresentati da due distinti record pertinenti allo shapefile *civici.shp* connotati dal medesimo codice identificativo (attributo *chiave* = 5010 35).

Infine, sono state regolarizzate le rappresentazioni cartografiche non coerenti con i fini dell'indagine; è stata in altre parole garantita l'esistenza della relazione topologica tra civici ed edifici precedentemente descritta nonché l'esatta restituzione grafica degli edifici

attraverso i rispettivi poligoni dello shapefile. Le azioni principali compiute sono state le seguenti:

- sono state corrette le situazioni in cui i civici risultavano posizionati esternamente all'edificio al quale erano riferiti, traslando l'entità geometrica puntuale all'interno dello specifico poligono di appartenenza;
- è stato verificato che le sagome dei poligoni identificativi degli edifici, dalle quali viene derivato il dato di superficie cui rapportare il consumo, fossero effettivamente corrispondenti alle superfici di ingombro dei fabbricati; a titolo d'esempio, tale condizione non era verificata nel caso riportato in figura (Fig. 53) dove la superficie occupata dall'edificio era inizialmente scomposta in più blocchi e, tra di essi, il poligono principale al quale era associata l'altezza utile a definire il numero dei piani, era restitutivo esclusivamente di una parte dell'area di ingombro complessiva; la soluzione adottata nello specifico caso è stata quella di unificare i diversi blocchi al poligono principale, la superficie del quale, al termine di tale operazione, può definirsi rappresentativa dell'area di ingombro dell'edificio reale.

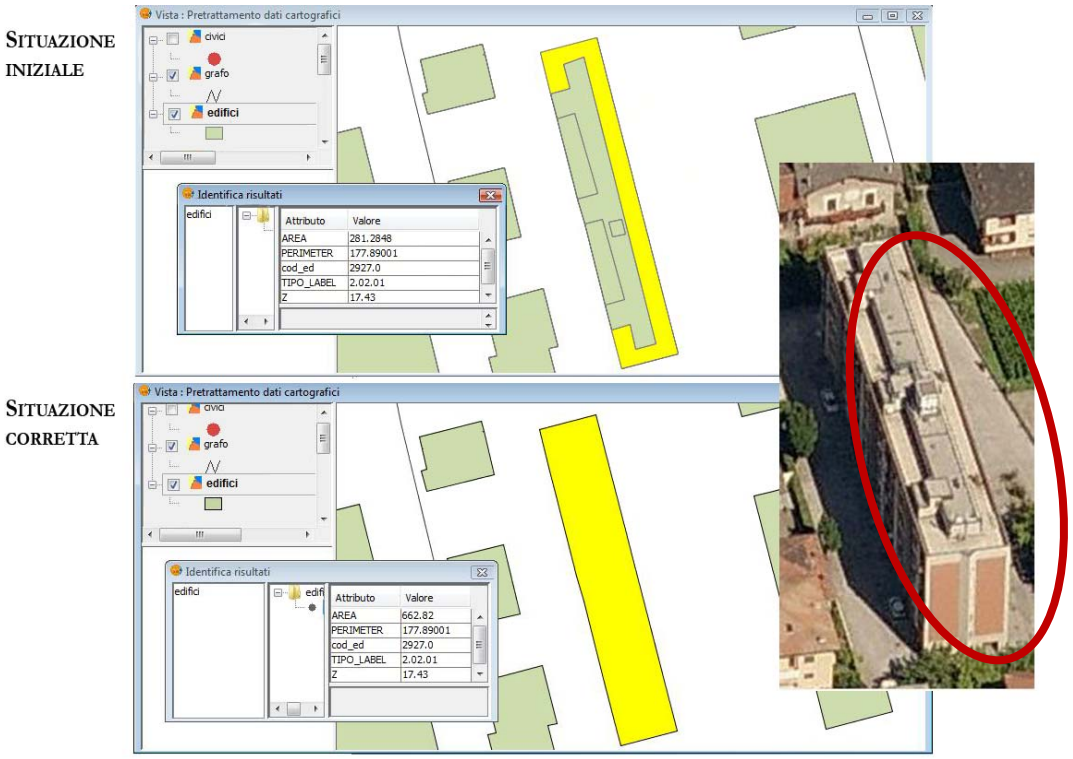


Fig. 53 Anomalie cartografiche ai fini dell'indagine. La superficie d'ingombro dell'edificio è inizialmente scomposta in poligoni distinti, rappresentativi dei volumi dei corpi scale sopraelevati rispetto alla copertura; nella situazione corretta gli attributi propri dell'edificio (tra i quali l'altezza, utile nella fase successiva per definire il numero dei piani) sono correlati ad un unico poligono effettivamente rappresentativo dell'area di ingombro del fabbricato.

Un ulteriore elemento oggetto di controllo ha riguardato la corretta definizione del numero dei livelli di ciascun edificio, determinato presupponendo un interasse costante interpiano pari a tre metri ed ottenuto di conseguenza dividendo per tre l'altezza rilevata alla gronda[84]. In particolare, sono stati analizzati i casi in cui l'altezza dell'edificio risultava di poco inferiore ad un valore multiplo di tre: a titolo d'esempio, è stato accertato che i fabbricati con altezza poco minore di sei metri (es. 5.90 m) fossero comprensivi esclusivamente di un unico livello (5.90/3 = 1 livello, vedi nota a fondo pagina), verificando in altre parole che il numero dei piani, così come definito in automatico, non fosse stato sottostimato. La medesima operazione è stata compiuta in riferimento agli edifici con altezza pari a quasi nove, dodici, quindici, ecc., metri.

Per la realizzazione di tali controlli, nonché in generale per una maggiore comprensione del tessuto dell'area in esame, si sono rivelate particolarmente utili le immagini pictometriche disponibili online sui siti Google o Bing, nonché le riprese Street View di Google Earth.

Le operazioni di qualificazione cartografica descritte, hanno interessato per buona parte il corso della successiva fase di integrazione dei dati, durante la quale sono via via emerse le situazioni anomale che hanno necessitato di essere regolarizzate. Al termine di tali azioni, lo shapefile degli edifici e quello dei numeri civici sono risultati essere costituiti, rispettivamente, da 1.602 e 1.755 elementi utili.

DATA BASE CONSUMI

Il secondo dato utilizzato, relativo ai consumi sostenuti, è costituito da tabelle che restituiscono i volumi di gas metano rilevati, nel corso di uno specifico anno, da ogni singolo punto di consegna associato alle utenze residenziali. La localizzazione geografica di ciascun POD, necessaria alla successiva georeferenziazione delle informazioni di interesse, viene definita dall'indirizzo dello stesso, individuato nelle tabelle acquisite da attributi specifici identificativi della via e del numero civico.

I dati messi a disposizione hanno riguardato i volumi di gas (m^3) consumati ad uso domestico durante gli anni 2007, 2008, 2009 e 2010.

Nella figura seguente (Tab. 8) sono sintetizzate le caratteristiche delle tabelle acquisite; anche in questo caso, così come visto per i dati cartografici vettoriali, sono stati eliminati i campi non ritenuti indispensabili ai fini dell'indagine (ad es. il campo inerente la località di riferimento, che assumeva ovviamente per tutti i record il medesimo valore).

[84] Il risultato della divisione si assume intero ed arrotondato per difetto.

Attributo	Dominio	Descrizione
ID	contatore	identificativo POD
via	string	nome completo via
civico_alf	string	civico completo (es. 1/A)
m3	double	metri cubi di gas venduto
tipo_imp	string	A/C (autonomo/centralizzato)

Tab. 8 Attributi delle tabelle sui consumi acquisite

5.2.2 Integrazione dei dati

Le operazioni descritte nel presente paragrafo hanno consentito di integrare le due banche dati disponibili, ovvero di correlare le informazioni consumo e superficie con lo scopo di determinare l'indice di prestazione caratterizzante ciascun edificio. Le azioni svolte hanno previsto di integrare gli attributi dello shapefile dei numeri civici attraverso il dato di consumo sostenuto, per trasferire poi tale informazione agli attributi dello specifico edificio di appartenenza.

Al fine di associare a ciascun elemento dello shapefile dei numeri civici il valore di consumo complessivamente rilevato nei POD ad esso pertinenti, è stato necessario definire un campo in grado di correlare univocamente ogni record delle tabelle sui consumi con il rispettivo record dello shapefile.

Posto che ciascun civico dello shapefile viene identificato, come visto, da un attributo denominato *chiave,* definito dalla concatenazione del codice della via di appartenenza e del valore del civico alfanumerico, il medesimo attributo è stato inserito nelle tabelle sui consumi acquisite. La definizione del campo *chiave* nelle quattro tabelle sui consumi[85] ha previsto, quale primo step, l'inserimento di un nuovo campo identificativo del codice della via in cui ogni POD è sito. È stato pertanto strutturato un data base per la gestione delle banche dati sui consumi ed è stata quindi importata nel medesimo la tabella attributi dello shapefile rappresentativo del grafo stradale pertinente all'area di indagine (*grafo.shp,* v. Tab.7, pag. 156), in manierata tale da aggiornare i record delle tabelle sui consumi inserendo, sulla base dell'attributo *via*, il nuovo campo *cod_via* (Fig. 54).

[85] Ogni tabella è riferita ai consumi rilevati in un unico specifico anno.

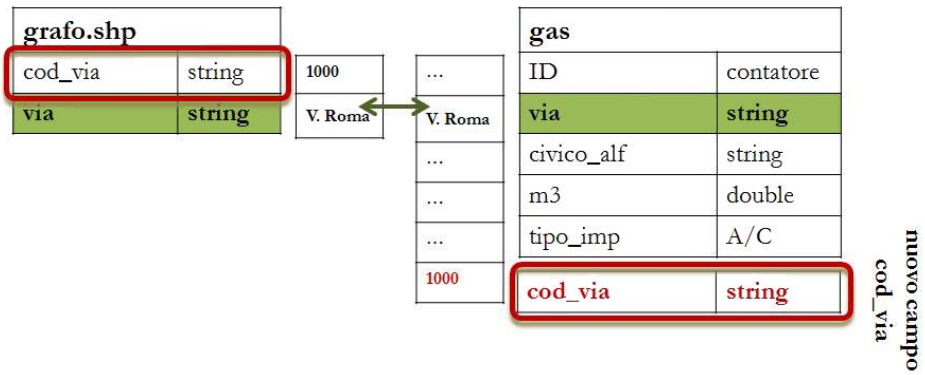


Fig. 54 Relazione tra lo shapefile *grafo.shp* e le tabelle consumi

Ciascun record, in altre parole, è stato integrato con il codice attribuito alla via individuata dalla medesima denominazione nella tabella attributi del grafo stradale. Tale operazione ha reso necessario correggere alcune difformità esistenti tra la nomenclatura delle vie adottata dall'azienda distributrice del gas, dalla quale sono state strutturate le tabelle sui consumi e quella prevista dalla toponomastica comunale. Infatti, nei casi in cui la denominazione della strada non era perfettamente identica tra i due archivi, il processo di aggiornamento della tabella risultava incompiuto[86].

Il passo successivo ha riguardato la definizione del campo *chiave* nelle tabelle consumi, ottenuto dalla concatenazione della stringa riportata dagli attributi *cod_via* e *civico_alf*, in maniera tale da riuscire a correlare i record delle tabelle medesime con i record dello shapefile (Fig. 55).

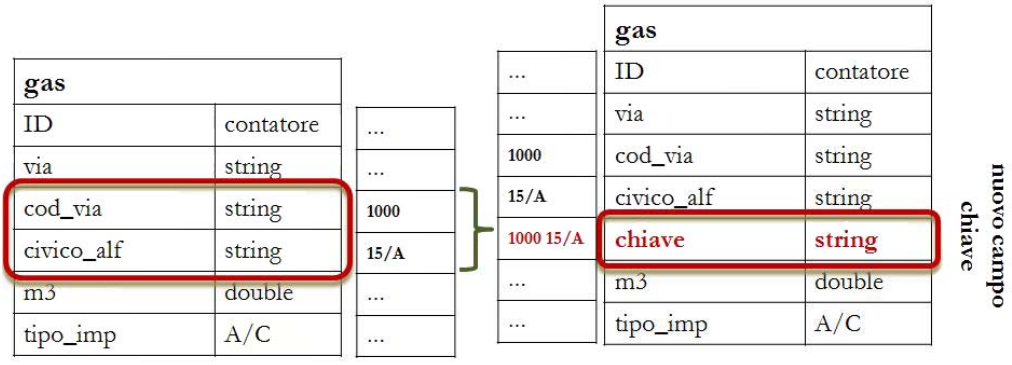
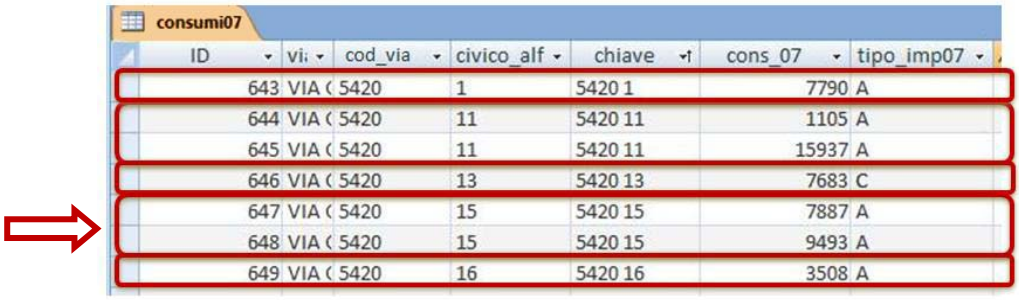


Fig. 55 Aggiornamento della tabella consumi con l'inserimento dell'attributo chiave

[86] Se, a titolo d'esempio, la medesima strada veniva individuata in uno dei due archivi come "Via XX maggio" e nell'altro archivio come "Via 20 maggio", il confronto tra le due stringhe evidenziava due campi diversi e la tabella sui consumi non veniva in tal senso aggiornata.

I volumi di gas metano rilevati sono stati trasformati da valori espressi in metri cubi a valori espressi in chilowattora ed è stato definito il consumo complessivo sostenuto, nel corso di un determinato anno, da ogni singolo civico contraddistinto da uno specifico valore dell'attributo chiave. Nell'esempio riportato in figura (Fig. 56), nello specifico anno cui la tabella si riferisce, il consumo sostenuto dal civico con chiave 5420 15, è stato pari alla somma di 7·887 kWh rilevati da un primo POD e 9·493 kWh rilevati da un secondo POD, per un totale di 17·380 kWh.



consumi07

ID	vi	cod_via	civico_alf	chiave	cons_07	tipo_imp07
643	VIA (	5420	1	5420 1	7790	A
644	VIA (	5420	11	5420 11	1105	A
645	VIA (	5420	11	5420 11	15937	A
646	VIA (	5420	13	5420 13	7683	C
647	VIA (	5420	15	5420 15	7887	A
648	VIA (	5420	15	5420 15	9493	A
649	VIA (	5420	16	5420 16	3508	A

Fig. 56 Definizione dei consumi rilevati nei POD facenti capo ad ogni singolo civico.

È stato infine definito il valore di consumo medio sostenuto in ogni civico nell'arco dei quattro anni della serie storica acquisita (Fig. 57).

cons_tot

chiave	via	cod_via	civico_	tipo_im	kwh_med
5010 55	VIA A	5010	55	A	37796,15
5010 56	VIA A	5010	56	A	31095,4
5010 57	VIA A	5010	57	A	14156,1
5010 58	VIA A	5010	58	A	37536,45
5010 59	VIA A	5010	59	A	32440,45
5010 6	VIA A	5010	6	C	20472,2
5010 60	VIA A	5010	60	A	11510,1

Fig. 57 Definizione della media dei consumi complessivamente rilevati in ogni singolo civico

Il dato di consumo medio annuo è stato dunque trasposto in GIS aggiornando lo shapefile dei numeri civici (Fig. 58). È stata contemporaneamente georiferita anche l'informazione relativa alla tipologia di impianto, autonomo o centralizzato, associata al civico; qualora nell'arco dei quattro anni considerati l'impianto fosse stato modificato, da autonomo a centralizzato o viceversa, si è optato per riportare in GIS l'informazione relativa alla situazione più recente.

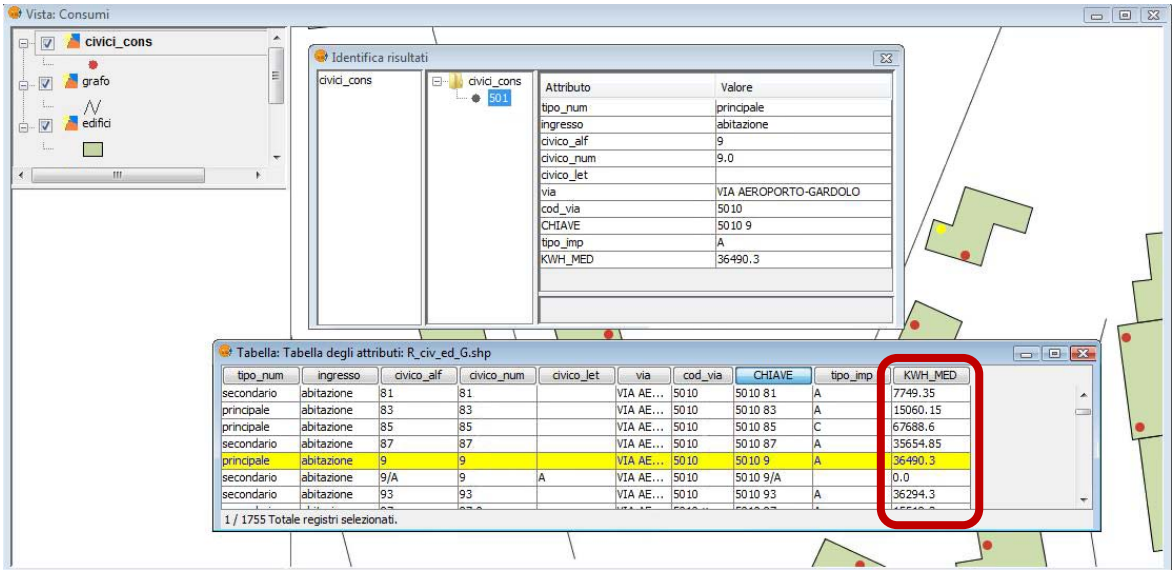


Fig. 58 Georeferenziazione dei consumi, integrati nella tabella attributi dello shapefile dei numeri civici

La fase finale di tale processo di integrazione dei dati ha riguardato la correlazione dei valori di consumo agli edifici (Fig. 59). L'operatore di spatial join, che rende possibile inserire gli attributi di un primo shapefile tra quelli di un secondo elemento in funzione della reciproca posizione spaziale dei record identificati dalle due entità, ha avuto un ruolo nodale nello svolgimento di tale passaggio. Nella fattispecie, ha consentito di associare agli attributi di ciascun edificio la somma dei consumi correlati ai civici contenuti all'interno del poligono rappresentativo dello stesso (Fig. 59, campo *kwh_sum*). All'edificio è stata inoltre associata l'informazione inerente la tipologia dell'impianto (Fig. 59, campo *tipo_imp*); qualora ad un immobile facessero contemporaneamente capo sia civici dotati di impianto autonomo che civici allacciati ad impianto centralizzato, la tipologia di impianto attribuita all'edificio medesimo è stata qualificata come tipologia mista[87].

È stato determinato il numero dei piani dell'edificio, definito da un nuovo attributo di tipo numerico intero (Fig. 59, campo *n_p_int*), nonché il valore della superficie utile (Fig. 59, campo *sp_utile*). Il rapporto tra il dato di consumo e quello di superficie, ha infine determinato l'indice di prestazione energetica caratterizzante ciascun edificio (Fig. 59, campo *kWh_mq*).

Complessivamente, sono stati rilevati 923 edifici caratterizzati da un consumo maggiore di zero. I rimanenti casi, per i quali il dato di consumo non era disponibile, sono stati esclusi dalle successive elaborazioni.

[87] Il campo *tipo_imp* può assumere dunque i seguenti valori: A (autonomo), C (centralizzato), M (misto)

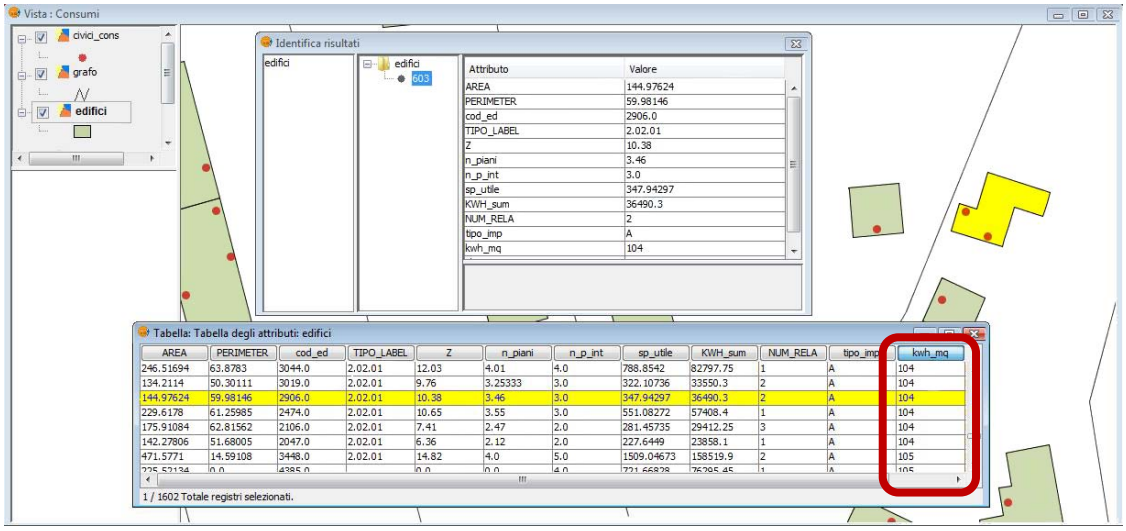


Fig. 59 Integrazione dei dati di consumo e superficie (campo *kWh_sum*/campo *sp_utile*)

5.2.3 Analisi dei risultati

Sulla base dell'indice di prestazione rilevato, è stata attribuita ad ogni edificio una specifica classe di efficienza, attraverso la quale è stato possibile costruire la mappatura energetica dell'area in esame. Come visto (cfr. paragrafo 2.2.3), il sistema di classificazione adottato a livello nazionale prevede una scala mobile di intervalli: i limiti superiori ed inferiori delle classi risultano infatti essere parametrati al fattore di forma dell'edificio ed ai gradigiorno della località di appartenenza. In tal senso, si è ritenuto preferibile optare per una metodologia di classificazione alternativa che, differentemente da quella nazionale, consentisse un'immediata comparazione tra gli edifici, ovvero per una metodologia strutturata su un sistema di intervalli di classe costanti e non variabili in relazione a caratteristiche proprie degli immobili o del contesto geografico.

L'attribuzione della classe energetica agli edifici ha assunto a riferimento il sistema previsto dalla normativa locale in vigore nel territorio in esame, definito attraverso il decreto del Presidente della Provincia autonoma di Trento del 13 luglio 2009 n. 11-13/Leg[88]. Il sistema di classi adottato da tale decreto individua nella fattispecie dieci livelli[89] per la valutazione dell'efficienza energetica dell'edificio.

Nella figura seguente (Fig. 60) è riportata la scala di valutazione definita dal decreto, correlata all'ormai nota paletta di colori, dal verde al rosso vivo, ciascuno dei quali associato

[88] "*Disposizioni regolamentari in materia di edilizia sostenibile in attuazione del titolo IV della Legge Provinciale 4 marzo 2008, n.1"* (B.U. 25 agosto 2009, n. 35)

[89] Al fine di spingere il mercato edilizio al perseguimento di prestazioni più elevate, il decreto ha ritenuto utile l'adozione di una suddivisione più articolata delle classi, rispetto a quanto disposto dal sistema nazionale, tale da consentire una maggiore differenziazione dell'offerta. In tal senso, le otto classi individuate dalla normativa nazionale, sono state integrate dalla classe B+ e C+.

ad una specifica classe. Lo standard minimo richiesto alle nuove costruzioni ed agli interventi di ristrutturazioni consistenti, prevede il raggiungimento della classe B, ovvero fabbisogni per il riscaldamento invernale inferiori ai 45 kWh/m^2 anno.

Fabbisogno in kWh/m² anno	
CLASSE A+	≤22
CLASSE A	≤ 22
CLASSE B+	≤ 35
CLASSE B	**≤ 45**
CLASSE C+	≤ 60
CLASSE C	≤ 100
CLASSE D	≤ 155
CLASSE E	≤ 195
CLASSE F	≤ 230
CLASSE G	> 230

Fig. 60 Classificazione in funzione del fabbisogno di energia primaria (kWh/m^2 anno) per il riscaldamento invernale [90]
Fonte Allegato A al d.P.P. 13 luglio 2009, n. 11-13/Leg.

La procedura di calcolo del fabbisogno energetico definita dalle UNI TS/11300 (cfr. paragrafo 2.3.1), prevede che l'energia erogata da ciascun vettore agli impianti venga trasformata in fabbisogno complessivo di energia primaria attraverso uno specifico fattore di conversione, il quale viene assunto pari ad 1 nel caso dei combustibili fossili (ossia, 1 kWh termico da metano è pari ad un kWh in energia primaria).

Si ricorda che, differentemente da quanto disposto dalla procedura individuata dalle UNI/TS, la metodologia di definizione del fabbisogno energetico adottata nel presente lavoro non considera né la componente relativa al fabbisogno di energia necessaria agli ausiliari degli impianti, né l'eventuale componente attribuibile a vettori energetici diversi dal metano. In tal senso, la spesa energetica associata a ciascun edificio, risulta potenzialmente sottostimata rispetto al fabbisogno energetico definibile attraverso un'applicazione puntuale delle metodologie di calcolo contemplate dalle UNI/TS 11300.

Sulla base dell'indice di prestazione definito dal rapporto consumo/superficie, a ciascun edificio è stata attribuita una classe, in riferimento al sistema adottato a livello locale per la valutazione del fabbisogno di energia primaria necessaria al riscaldamento.

È stato quindi possibile realizzare una mappatura tematica dell'area di indagine attribuendo a ciascun edificio il colore caratteristico della classe di appartenenza.

[90] La classe A+ si differenzia dalla A solo nella classificazione definita per la valutazione del fabbisogno globale di energia primaria, dove insieme al riscaldamento viene considerata anche la spesa connessa alla produzione dell'acqua calda sanitaria.

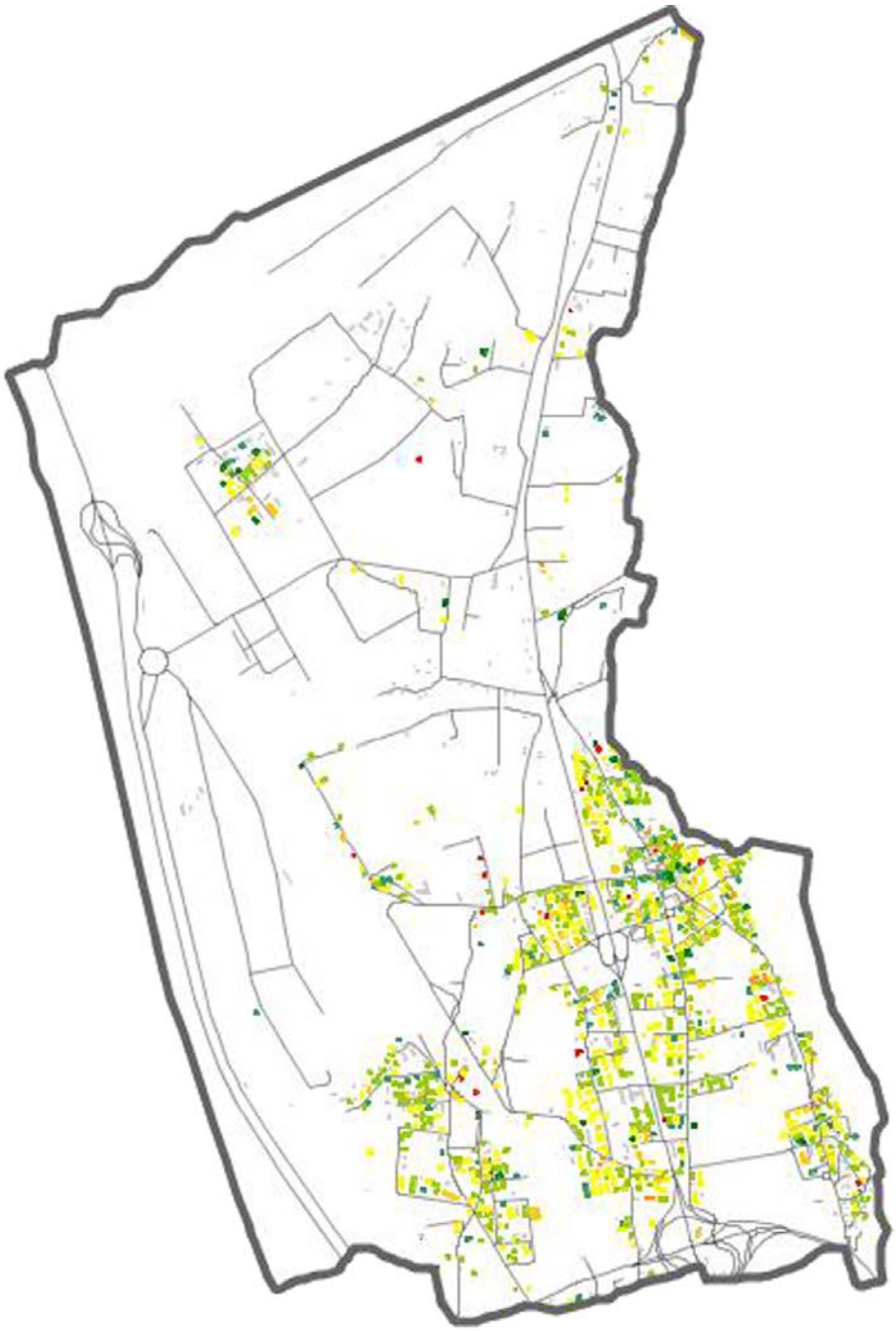


Fig. 61 Mappatura energetica

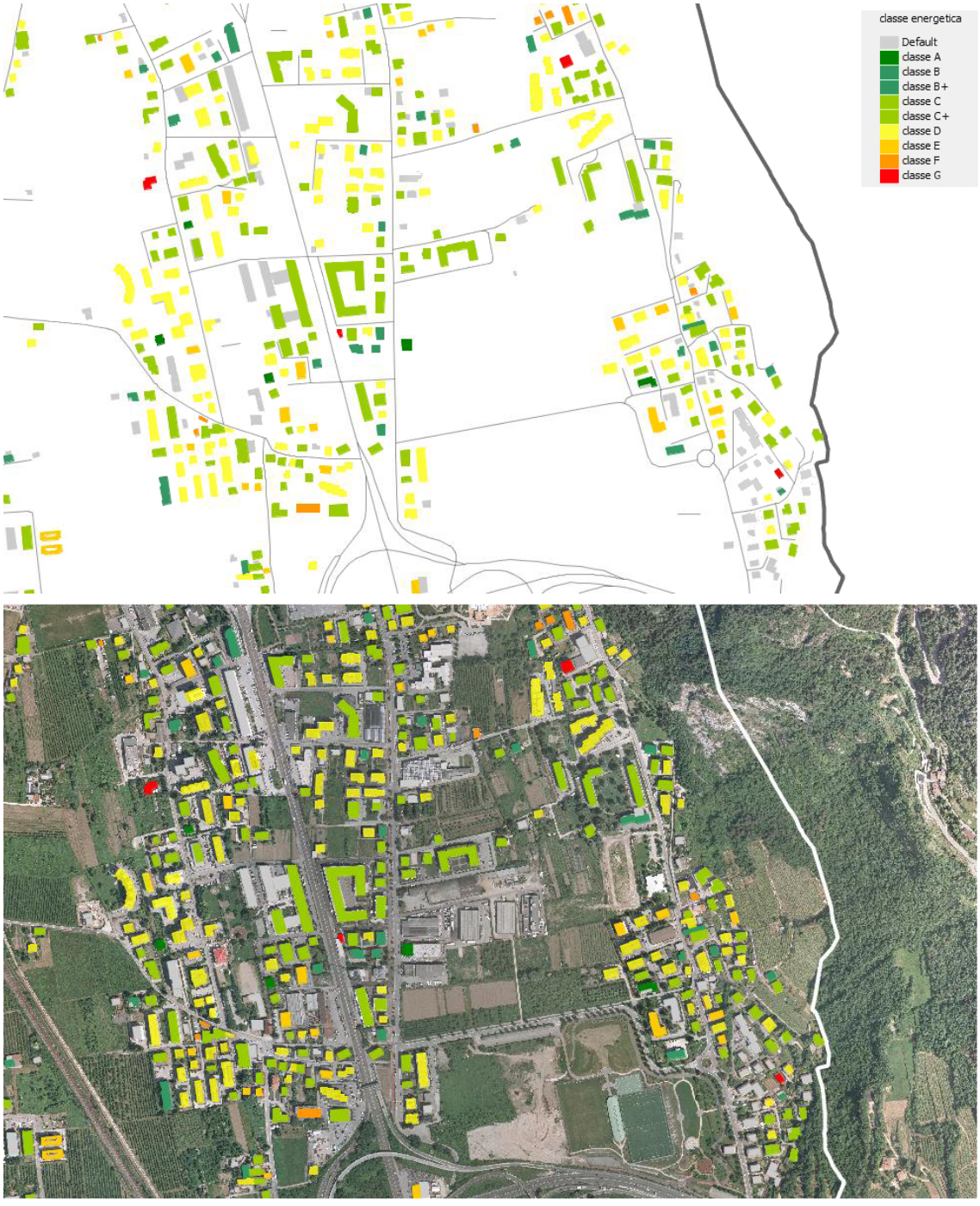


Fig. 62 Mappatura energetica

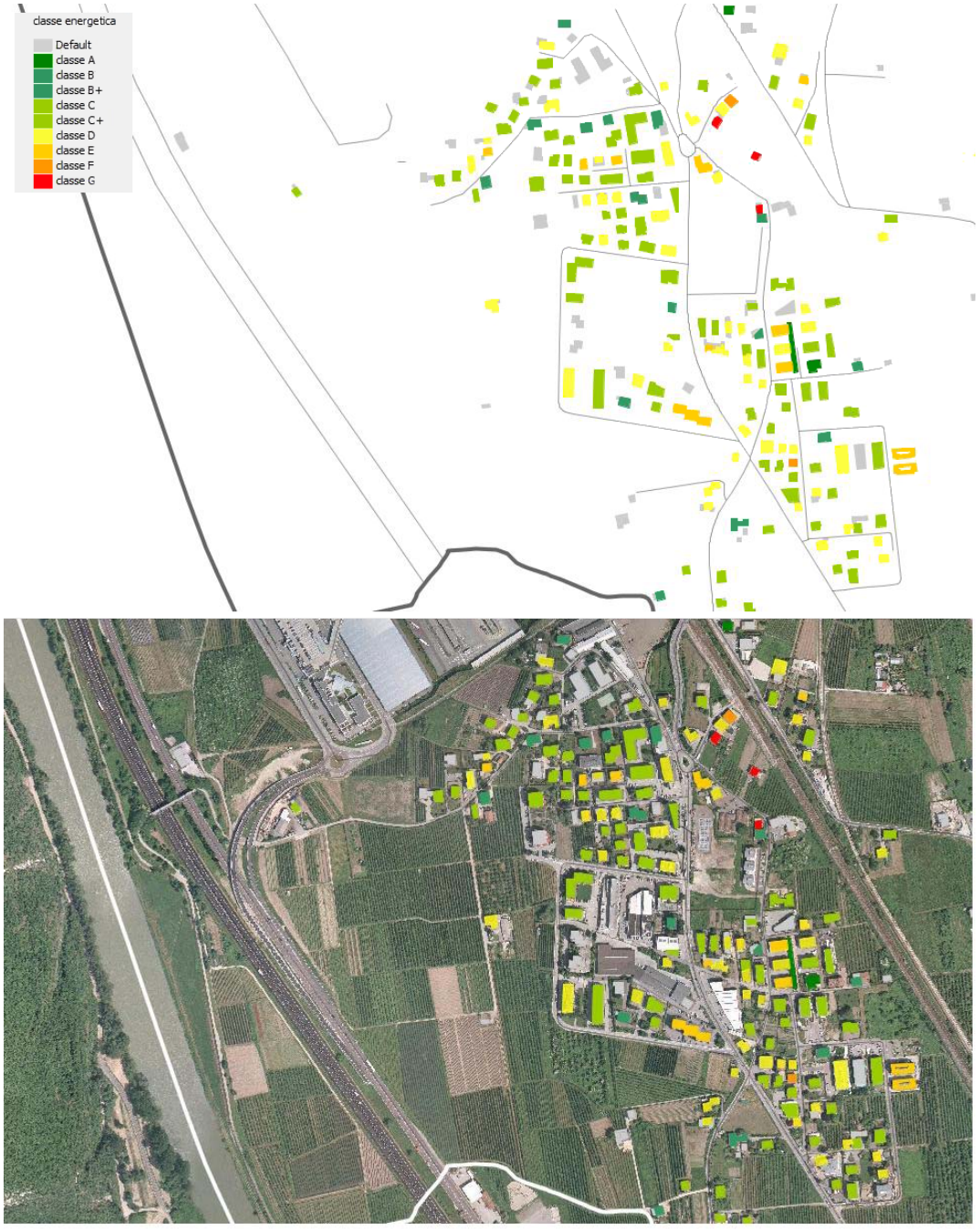


Fig. 63 Mappatura energetica

Fig. 64 Mappatura energetica

E' stata analizzata la distribuzione degli edifici osservati sulla base dell'indice di consumo rilevato (Fig. 65). La maggioranza degli edifici in esame si concentra all'interno di una fascia per la quale il consumo medio annuo per fabbricato è compreso all'incirca tra 68 e 127 kWh/m^2, valori identificativi del primo e del terzo quartile della distribuzione. La mediana e la media aritmetica risultano essere pari, rispettivamente, a 95 e 102.15 kWh/m^2 l'anno.

Così come emerge dall'istogramma in figura, la maggior parte degli edifici è caratterizzata da un consumo superiore ai livelli massimi imposti alle nuove costruzioni dalla normativa in vigore nello specifico territorio (45 kWh/m^2 anno). La linea rossa verticale, che compare all'interno dell'istogramma, è posizionata su tale valore di consumo: a sinistra sono raffigurati in rosa gli edifici con un consumo inferiore, che rispettano dunque i valori previsti dagli standard in vigore, mentre a destra sono raffigurati in rosso gli edifici con un consumo superiore. Nella parte in alto della figura è riportato un piccolo rettangolo nero i cui lati verticali si posizionano rispettivamente sul primo e sul terzo quartile della distribuzione. La lineetta e la figura a rombo all'interno del rettangolo individuano invece i livelli di mediana e di media. Infine, ancora una volta nella parte alta della figura, i punti che appaiono al termine della linea nera identificano i casi riconosciuti quali outlier dal software (JMP) attraverso cui è stato generato il grafico.

La distribuzione è asimmetrica a destra ed alcuni valori estremi risultano essere molto lontani da quelli centrali.

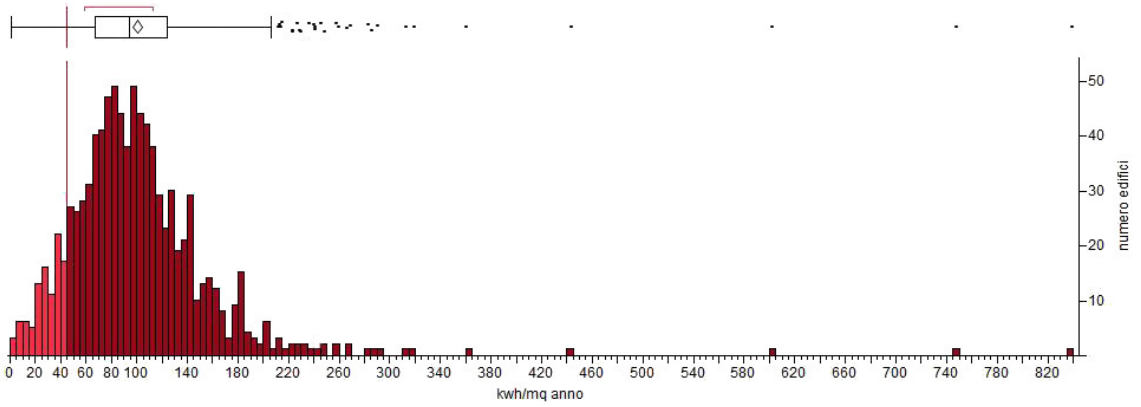


Fig. 65 Istogramma della distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato

È stato scelto di considerare quali casi anomali (outlier), gli edifici ricadenti nell'ultimo 5% della distribuzione, in quanto caratterizzati da valori degli indici di consumo eccessivamente diversi dalla gran parte del fenomeno di riferimento. Sono stati pertanto rimossi dalle analisi successive diciotto edifici, contraddistinti da un consumo maggiore di 245 kWh/m^2 anno.

Sono stati invece conservati i casi relativi ad edifici con valori di consumo estremamente bassi in quanto, benché isolate, tali situazioni potevano essere comunque rappresentative di

edifici particolarmente virtuosi e dunque di casi ed osservazioni reali. Complessivamente, i casi di osservazione disponibili hanno quindi riguardato 905 edifici[91].

Dall'analisi della nuova distribuzione, depurata dagli outlier, si riscontra un valore di media pari a 97.38 kWh/m^2 anno, pressoché corrispondente al valore di mediana, pari a 94 kWh/m^2 anno (Fig. 66).

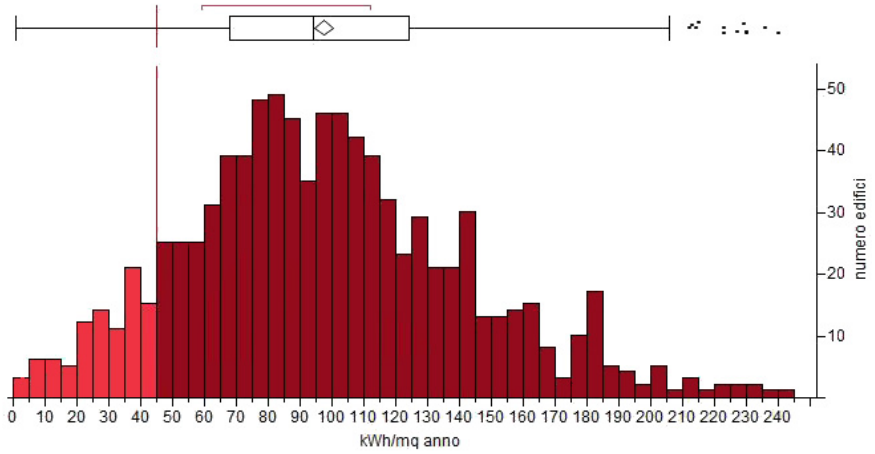


Fig. 66 Nuovo istogramma della distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato

La ripartizione per classi di efficienza dei 905 edifici osservati è riportata nella figura che segue.

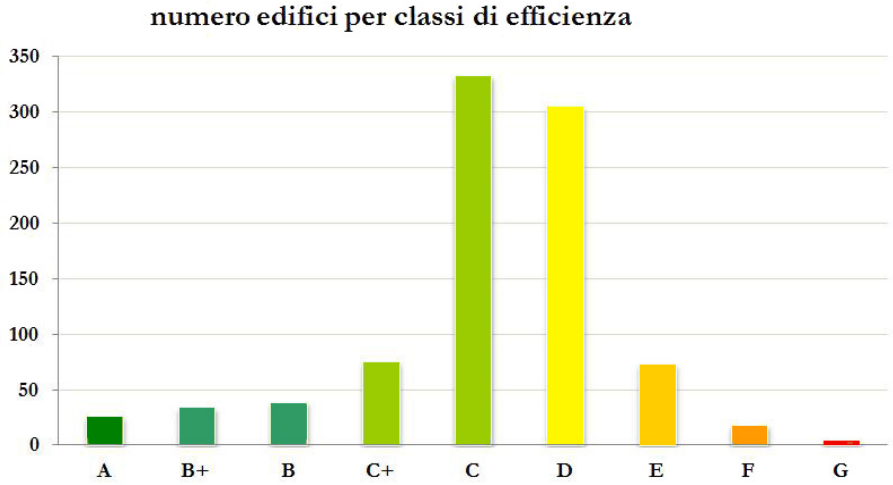


Fig. 67 Ripartizione edifici per classi di efficienza

[91] 923 casi di osservazione iniziale, dai quali sono stati rimossi 18 casi, considerati rappresentativi di valori anomali.

Da ultimo, è stato verificato l'andamento dei consumi negli edifici con impianto autonomo (704 casi) ed in quelli con impianto centralizzato (182 casi)[92]. Dal confronto tra i valori riscontrati per i due specifici gruppi sono emersi risultati non aspettati: negli edifici con impianto autonomo si sono infatti rilevati consumi medi decisamente inferiori rispetto a quelli rilevati negli edifici con impianto centralizzato (circa 93 contro 110 kWh/m^2 anno). È stato possibile dare una spiegazione a tali risultati integrando il dato relativo all'indice di consumo con informazioni ulteriori relative all'età della struttura e degli impianti (cfr. paragrafo 6.1).

[92] I rimanenti casi sono contraddistinti da un impianto di tipo misto.

5.3 Utilizzi potenziali delle banche dati catastali

Gli indici di prestazione definiti dal rapporto tra consumo rilevato e superficie utile dell'immobile, consentono di comparare la qualità energetica di edifici contraddistinti da un maggiore o minore sviluppo della zona riscaldata: è evidente che ciò non sarebbe altrettanto possibile qualora si considerassero i soli valori di consumo assoluto. Ai fini dello svolgimento dell'analisi compiuta, si è pertanto resa necessaria la definizione di una metodologia che consentisse di determinare in maniera speditiva ed immediata la superficie utile propria di ciascun fabbricato. La superficie degli edifici in esame è stata derivata in maniera automatica dalla cartografia tecnica comunale, pur nella consapevolezza che tale metodo di stima fosse potenzialmente caratterizzato da alcuni margini di errore. Tale tecnica ha previsto infatti di ricorrere a diverse semplificazioni, tra le quali quelle di seguito elencate:

- *il numero di livelli viene definito sulla base di un interasse costante tra ciascun piano*: si tratta di una semplificazione tendenzialmente rappresentativa di tipologie edilizie contraddistinte da una destinazione d'uso residenziale ad livello fuori terra (a titolo d'esempio, villette a schiera sviluppate su due o più piani fuori terra ad uso abitativo), ma che in altri casi può risultare non veritiera, compromettendo dunque il calcolo preciso del numero dei piani dell'edificio;
- *si presuppone una destinazione omogenea di tipo residenziale per ogni piano rilevato*: tale condizione non rappresenta ovviamente in modo corretto gli edifici a destinazione mista, caratterizzati, ad esempio, dalla presenza di attività commerciali al piano terra e da una destinazione d'uso residenziale ai piani superiori, nonché i fabbricati che, pur prevedendo un'unica destinazione residenziale, non sono tuttavia abitati a piano terra (ad esempio, edifici con piano terra su pilotis);
- *la superficie utile viene definita in relazione all'area di ingombro rilevata da carta tecnica*: il poligono assunto alla base del calcolo tuttavia non sempre rappresenta correttamente l'area effettiva occupata dall'edificio, spesso infatti individua la proiezione a terra della linea di gronda della copertura o la proiezione di corpi sporgenti dal perimetro delle murature quali poggioli o balconi, comportando dunque un sovradimensionamento della superficie utile definita.

Tali casistiche sono sinteticamente raffigurate nell'immagine di seguito riportata (Fig. 68), relativa ad un edificio con interasse interpiano non costante, caratterizzato da un piano terra sviluppato su pilotis e da una copertura la cui proiezione a terra non è equivalente all'area di ingombro del fabbricato.

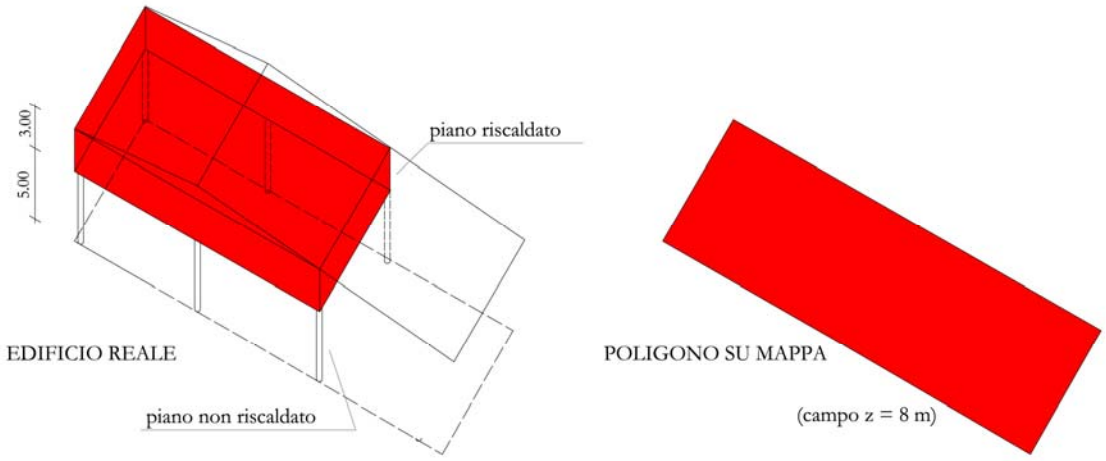


Fig.68 Difformità potenziali tra la superficie reale e la superficie stimata

Attraverso le operazioni descritte nel presente paragrafo è stata quindi verificata la possibilità di utilizzare alcune delle banche dati catastali al fine di stimare in maniera più precisa il dato di superficie riscaldata in ciascun edificio. La cartografia tecnica comunale è stata pertanto integrata utilizzando la cartografia catastale numerica e gli archivi dei dati metrici delle unità immobiliari urbane relative alle particelle edificiali site nell'area in esame. Entrambe le banche dati sono state rilasciate dal Servizio Catasto della Provincia autonoma di Trento.

5.3.1 Descrizione dei dati acquisiti

CARTOGRAFIA CATASTALE NUMERICA

La cartografia acquisita, di tipo vettoriale formato shapefile, è rappresentativa delle particelle edificiali e fondiarie site nel comune catastale in cui ricade il territorio in esame[93] (Fig. 69).

[93] Comune catastale n. 161 della Provincia autonoma di Trento.

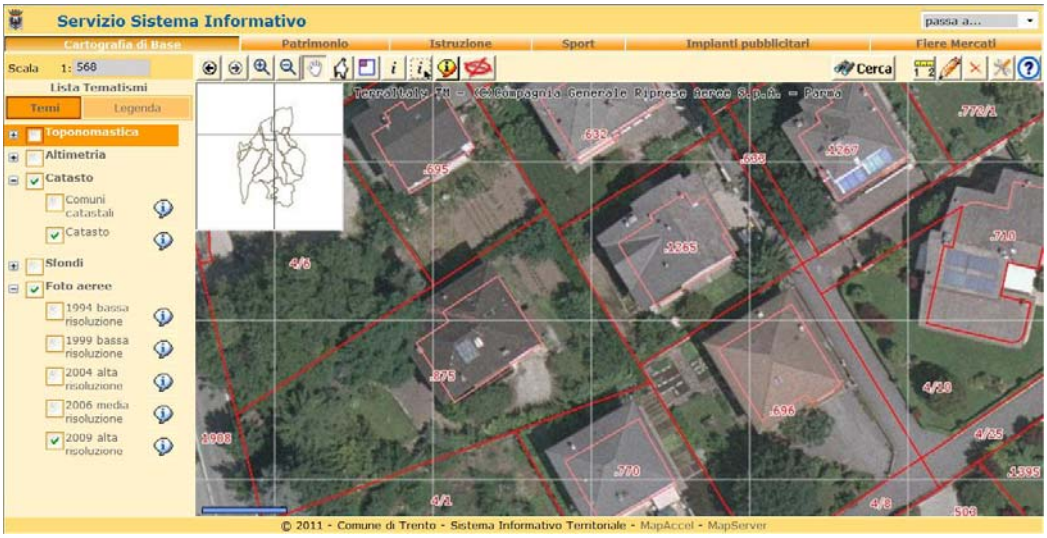


Fig.69 Ortofoto 2009 e sistema delle particelle catastali
Fonte Servizio Sistema Informativo Comune di Trento
http://webapps.comune.trento.it/base/?LANG=it

Gli attributi associati alle particelle, identificate da geometrie di tipo poligonale, sono sintetizzati nella tabella seguente (Tab. 9).

shapefile	geometria	n. record	attributi		
			campo	dominio	descrizione
161cp000.shp	areale	8269	area	double	area poligono
			perimetro	double	perimetro poligono
			ctwexpr_	integer	-
			ctwexpr_id	integer	-
			tipop	string	(P/C principale/pertinenza)
			num	string	numero particella
			dsup_sopra	string	numero particelle che identificano diritti di superficie sopra il suolo
			dsup_sotto	string	numero particelle che identificano diritti di superficie sotto il suolo
			fab	string	(SI/NO identifica se il poligono è un fabbricato)

Tab. 9 Caratteristiche ed attributi dello shapefile delle particelle catastali acquisito

Il numero di particella, riportato negli attributi dello shapefile, definisce se la geometria in oggetto è rappresentativa di una particella edificiale o, viceversa, di una particella fondiaria. Tale attributo è infatti convenzionalmente preceduto da un punto qualora il poligono al quale esso è associato individui una particella di tipo edificiale (Fig. 70). In caso contrario, il poligono si intende invece identificativo di una particella fondiaria.

Nell'esempio riportato in figura, il numero associato alla particella assume valore ".875": ciò significa che la particella è di tipo edificiale.

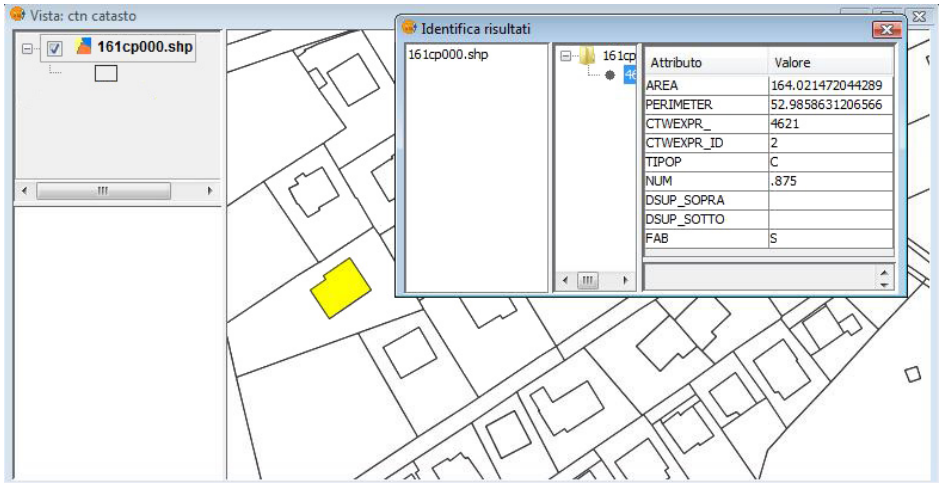


Fig. 70 Particella edificiale

A partire dagli anni '90, l'amministrazione catastale della Provincia di Trento ha dato il via ad un programma di progressivo rifacimento ed aggiornamento del proprio archivio cartografico, a mezzo del quale è stata definita la cartografia numerica attualmente disponibile. Nel 2005, il Servizio Catasto ha inoltre modificato il datum del proprio sistema di riferimento, abbandonando il sistema Gauss-Boaga su elissoide Roma40, per adeguarsi al nuovo sistema di riferimento cartografico UTM-ETRF89 fuso 32N su elissoide WGS 84.

La cartografia catastale ha consentito in numerose situazioni di andare ad integrare la cartografia comunale precedentemente acquisita. Le due cartografie, caratterizzate dal medesimo sistema di riferimento e di proiezione, sono risultate infatti essere perfettamente sovrapponibili (Fig. 71).

Fig.71 Sovrapposizione dello shapefile degli edifici da cartografia comunale (in verde) con lo shapefile catastale

La cartografia comunale, derivata da un rilievo condotto nell'anno 2000, è risultata in molti casi obsoleta rispetto a quella catastale, la quale viene invece frequentemente aggiornata attraverso i tipi di frazionamento che i proprietari delle particelle presentano qualora vi sia la necessità di modificare lo stato giuridico e di consistenza degli immobili, come disposto dalla normativa in materia. La cartografia catastale si è rivelata inoltre essere decisamente più dettagliata rispetto a quella comunale.

ARCHIVI DATI METRICI

L'archivio dei dati metrici consente di identificare le tipologie e le superfici degli ambienti che compongono ciascuna delle unità immobiliari urbane del Catasto Fabbricati. In gergo catastale, l'unità immobiliare urbana (di seguito U.I.U.), viene definita *come una porzione di fabbricato, un intero fabbricato o un insieme di fabbricati che, nello stato in cui si trova, è di per se stesso in grado di produrre un reddito indipendente*[94].

La banca dati metrica acquisita è articolata in tre tabelle distinte (Fig. 72), ciascuna delle quali identifica determinate e specifiche caratteristiche, proprie della singola unità immobiliare. La chiave comune ai tre archivi, attraverso la quale è possibile connettere i relativi record, viene individuata da due campi corrispondenti ai codici identificativi di ciascuna unità (campi *id_plan, id_UIU)*[95].

[94] D. Magni - Corso di Sistemi Catastali – a.a. 2004/2005
http://geomatica.como.polimi.it/corsi/catasto/cdf_formatt.pdf
Esempi di U.I.U. relative a porzioni di fabbricato possono essere i singoli appartamenti, di U.I.U. costituite da interi fabbricati gli immobili quali ville, scuole o alberghi ed infine di U.I.U. identificate da insiemi di fabbricati i gruppi di edifici a destinazione industriale, ospedaliera, ecc..

[95] Il campo *id_plan* correla ogni record della tabella al corrispondente elaborato grafico riportato nelle planimetrie degli immobili urbani mentre il campo *id_UIU* stabilisce una corrispondenza con la banca dati censuaria del Catasto Fabbricati, contenente i dati identificativi di ciascuna unità immobiliare urbana.

Le informazioni estratte dagli archivi ritenute di interesse ai fini dell'indagine, sono state individuate nei seguenti elementi:

- la categoria catastale di appartenenza di ciascuna U.I.U. (*categoria_UIU*), riportata nel primo archivio *(archivio.sch)*;
- il numero di particella edificiale sulla quale è sita la U.I.U. (*num_P, denom_P*),[96] riportato nel secondo archivio *(archivio.ide)*;
- la misura delle superfici dei vani componenti l'U.I.U. *(superficie_poligono)*, ciascuno dei quali classificato in relazione alla specifica destinazione d'uso (*tipo_poligono),* riportata nel terzo archivio *(archivio.met).*

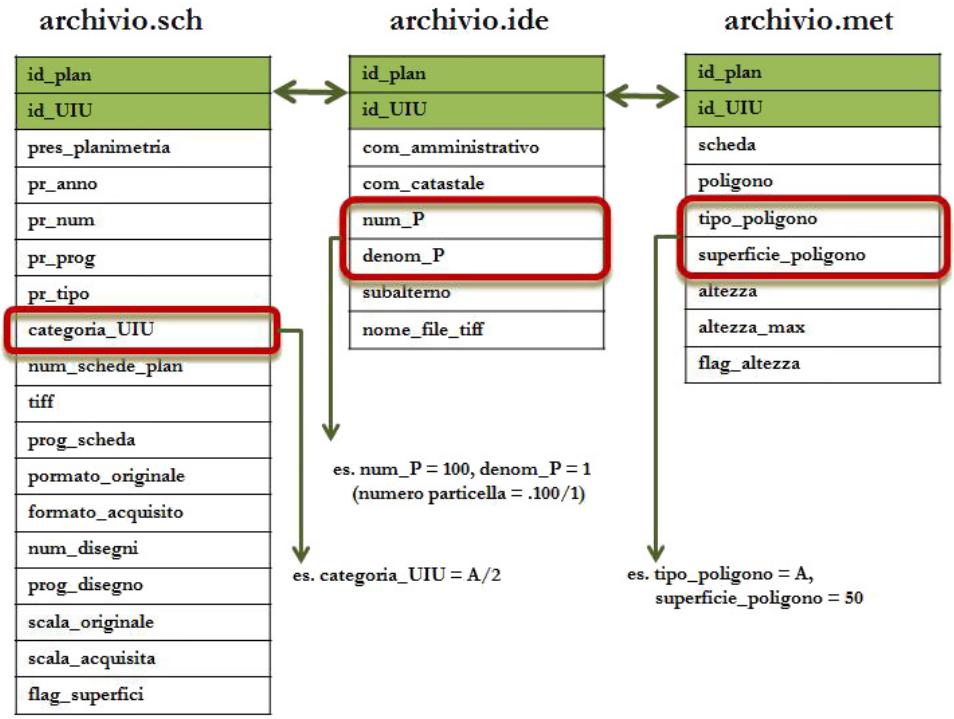


Fig.72 Struttura delle tabelle *.sch, .ide, .met*, componenti l'archivio dei dati metrici acquisito

A ciascuna U.I.U. è associata una specifica categoria catastale, definita in relazione alla destinazione d'uso dell'immobile ed alle sue caratteristiche costruttive. Ai fini del lavoro, le unità di interesse sono state identificate in quelle appartenenti al gruppo 'A'[97], ovvero le unità a destinazione residenziale:

- A/1 Abitazioni di tipo signorile
- A/2 Abitazioni di tipo civile

[96] Il numero della particella può essere composto da due parti: numeratore e denominatore.

[97] http://www.catasto.provincia.tn.it/binary/pat_catasto/download/LISTA_CATEGORIE_IMMOBILIARI.1305709192.pdf

- A/3 Abitazioni di tipo economico
- A/4 Abitazioni di tipo popolare
- A/5 Abitazioni di tipo ultrapopolare
- A/6 Abitazioni di tipo rurale
- A/7 Abitazioni in villini
- A/8 Abitazioni in ville
- A/9 Castelli, palazzi di eminenti pregi artistici e storici
- A/10 Uffici e studi privati
- A/11 Abitazioni ed alloggi tipici dei luoghi

Le rimanenti categorie catastali fanno invece riferimento ad immobili destinati a servizi (gruppo B), immobili commerciali (gruppo C), immobili a destinazione speciale (gruppo D), immobili a destinazione particolare (gruppo E) ed entità urbane (gruppo F)[98].

Per ciascuna delle unità presenti nell'archivio, il database dei dati metrici restituisce le superfici degli ambienti ad essa pertinenti, determinate dall'area dei *poligoni* elaborati attraverso i DOcumenti Catasto FAbbricati (DOCFA), prodotti in sede di accatastamento di una nuova unità o di variazione di un'unità esistente. In base a quanto disposto dal d.P.R. 138/98, ciascun poligono identifica un ambiente avente delle caratteristiche peculiari, definite nel contesto dell'edificio in cui lo stesso è sito. Nella fattispecie, si distinguono sette tipologie di poligoni:

- *poligono A*: rappresentativo di vani o locali aventi funzione principale nella specifica categoria e vani o locali accessori a servizio diretto dei principali. Nelle unità immobiliari di tipo residenziale (categoria A) individua vani principali quali sale, saloni, cucine e camere da letto nonché vani accessori tra cui ingressi, corridoi, disimpegni, ripostigli, bagni, w.c., lavanderie, verande, vani privi di luce diretta e scale purché interne all'abitazione;
- *poligono B:* rappresentativo di vani o locali accessori a servizio indiretto di quelli individuati tra i poligoni A, comunicanti con questi e non strettamente necessari agli stessi quali soffitte, cantine, locali di sgombero, legnaie, stalle, granai, porcili, pollai (collegati da scala interna);
- *poligono C*: rappresentativo di vani e locali accessori a servizio indiretto di quelli individuati tra i poligoni A, non comunicanti con questi e non strettamente

[98] A seguito della riforma catastale introdotta dal decreto del Presidente della Repubblica 23 marzo 1998, n. 138 *"Regolamento per la revisione delle zone censuarie e delle tariffe d'estimo in esecuzione della Legge 662/96"* (G.U. 12 maggio 1998, n. 108), si è proceduto ad una revisione dei criteri di classamento attraverso la quale è stata prevista la distinzione tra unità immobiliari ordinarie (gruppi P, R, T) ed unità immobiliari speciali (gruppi V, Z). Il database acquisito fa riferimento al precedente sistema di classificazione.

necessari agli stessi quali soffitte, cantine, locali di sgombero, legnaie, stalle, granai, porcili, pollai (non collegati da scala interna);

- *poligono D*: rappresentativo di balconi, terrazze e simili comunicanti con i vani o locali individuati tra i poligoni A;
- *poligono E*: rappresentativo di balconi, terrazze e simili non comunicanti con i vani o locali individuati tra i poligoni A, nonché pertinenze esclusive della U.I.U. trattata quali portici, tettoie, ecc.;
- *poligono F*: rappresentativo di aree scoperte o comunque assimilabili a servizio esclusivo dell'U.I.U. quali cortili, patii, aie, giardini, terreni destinati a giochi o esercizi sportivi, serre, ecc.;
- *poligono G*: rappresentativo di tipologie non classificabili nei precedenti ambienti in quanto relativi a tipologie non rilevanti ai fini catastali, quali intercapedini, parchi, giardini, corti e simili costituenti pertinenze di U.I.U. appartenenti alle categorie dei gruppi B/1, B/2, B/3, B/4, B/5, B/6.

5.3.2 Elaborazione degli archivi dei dati metrici

Nella presente fase del lavoro è stato verificato se la superficie riscaldata degli edifici a destinazione residenziale potesse essere definita dalla somma delle aree dei poligoni di tipologia 'A' (vani a destinazione principale e vani accessori a servizio diretto dei principali) relativi alle unità immobiliari appartenenti alle categorie catastali 'A' (unità immobiliari per uso di abitazioni e assimilabili). Tali poligoni individuano infatti gli ambienti utili ai fini del conteggio quali cucine, soggiorni, camere da letto, ecc., escludendo invece quegli spazi quali soffitte, cantine, depositi auto, ecc., che non vengono normalmente riscaldati.

In tal senso, le elaborazioni sono state dirette a determinare, per ciascuna particella edificiale, la somma delle superfici dei poligoni A, appartenenti alle unità immobiliari di categoria A site sulla particella medesima, ovvero a definire per ciascun edificio la somma complessiva di tali superfici (Fig. 73). Successivamente, attraverso il numero della particella edificiale, i valori di superficie calcolati sono stati georiferiti ed associati alle geometrie della cartografia catastale numerica acquisita.

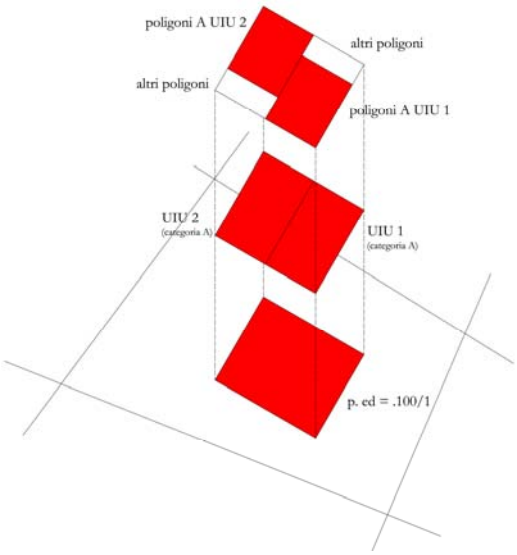


Fig.73 Rapporto tra poligoni, unità immobiliari e particella edificiale

Come detto, in ciascuna tabella sono definiti due attributi relativi ai codici identificativi di ogni singola unità immobiliare, tramite i quali è possibile correlare i record dei tre archivi (v. Fig. 72, pag. 180). Per ciascuna unità è stato pertanto possibile estrarre dall'*archivio.sch* le informazioni relative alla categoria catastale a cui la stessa appartiene, dall'*archivio.ide* il numero di particella edificiale sulla quale l'unità è sita e dall'*archivio.met* i dati metrici (m^2) dei poligoni associati all'unità. Nell'esempio riportato in figura (Fig. 74), l'unità codificata con gli identificativi 1056030260 (*id_plan*) e 866160 (*id_UIU*), appartiene alla categoria A2 (*archivio.sch*), è sita nella particella edificiale .1196 (*archivio.ide*) ed è costituita da un insieme di ambienti articolati in vani principali identificati dai poligoni A, per una superficie di 73 m^2, in vani ad accesso secondario e servizio indiretto identificati dai poligoni C, per una superficie di 5 m^2 e da balconi e terrazzi identificati dai poligoni D, per una superficie di 22 m^2 (*archivio.met*).

archivio sch | archivio ide | archivio met

ID_plan	ID_unita	pres_plan	com_amn	pr_anno	pr_num	pr_prog	pr_tipo	categ_UIU	num_schede_f	tiff	prog_scheda	formato_ori	formato_a
1056030090	13794	11/04/2007	L378	2007	14414	1	V	C02	2	1056030090	2	A	A3
1056030260	866160	16/04/2007	L378	2007	15203	1	V	A02	1	1056030260	1	A	A3
1056030828	15538	09/10/1990	L378	1990	4380	3	V	A02	1	1056030828	1	A	A3
1056030829	15539	09/10/1990	L378	1990	4379	3	V	A02	1	1056030829	1	A	A3
1056030948	874278	07/09/2007	L378	2007	17886	1	V	D08	3	1056030948	1	A	A3

archivio sch | archivio ide | archivio met

id_plan	id_uiu	com_amministrativo	com_catastale	num_P	denom_P	subalterno	nome_file_tiff
1056030090	13794	L378	L378	00649	0	0001	3000019812
1056030260	866160	L378	L378	01196	0	0011	3000019812
1056030828	15538	L378	L378	00901	0	0020	3000019812
1056030829	15539	L378	L378	00901	0	0021	3000019812
1056030948	874278	L378	L378	01750	0	0366	3000019812

archivio sch | archivio ide | archivio met

id_plan	id_uiu	scheda	poligono	tipo_poligono	superficie_poligono	altezza	altezza_massima	flag_altezza
1056029735	797089	1	2	D	10	0	0	0
1056030260	866160	1	1	A	73	277	0	0
1056030260	866160	1	2	C	5	275	0	0
1056030260	866160	1	3	D	22	0	0	0
1056033042	708570	1	1	A	98	260	0	0

Fig.74 Correlazione fra i tre archivi

Il rapporto tra particella ed unità immobiliare non è strettamente di tipo 1:1, la medesima particella può cioè contenere più unità immobiliari[99], le categorie catastali delle quali potrebbero essere fra loro non omogenee[100]. Nella banca dati acquisita, tale situazione viene contraddistinta dalla presenza di più unità immobiliari, ciascuna appartenente ad una categoria specifica, che, nel contesto dell'*archivio.ide*, rimandano alla medesima particella edificiale.

Le elaborazioni condotte sull'archivio dei dati metrici hanno dunque riguardato le azioni seguenti (Fig. 75):

- costruzione di un nuovo archivio attraverso il quale viene definita per ciascuna delle unità immobiliari appartenenti alle categorie catastali A, la somma delle superfici dei poligoni A in essa contenuti (archivio *UIU*);
- costruzione di un nuovo archivio attraverso il quale viene definita per ciascuna particella edificiale, la somma delle superfici precedentemente determinate per le unità immobiliari di categoria A in essa contenute (archivio *p_edif*).

Nell'esempio in figura (Fig. 75) sono evidenziate le unità immobiliari facenti capo alla particella .1050: su tale particella sono site quattro unità immobiliari classate A2, facenti dunque parte delle categorie computate ai fini del lavoro, alle quali è associata una superficie complessiva dei poligoni A pari a 535 m^2.

[99] È il caso, ad esempio, di un condominio composto da più appartamenti indipendenti.

[100] È il caso di un edificio in coesistono differenti destinazioni d'uso, quali, ad esempio, un'attività commerciale al piano terra e delle residenze ai livelli superiori.

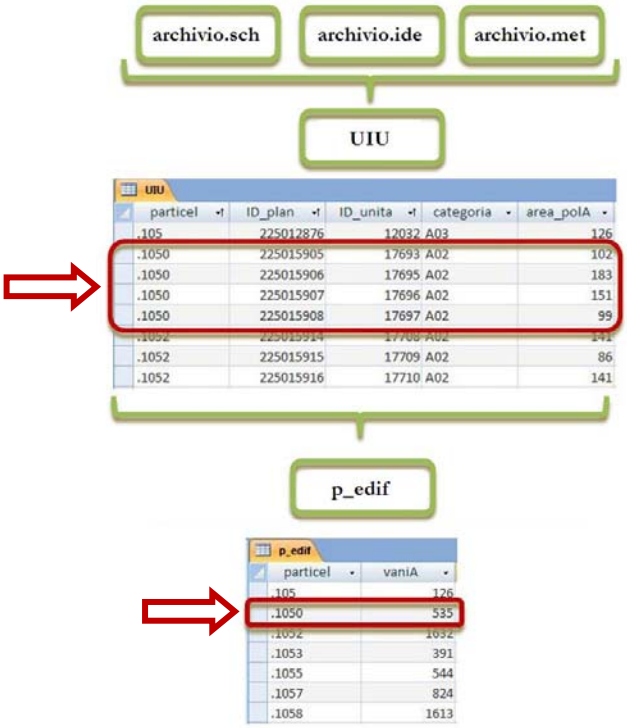


Fig.75 Superficie complessiva dei vani A, categoria A, di ciascuna particella edificiale

Il d.P.R. 138/1998 ha disposto che nella determinazione della superficie catastale delle unità immobiliari a destinazione ordinaria, tra cui quelle residenziali, la superficie dei vani principali e dei vani accessori a servizio diretto dei principali (poligoni A) venga computata al 100% ed arrotondata al metro quadrato, considerando anche lo spessore dei muri interni e di quelli perimetrali esterni, computati per intero fino ad un massimo di 50 cm oppure nella misura del 50%, fino ad un massimo di 25 cm, qualora in comunione. Analogamente a quanto descritto nella precedente fase del lavoro, si è supposto che la superficie al netto delle tramezzature e dei muri perimetrali possa assumersi pari all'80% della superficie lorda.

5.3.3 Trasposizione dei dati in GIS ed analisi dei risultati

I valori di superficie complessiva dei poligoni A, riferiti alle singole particelle edificiali, sono stati importati in GIS e comparati ai valori di superficie riscaldata precedentemente stimati per ciascun edificio dalla cartografia tecnica comunale. Operativamente, le azioni eseguite a tal fine sono state le seguenti:

- costruzione di un nuovo shapefile puntuale, definito dal centroide di ogni particella edificiale, nella tabella attributi del quale viene identificato il numero di particella alla quale ciascun punto è riferito;
- georeferenziazione delle informazioni di superficie derivate dalla banca dati catastale, inserite in GIS quale nuovo attributo del centroide di particella;

- trasferimento allo shapefile degli edifici, derivato dalla carta tecnica comunale, del valore di superficie riportato tra gli attributi del centroide di particella contenuto all'interno del poligono identificativo di ciascun edificio (Fig. 76).

Come visto, le geometrie degli edifici estratte dallo shapefile delle particelle edificiali e quelle derivanti dalla cartografia tecnica comunale sono risultate essere tra loro correttamente sovrapponibili; grazie a ciò è stato possibile trasferire l'attributo di superficie catastale da un elemento cartografico all'altro. Infatti, nella maggioranza dei casi, la sagoma del singolo edificio ricalcava con un buon livello di approssimazione la sagoma della particella sul quale lo stesso era sito, facendo sì che il centroide della particella ricadesse contemporaneamente anche all'interno del poligono identificato dalla carta tecnica. Attraverso un'operazione di *join spaziale* è stato quindi possibile aggiungere tra gli attributi di ciascun poligono rappresentativo degli edifici, il dato relativo alla superficie catastale riportato dagli attributi del centroide in esso contenuto. In aggiunta al valore di superficie, tra gli attributi dello shapefile della carta tecnica è stato riportato anche il numero di particella associato al centroide; ciò ha consentito, nelle fasi seguenti del lavoro, di integrare lo shapefile con ulteriori nuove banche dati la cui chiave geografica è definita dal numero di particella edificiale.

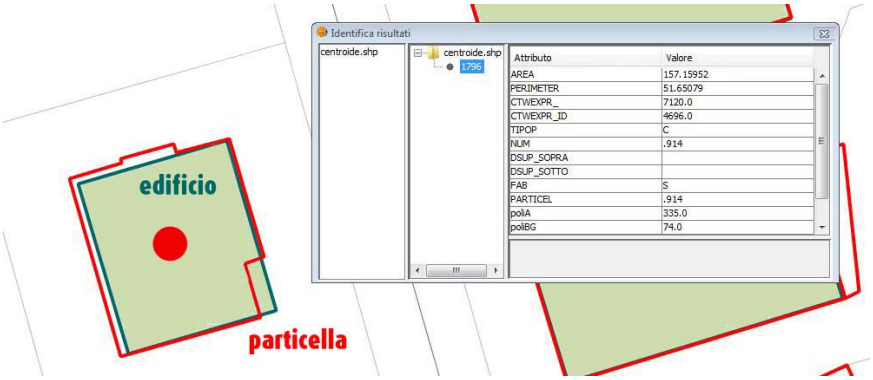


Fig.76 Trasferimento degli attributi delle particelle edificiali alle geometrie degli edifici. Gli attributi del centroide della particella (pallino rosso) sono stati trasferiti agli attributi degli edifici attraverso l'operatore di spatial join

Nello shapefile degli edifici derivato da carta tecnica, ogni singola struttura è identificata da un poligono determinato al quale sono associati gli attributi propri dell'edificio, tra cui l'entità del consumo sostenuto. In tal senso, in fase di trasferimento all'edificio delle informazioni di superficie della particella, è stato necessario garantire che il rapporto tra i due elementi fosse di tipo 1:1, ovvero che la superficie associata ad uno specifico numero di particella potesse ritenersi esclusivamente riferita ad unico specifico edificio. Da un'analisi della cartografia catastale è emerso come tale condizione non fosse tuttavia

sempre rispettata. In diversi casi, il medesimo numero di particella edificiale era infatti correlato a più di un poligono, ovvero la superficie catastale ad esso associata era riferita non ad uno, bensì ad una pluralità di edifici. Nell'esempio riportato in figura (Fig. 77), sono evidenziati poligoni distinti della cartografia catastale, a ciascuno dei quali è associato un identico numero di particella (campo *num* = . 1677).

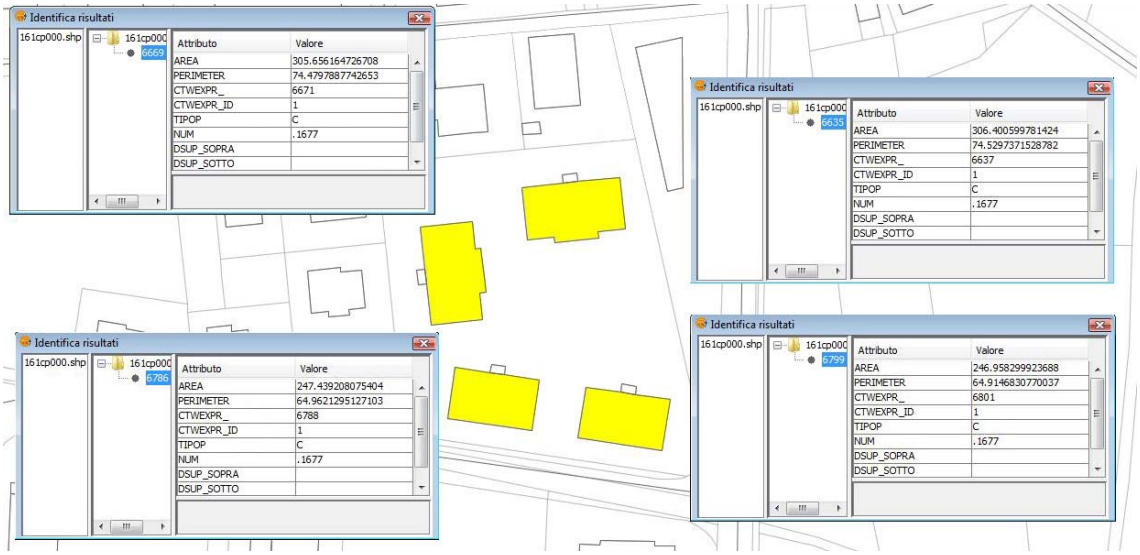


Fig. 77 Cartografia catastale: poligoni distinti, caratterizzati dal medesimo numero di particella

Nei suddetti casi, si sarebbe reso necessario suddividere il valore di superficie correlato al numero di particella in oggetto, tra gli edifici alla quale la particella stessa faceva riferimento (Fig. 78). Non essendo tuttavia disponibili indicazioni in merito a come ripartire la superficie derivata dagli archivi dei dati metrici tra gli edifici a cui la stessa doveva intendersi attribuita, tale informazione si è considerata inutilizzabile ai fini dell'indagine. In tali specifici casi infatti il dato di consumo riferito ad uno specifico edificio ed il dato di superficie relativo invece ad una pluralità di edifici, non potevano considerarsi fra loro rapportabili.

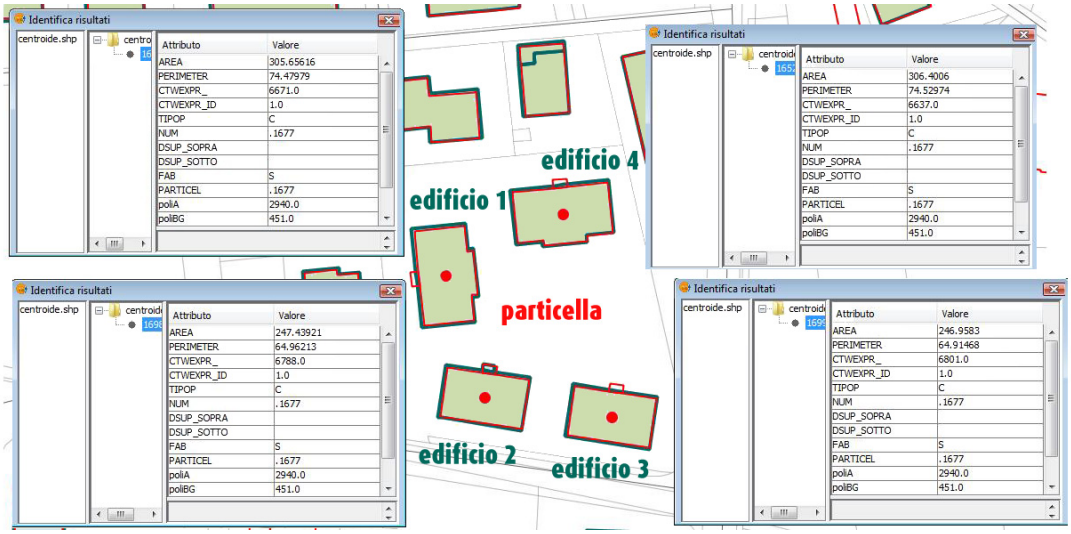


Fig.78 Superficie catastale (*poliA* = 2940 m²) contemporaneamente riferita ad una pluralità di poligoni

Nel corso delle operazioni di trasferimento agli edifici dei dati di superficie delle particelle, sono emersi numerosi casi in cui la cartografia comunale non ha potuto essere integrata con le informazioni derivate dagli archivi catastali. L'attributo di superficie dei poligoni A delle unità di categoria A, ha potuto essere correlato esclusivamente a 471 dei 905 edifici per i quali era contemporaneamente noto anche l'ammontare del consumo sostenuto (cfr. paragrafo 5.2.3). Le anomalie riscontrate, che hanno impedito in un numero così elevato di casi l'integrazione del dato di superficie catastale, sono state di diverso genere.

Insieme alle casistiche precedentemente descritte, caratterizzate da un'informazione di superficie contemporaneamente riferita a più di un edificio, sono stati evidenziati casi per i quali all'edificio riportato nella carta tecnica non era associata una corrispondente particella nella planimetria catastale e casi in cui alla particella edificiale rappresentativa dell'edificio non era correlata alcuna unità immobiliare nell'archivio dei dati metrici, il che comportava che il valore di superficie definito per il corrispondente numero di particella risultasse pari a zero.

Tra le anomalie riscontrate sono emersi infine numerosi casi, rilevati già nella fase di elaborazione dei dati metrici, per i quali alla particella edificiale risultavano essere correlate, tra le altre, unità immobiliari associate ad una categoria di tipo A00, non facente parte di nessuna delle categorie previste dal sistema di classamento. A seguito di un confronto con alcuni tecnici del Servizio Catasto, le unità A00 sono risultate essere codificate quali unità non classate, dunque prive di categoria. Non essendo certo che i valori di superficie associati a tali unità potessero essere ritenuti rappresentativi di superfici residenziali, i

numeri di particella caratterizzati dalla presenza dei suddetti tipi di unità, sono stati esclusi dai casi considerati utilizzabili ai fini dell'indagine.

Le superfici attribuite agli edifici contraddistinti da unità classate A00 risultavano essere fortemente discordi da quelle ottenute dalla carta tecnica. A titolo d'esempio il caso riportato in figura (Fig. 79) è relativo ad un edificio con area di ingombro pari a circa 250 m^2 per il quale, nella precedente fase, era stata stimata da carta tecnica una superficie utile di circa 800 m^2. Alla corrispondente particella edificiale sono risultate associate esclusivamente unità classate quali A00, per una superficie complessiva dei relativi poligoni A pari a poco più di 100 m^2. Attraverso un sopralluogo, è stato accertato che l'edificio in esame corrisponde ad un fabbricato ad uso abitativo, strutturato su quattro livelli a destinazione residenziale. È evidente come il dato di superficie derivato dall'archivio dei dati metrici possa ritenersi in questo caso nettamente sottostimato rispetto alla superficie utile tendenzialmente attribuibile all'edificio. L'esempio riportato, insieme a numerosi casi ulteriori, ha dimostrato come le superfici derivate dalle unità così classificate non potessero considerarsi utili ai fini dell'indagine.

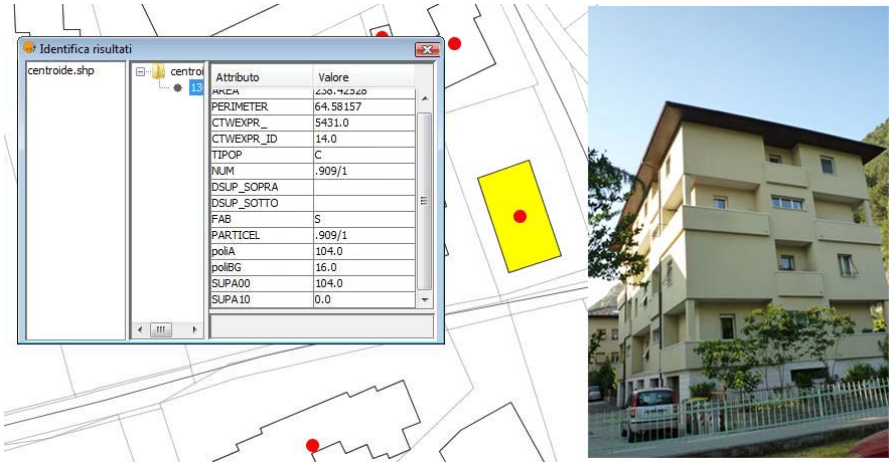


Fig.79 Difformità tra il dato di superficie delle unità A00 e la superficie reale

Il confronto tra le superfici stimate da carta tecnica e da catasto, nei 471 casi considerati utili ai fini dell'indagine, ha evidenziato come in buona parte delle situazioni in esame l'area utile degli edifici derivata dalla carta tecnica fosse più elevata rispetto a quella ottenuta dalla banca dati catastale. Nella maggioranza dei casi, la differenza tra le due superfici era contenuta al di sotto del 20% del valore di superficie catastale; in tali situazioni il maggior valore stimato da carta tecnica poteva ritenersi con molta probabilità riconducibile ai corpi scala, non scorporati ai fini del calcolo dell'area utile.

Sono stati analizzati, ed eventualmente corretti, i casi caratterizzati da una forte difformità tra i due risultati, derivanti, per la maggior parte, da un errore di stima della superficie utile da carta tecnica conseguente ad un'errata definizione del numero dei livelli.

Anche in questo caso si sono rivelate di grande utilità le immagini pictometriche disponibili online sui siti Google o Bing.

Poiché il dato di superficie catastale si è rivelato disponibile per poco più del 50% dei casi in esame, si è preferito adottare unicamente l'informazione derivata dalla carta tecnica comunale, in maniera tale che la metodologia di definizione delle superfici ed il potenziale errore di stima delle stesse fossero omogenei e costanti in tutti gli edifici.

L'integrazione delle banche dati catastali si è comunque rivelata utile a migliorare la qualità del supporto cartografico adottato. Il confronto con i valori di superficie ricavati dall'archivio dei dati metrici ha consentito di porre dei campanelli d'allarme a riguardo dei casi nei quali si rilevava una forte difformità tra i risultati ottenuti per mezzo dei due metodi di stima. In tale maniera, è stato quindi possibile evidenziare e correggere le situazioni in cui le superfici precedentemente determinate dalla carta tecnica erano contraddistinte da evidenti errori di calcolo.

L'integrazione con la cartografia catastale ha permesso inoltre di associare ai poligoni della carta tecnica il numero di particella edificiale sul quale i singoli edifici sono siti. Tale informazione ha reso possibile la successiva integrazione di nuove banche dati, per le quali la chiave geografica utile alla georeferenziazione non è più identificata attraverso la via ed il numero civico bensì attraverso il numero di particella catastale.

In linea generale si può sostenere che la cartografia e le banche dati catastali, sebbene realizzate con finalità prevalentemente fiscali, possano costituire un valido supporto anche ad ulteriori attività di analisi del territorio.

5.4 Prime conclusioni

A seguito delle operazioni compiute in tale fase del lavoro, è disponibile un primo screening in merito alla qualità energetica della quasi totalità degli edifici siti all'interno del contesto di indagine. Le informazioni derivate possono costituire un valido supporto alla programmazione di analisi più dettagliate nei confronti di quegli edifici le cui prestazioni versano in uno stato più critico nonché uno strumento utile alla stima del potenziale di risparmio energetico conseguibile attraverso l'esecuzione di interventi specifici di riqualificazione.

Il modello sviluppato fornisce un risultato finale rapidamente e facilmente aggiornabile, grazie al progressivo inserimento dei dati di consumo che si rendono via via disponibili.

Bibliografia e Sitografia

Magni D., *Corso di Sistemi Catastali - a.a. 2004/2005*
http://geomatica.como.polimi.it/corsi/catasto/cdf_formatt.pdf

www.catasto.provincia.tn.it

www.comune.trento.it/Aree-tematiche/Cartografia

www.eni.it

6 LABORATORIO PARTE 2. CARATTERIZZAZIONE DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Nella seconda parte del laboratorio sviluppato, gli indicatori di prestazione energetica sono stati integrati da nuovi elementi informativi, relativi a caratteristiche delle strutture e degli occupanti presumibilmente in grado di influire sui consumi rilevati.

Le informazioni aggiuntive adottate per l'elaborazione di tale fase d'indagine, sono state ricavate da nuove banche dati resesi disponibili (età edificio, tipologia occupanti) o derivate dai dati già in possesso (fattore di forma).

Il capitolo si struttura in tre paragrafi principali, ciascuno dei quali relativo all'esame di una specifica variabile di influenza sul consumo.

6.1 Integrazione età dell'edificio

Nella presente sezione del lavoro, il pacchetto informativo definito per gli immobili in esame è stato integrato con i dati relativi all'epoca di costruzione dei singoli fabbricati. In tale maniera, si è reso possibile analizzare le interazioni esistenti tra la prestazione energetica degli edifici, espressa attraverso gli indici precedentemente definiti ed il momento storico in cui gli stessi sono stati realizzati.

Come visto (cfr. paragrafo 2.2.1), fino agli anni '70 il mercato immobiliare nazionale non è stato regolato da legge alcuna che prescrivesse l'adozione di criteri costruttivi tali da garantire il rispetto di livelli minimi di qualità energetica degli edifici. Nel nostro paese, il problema della limitazione dei consumi è infatti emerso solo a seguito della crisi scatenata dalla guerra del Kippur e del conseguente forte aumento dei costi petroliferi. Di lì in poi, l'attenzione rivolta alle prestazioni energetiche nel settore delle costruzioni è divenuta via via crescente e la necessità di definire degli standard più elevati è stata sostenuta non solo da questioni legate alla scarsità delle risorse naturali disponibili bensì anche dalla convinzione secondo cui l'aumento dell'efficienza energetica nel comparto edile possa contribuire in maniera significativa ad una riduzione delle emissioni dei gas climalteranti.

Lo schema riportato in figura (Fig. 80) sintetizza i principali riferimenti legislativi in materia di efficienza energetica degli edifici, che hanno interessato il contesto sovranazionale (nella parte in alto della figura) e quello italiano (nella parte in basso). Alla fine della linea temporale appaiono gli obiettivi della cosiddetta strategia europea del 20 20 20, adottata dal Parlamento Europeo per sviluppare un'economia a basse emissioni di CO_2.

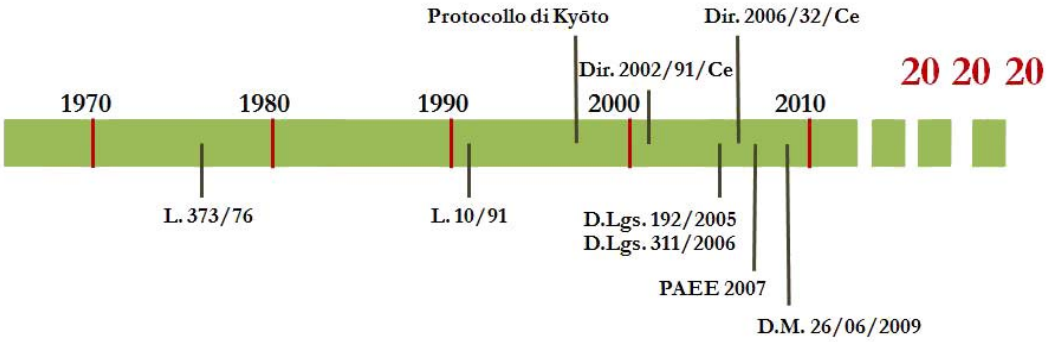


Fig. 80 Linea temporale dei principali provvedimenti nazionali ed europei in materia di efficienza energetica nell'edilizia

Ai fini del presente lavoro, l'informazione relativa all'epoca di costruzione di un edificio rappresenta un elemento di notevole interesse, in quanto identificativa delle prescrizioni in materia di efficienza vigenti nel momento storico in cui l'edificio è stato realizzato e, conseguentemente, della potenziale qualità energetica dello stesso. E' stata in tal senso

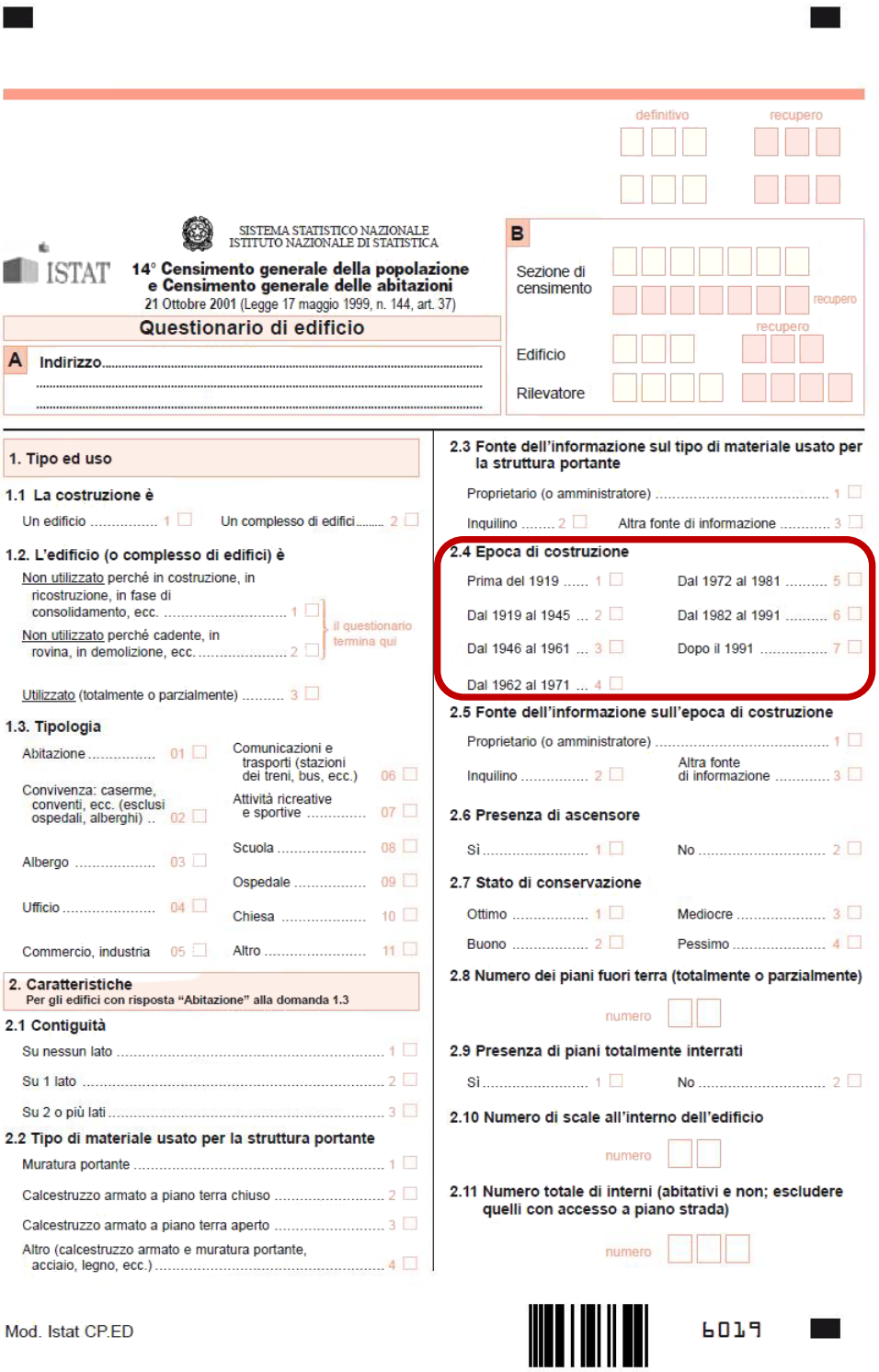
compiuta un'indagine sulle probabili banche dati dalle quali fosse possibile ottenere tale elemento informativo.

6.1.1 Potenziali fonti di derivazione dei dati

Tra le fonti potenziali da cui è possibile risalire ad una data indicativa dell'epoca di costruzione rientrano le banche dati catastali, nell'ambito delle quali viene riportata la data di accatastamento degli edifici. Tale strada è stata tuttavia esclusa in quanto il riferimento temporale individuato nei suddetti archivi non è relativo all'edificazione bensì all'atto di presentazione della pratica, ovvero al momento in cui l'immobile è denunciato come esistente; tale momento, che non necessariamente coincide con la data di termine dei lavori, per quanto riguarda gli immobili meno recenti può rivelarsi decisamente successivo all'effettivo periodo di realizzazione del fabbricato.

Un archivio molto interessante ai fini della ricostruzione dell'epoca di realizzazione degli edifici, è rappresentato dalle banche dati strutturate attraverso i censimenti Istat. Le informazioni più recenti, attualmente disponibili, consistono nelle rilevazioni effettuate nel 2001 nell'ambito del *"14° Censimento generale della popolazione e Censimento generale delle abitazioni"*. In tale occasione, in aggiunta alle informazioni sugli alloggi costituenti il patrimonio abitativo nazionale, l'Istat ha raccolto, per la prima volta, informazioni relative agli edifici per abitazione. Nell'ambito dei centri e dei nuclei abitati, è stata inoltre censita la consistenza numerica degli edifici ad uso non abitativo e di quelli non utilizzati.

Le informazioni sugli edifici abitativi sono state acquisite direttamente dai rilevatori, osservando dall'esterno i fabbricati o, eventualmente, interpellando l'amministratore o il proprietario dell'edificio o di uno degli alloggi. Nella fattispecie, i dati rilevati attraverso il censimento svolto nel 2001 hanno riguardato alcune caratteristiche degli edifici residenziali, tra le quali rientra per l'appunto l'epoca di costruzione (Fig. 81). Informazioni simili sugli edifici sono state acquisite anche nell'ambito delle rilevazioni condotte durante i mesi a cavallo tra il 2010 ed il 2011, facenti capo al censimento attualmente in corso (Fig. 82).



definitivo recupero

SISTEMA STATISTICO NAZIONALE
ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA

ISTAT

14° Censimento generale della popolazione e Censimento generale delle abitazioni
21 Ottobre 2001 (Legge 17 maggio 1999, n. 144, art. 37)

Questionario di edificio

A Indirizzo.....

B
Sezione di censimento — recupero
Edificio — recupero
Rilevatore

1. Tipo ed uso

1.1 La costruzione è
Un edificio ... 1 — Un complesso di edifici ... 2

1.2. L'edificio (o complesso di edifici) è
Non utilizzato perché in costruzione, in ricostruzione, in fase di consolidamento, ecc. ... 1
Non utilizzato perché cadente, in rovina, in demolizione, ecc. ... 2
} il questionario termina qui
Utilizzato (totalmente o parzialmente) ... 3

1.3. Tipologia
Abitazione ... 01
Convivenza: caserme, conventi, ecc. (esclusi ospedali, alberghi) ... 02
Albergo ... 03
Ufficio ... 04
Commercio, industria 05
Comunicazioni e trasporti (stazioni dei treni, bus, ecc.) 06
Attività ricreative e sportive ... 07
Scuola ... 08
Ospedale ... 09
Chiesa ... 10
Altro ... 11

2. Caratteristiche
Per gli edifici con risposta "Abitazione" alla domanda 1.3

2.1 Contiguità
Su nessun lato ... 1
Su 1 lato ... 2
Su 2 o più lati ... 3

2.2 Tipo di materiale usato per la struttura portante
Muratura portante ... 1
Calcestruzzo armato a piano terra chiuso ... 2
Calcestruzzo armato a piano terra aperto ... 3
Altro (calcestruzzo armato e muratura portante, acciaio, legno, ecc.) ... 4

2.3 Fonte dell'informazione sul tipo di materiale usato per la struttura portante
Proprietario (o amministratore) ... 1
Inquilino ... 2 — Altra fonte di informazione ... 3

2.4 Epoca di costruzione
Prima del 1919 ... 1 — Dal 1972 al 1981 ... 5
Dal 1919 al 1945 ... 2 — Dal 1982 al 1991 ... 6
Dal 1946 al 1961 ... 3 — Dopo il 1991 ... 7
Dal 1962 al 1971 ... 4

2.5 Fonte dell'informazione sull'epoca di costruzione
Proprietario (o amministratore) ... 1
Inquilino ... 2 — Altra fonte di informazione ... 3

2.6 Presenza di ascensore
Sì ... 1 — No ... 2

2.7 Stato di conservazione
Ottimo ... 1 — Mediocre ... 3
Buono ... 2 — Pessimo ... 4

2.8 Numero dei piani fuori terra (totalmente o parzialmente)
numero

2.9 Presenza di piani totalmente interrati
Sì ... 1 — No ... 2

2.10 Numero di scale all'interno dell'edificio
numero

2.11 Numero totale di interni (abitativi e non; escludere quelli con accesso a piano strada)
numero

Mod. Istat CP.ED

6019

Fig. 81 Questionario edificio (Mod. Istat CP.ED), 14° Censimento generale della popolazione e Censimento generale delle abitazioni
Fonte http://www.istat.it/it/

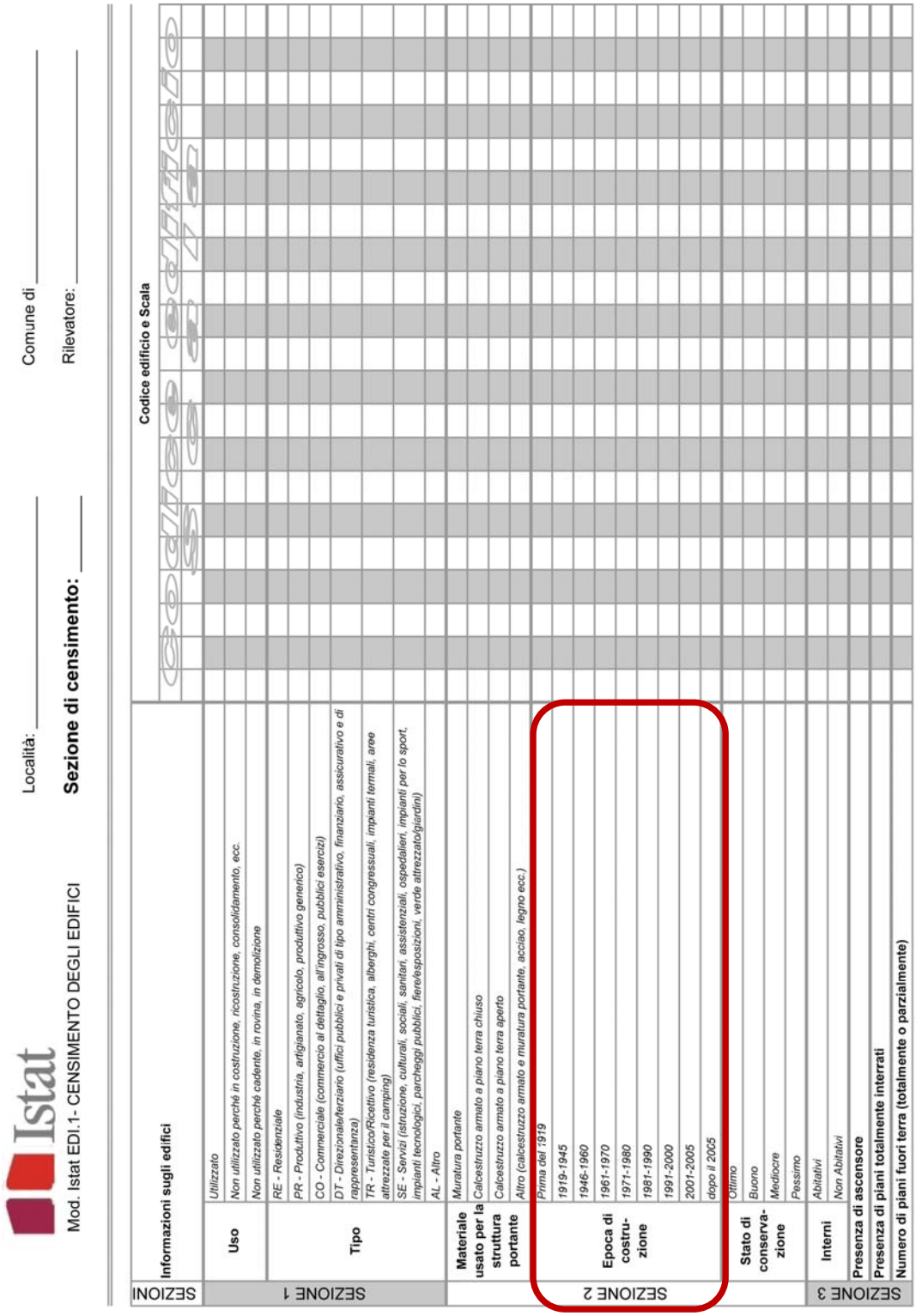


Fig. 82 Questionario edificio (Mod. Istat EDI.1), 15° Censimento generale della popolazione e Censimento generale delle abitazioni
Fonte http://www.istat.it/it/

Ai fini del presente studio, le potenzialità della banca dati definita attraverso il 14° censimento sono ovviamente notevoli: la copertura delle rilevazioni ha riguardato infatti tutto il territorio nazionale e l'epoca di fabbricazione è stata riportata individuando, a seguito del 1960, intervalli temporali di durata non superiore ad un decennio, ovvero periodi che possono essere ritenuti significativi per identificare gli obblighi in materia energetica vigenti al momento della costruzione e, conseguentemente, il livello di prestazione dell'edificio che può essere ragionevolmente atteso.

Le possibilità di impiego di tale archivio, tuttavia, sono fortemente limitate a causa della modalità di accesso ai dati, che risultano essere disponibili al pubblico esclusivamente in forma aggregata. Il livello territoriale di maggior dettaglio per il quale è possibile acquisire i dati è identificato infatti nelle singole sezioni censuarie. È possibile, in altre parole, conoscere le informazioni complessivamente rilevate per ciascuna sezione mentre non è previsto l'accesso ai dati disaggregati e georiferiti, per mezzo dei quali potrebbero essere riassociate ai rispettivi edifici le informazioni riportate nei singoli questionari.

Nella figura sottostante (Fig. 83) è riportato un esempio del dato acquisibile. Nella tabella viene individuata l'epoca di costruzione degli edifici abitativi siti nel comune di Trento, rilevata in occasione del censimento del 2001: ciò che rimane della territorialità dei dati è esclusivamente il legame con la sezione censuaria di riferimento[101].

Comune di Trento - Censimento popolazione 2001 - Numero abitazioni per epoca di costruzione e sezione

sezione	MANCA INDICAZIONE	PRIMA DEL 1919	TRA IL 1919 E IL 1945	TRA IL 1946 E IL 1961	TRA IL 1962 E IL 1971	TRA IL 1972 E IL 1981	TRA IL 1982 E IL 1991	DOPO IL 1991	Totale
340				3	69	71	91		234
341		10	6	17	70	122	3	7	235
342			19	50	125	35	4		233
343		2	1	12	9	2	3	6	35
344		6	8	20	180	40	19		273
345		12	5	23	47	19	23		129
346		4	1	9	101	39	29	12	195
347		7	18	30	77	46	37	105	320
348		1	5		7	92	13	21	139

Fig. 83 Epoca di costruzione degli edifici per sezione censuaria
Fonte Servizio Statistica della Provincia Autonoma di Trento

6.1.2 Descrizione dei dati acquisiti

L'epoca di realizzazione degli edifici oggetto di indagine è stata definita attraverso due archivi resi disponibili dall'Ufficio Tecnico del Comune di Trento. La prima banca dati è relativa alle concessioni edilizie rilasciate per gli interventi compiuti nel territorio comunale dai primi anni del ventesimo secolo fino al 1992, mentre la seconda riguarda le

[101] In verde sono evidenziate le sezioni localizzate nell'area di indagine.

dichiarazioni di agibilità/abitabilità disposte dal comune in riferimento agli interventi edilizi portati a termine a seguito di tale anno.

ARCHIVIO CONCESSIONI EDILIZIE

Il primo dei due archivi acquisiti riporta traccia delle opere edili soggette all'obbligo di ottenimento della concessione edilizia, tra le quali rientrano per l'appunto le nuove costruzioni. Ciascun record dell'archivio è identificativo di una singola e specifica concessione, relativa alla realizzazione di un nuovo fabbricato o ad un intervento eseguito su una struttura già esistente.

Nella tabella seguente (Tab. 10) sono individuati i contenuti principali della banca dati. Per ogni intervento soggetto a concessione, realizzato indicativamente a partire dai primi del 1900 fino al 1992, sono identificati, tra gli altri elementi, la data di rilascio della concessione ed i riferimenti catastali, numero del comune catastale e numero della particella edificiale, che hanno reso possibile la successiva geolocalizzazione e trasposizione in GIS delle informazioni di interesse.

Attributo	**Dominio**	**Descrizione**
n_pratica	contatore	numero pratica
intestatario	string	intestatario concessione
oggetto	string	tipologia intervento edilizio
via	string	nome completo via
civico_alf	string	civico completo (es. 1/A)
CC	integer	numero comune catastale
p_ed	string	numero particella edificiale
anno	integer	anno di rilascio concessione

Tab. 10 Attributi dell'archivio delle concessioni edilizie

Come detto, tale banca dati contiene i riferimenti delle pratiche edilizie relative agli interventi soggetti, in virtù delle normative in vigore al momento della loro realizzazione, all'ottenimento del titolo abilitativo rilasciato da parte del comune.

Nell'archivio sono dunque inclusi i riferimenti inerenti non solo alle nuove costruzioni bensì a tutte le opere per le quali è stato necessario ottenere il rilascio della concessione. Tra di esse, sono stati evidenziati taluni interventi strutturali capaci di modificare la qualità energetica dell'edificio, quali la sostituzione del generatore di calore, il rifacimento o l'isolamento della copertura, la posa di cappotti sulle murature perimetrali. In tal senso, attraverso tale banca dati è stato possibile non solamente individuare le date di edificazione degli immobili in esame, bensì anche ricostruire l'eventuale esecuzione di interventi presumibilmente migliorativi della prestazione energetica degli stessi.

ARCHIVIO DICHIARAZIONI DI AGIBILITÀ/ABITABILITÀ

Il secondo archivio reso disponibile ha riguardato le dichiarazioni di agibilità/abitabilità, disposte dal comune in riferimento alle opere edilizie terminatesi a partire dall'anno 1993. Antecedentemente all'entrata in vigore del Testo Unico sull'edilizia[102] era prevista la distinzione tra abitabilità ed agibilità, rilasciate a seguito di interventi riguardanti edifici a destinazione abitativa, la prima, o edifici a destinazione non abitativa, la seconda. Attraverso i medesimi documenti venivano attestate le condizioni di salubrità degli ambienti soggetti alla frequenza dell'uomo, al termine delle opere di nuova costruzione o sopraelevazione e dei lavori di ristrutturazione influenti sulla stessa abitabilità o agibilità.

Con l'entrata in vigore del nuovo Testo Unico è venuta a mancare tale distinzione e le attestazioni in merito alla sicurezza, igiene, salubrità, risparmio energetico degli edifici e degli impianti in essi installati[103], sono state ricondotte esclusivamente al certificato di agibilità, anche nell'ambito di interventi riguardanti immobili di tipo residenziale. Il certificato di agibilità deve essere rilasciato in riferimento agli interventi di nuova costruzione, ricostruzione e sopraelevazione totale o parziale, nonché agli interventi influenti sulle condizioni attestate dal certificato medesimo.

Nella tabella seguente (Tab. 11) sono riportati i contenuti principali della banca dati acquisita. Per ogni intervento soggetto al rilascio della dichiarazione di agibilità/abitabilità concluso a seguito dell'anno 1993, sono individuati la data di rilascio della dichiarazione ed i riferimenti catastali.

Attributo	Dominio	Descrizione
n_pratica	contatore	numero pratica
intestatario	string	intestatario agibilità/abitabilità
via	string	nome completo via
civico_alf	string	civico completo (es. 1/A)
CC	integer	numero comune catastale
p_ed	string	numero particella edificiale
data	data	data di rilascio agibilità/abitabilità
tipo_pratica	string	tipo dichiarazione (agibilità/abitabilità)

Tab. 11 Attributi dell'archivio delle dichiarazioni di agibilità/abitabilità

Differentemente dalla banca dati sulle concessioni edilizie, nella quale si individua il riferimento temporale di un documento rilasciato prima dell'avvio dei lavori, in tale archivio viene riportata una data posteriore alla realizzazione dell'intervento in quanto, com'è logico, l'agibilità, o abitabilità, viene certificata ad opere terminate.

[102] Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380 *Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia* (G.U. n. 245, del 10/10/2001)

[103] Articolo 24, d.P.R. 380/2001

Ai fini del presente lavoro, va tenuto presente che il livello di efficienza energetica che l'edificio è tenuto a rispettare è quello imposto dalle norme in vigore al momento della richiesta della concessione ad edificare. Di conseguenza, il riferimento legislativo che ha definito il livello di prestazione minima della struttura è necessariamente antecedente alla data riportata in questo secondo archivio, rappresentativa, come detto, del momento di fine lavori.

6.1.3 Elaborazione degli archivi

La fasi di elaborazione degli archivi hanno riguardato, distintamente, l'archivio delle concessioni edilizie e quello delle dichiarazioni di abitabilità/agibilità.

ARCHIVIO CONCESSIONI EDILIZIE - ELABORAZIONI

Le operazioni condotte su tale archivio hanno previsto, in primo luogo, la selezione dei record relativi agli interventi pertinenti all'area di indagine, riconoscibili attraverso l'attributo identificativo del comune catastale[104].

Si è poi proceduto ad analizzare le categorie di intervento, riportate nel campo *oggetto* (v. Tab. 10, pag. 199), in maniera tale da riuscire ad identificare le sole opere di interesse ai fini del lavoro. È stato osservato come il sistema di archiviazione delle pratiche non prevedesse una definizione codificata degli interventi: la medesima tipologia di opera edilizia poteva infatti essere individuata nell'archivio da differenti descrizioni dell'intervento oggetto di realizzazione. Nella tabella delle concessioni, costituita di 5.524 record, è stato possibile identificare 1.124 differenti tipologie di intervento, ovvero 1.124 variazioni dell'attributo *oggetto*. A titolo d'esempio, le nuove edificazioni venivano individuate dal medesimo campo attraverso circa 20 diverse possibili descrizioni del lavoro eseguito, tra le quali *"costruzione casa"*, *"costruzione casa colonica"*, *"costruzione casa rurale"*, *"costruzione complesso edilizio"*, *"costruzione condominio"*, *"costruzione edificio"*, ecc..

Dall'archivio acquisito è stata generata una nuova tabella (Tab. 12), successivamente trasposta in GIS, relativa alle sole concessioni rilasciate per le nuove edificazioni.

Attributo	Dominio	Descrizione
p_ed	string	numero particella edificiale
anno	integer	anno di rilascio concessione

Tab. 12 Attributi del nuovo archivio, identificativo delle concessioni edilizie rilasciate per le nuove costruzioni

[104] La circoscrizione di indagine è contenuta in un unico comune catastale, il quale è a sua volta comprensivo esclusivamente della circoscrizione medesima.

L'identificativo univoco di ciascun record della tabella è stato riconosciuto nel numero di particella edificiale alla quale la specifica pratica di concessione fa riferimento. Qualora alla medesima particella fossero state associate più concessioni relative ad anni diversi, ad esempio una prima concessione rilasciata in riferimento ad un permesso di nuova costruzione e una seconda concessione inerente una variante sul progetto inizialmente presentato, oppure una prima concessione relativa ad una nuova edificazione ed una seconda relativa alla ricostruzione del medesimo edificio, è stato considerato esclusivamente l'intervento più recente.

L'anno associato alla pratica ha consentito di definire il momento di costruzione dell'edificio sito sulla particella alla quale la pratica medesima fa riferimento. L'acquisizione di tale informazione rappresenta un elemento estremamente interessante ai fini dell'indagine poiché consente di individuare gli obblighi ed i requisiti in materia di efficienza energetica il cui rispetto è stato richiesto al progetto edilizio per il rilascio del titolo abilitativo.

Come premesso, in aggiunta alle informazioni deducibili dalle concessioni rilasciate per le nuove costruzioni, da tale archivio è stato possibile ricavare informazioni ulteriori relative agli eventuali interventi, eseguiti su fabbricati esistenti, interessanti quelle componenti, strutturali e non, che maggiormente influenzano la prestazione energetica dell'immobile ed il relativo scambio termico con gli ambienti esterni. Sono state quindi individuate le concessioni relative ad interventi eseguiti in riferimento a:

- murarie perimetrali
- coperture
- infissi
- generatori di calore ed impianti termici

Nella fattispecie, sono stati identificati gli interventi propriamente diretti al miglioramento della qualità energetica dell'edificio, quali ad esempio la posa di cappotti termici o l'isolamento della copertura, nonché quegli interventi che, presumibilmente, qualora eseguiti inducano ad un miglioramento delle performance del sistema edificio/impianto. Tra di essi possono essere ricompresi la sostituzione dei generatori di calore, la sostituzione degli infissi, il rifacimento delle coperture, ecc.. E' infatti ragionevole credere che, grazie al progresso della tecnica, le prestazioni delle componenti interessate dall'intervento vengano migliorate rispetto alle condizioni caratterizzanti le componenti medesime nella situazione precedente all'esecuzione delle opere.

Così come visto per le concessioni rilasciate in riferimento alle nuove costruzioni, anche in questo caso non sempre esisteva una dicitura precisa per identificare identiche tipologie

di intervento[105]. Sono state dunque analizzate le espressioni contenute nell'attributo relativo all'oggetto della concessione e definite quattro tabelle restitutive degli interventi eseguiti, sulle diverse particelle edificiali, in riferimento alle componenti edilizie precedentemente individuate: murature perimetrali, coperture, infissi ed impianti (Tab. 13).

Attributo	Dominio	Descrizione
p_ed	string	numero particella edificiale
oggetto	string	tipologia intervento edilizio
anno	integer	anno di rilascio concessione

Tab. 13 Attributi dei nuovi archivi, identificativi delle concessioni edilizie rilasciate per interventi su edifici esistenti

Anche in questo caso, l'identificativo univoco di ogni record è stato riconosciuto nel numero di particella. Qualora alla stessa particella fosse stata associata più di una concessione, relativa ad interventi eseguiti in anni diversi sulla medesima componente del sistema edificio/impianto, ad esempio una prima ed una seconda sostituzione del generatore di calore, è stato considerato esclusivamente l'intervento più recente.

ARCHIVIO DICHIARAZIONI DI AGIBILITÀ/ABITABILITÀ - ELABORAZIONI

La prima elaborazione condotta sull'archivio ha riguardato la selezione dei soli record relativi agli interventi pertinenti all'area di indagine, individuati attraverso il numero del comune catastale.

Sono stati di seguito distinti gli interventi per i quali l'attestazione di agibilità/abitabilità è stata rilasciata antecedentemente all'entrata in vigore del Testo Unico sull'edilizia (30 giugno 2003), da quelli per i quali è stata invece rilasciata successivamente. Per gli interventi con attestazione precedente al 2003, è stato infatti possibile identificare i soli record relativi agli edifici residenziali, per i quali il campo di descrizione della pratica (campo *tipo_pratica*, v. Tab. 11, pag. 200) individuava una dichiarazione di abitabilità, piuttosto che di agibilità. In prima battuta, i record utili all'indagine sono stati quindi riconosciuti nelle attestazioni di abitabilità rilasciate prima del 2003 e nel complesso delle dichiarazioni di agibilità rilasciate in seguito a tale anno.

Il riconoscimento delle pratiche rappresentative dei soli interventi di nuova costruzione[106], utili a poter risalire all'anno di edificazione degli immobili, è stato più complesso rispetto a quanto visto in fase di elaborazione della banca dati sulle concessioni. In questo caso, infatti, non era presente un attributo descrittivo della tipologia di intervento

[105] A titolo d'esempio, la coibentazione delle strutture verticali poteva essere individuata, nell'oggetto della concessione, da *"posa cappotto"* o *"posa cappotto termico"* o *"isolamento murature"*.

[106] L'agibilità, e l'abitabilità, viene come visto rilasciata non esclusivamente in riferimento ad interventi di nuova costruzione, bensì anche a seguito di opere condotte su edifici esistenti.

realizzato, così come risultava invece nell'archivio delle concessioni, nell'ambito del quale veniva riportato un campo *oggetto* identificativo dell'opera eseguita.

Al fine di identificare i soli record relativi alle nuove costruzioni, sono state utilizzate le ortofoto dell'area di indagine, pubblicate on line sul portale cartografico del Servizio Sistema Informativo del Comune di Trento e relative agli anni 1994, 1999, 2004, 2006 e 2009. È stato in altre parole verificato che il singolo record fosse relativo ad un'opera di nuova edificazione, accertando che l'edificio al quale la pratica faceva riferimento non comparisse in un'ortofoto precedente all'anno di rilascio dell'agibilità/abitabilità individuato dalla pratica medesima. Così come visto in precedenza, è stato possibile riconoscere su mappa e sull'ortofoto l'edificio cui la pratica era riferita, grazie al numero di particella edificiale associato alla stessa.

Nell'immagine che segue (Fig. 84) è riportata l'evoluzione, ricostruita dalle ortofoto, dell'area pertinente alla particella edificiale .1677, sulla quale sono site quattro palazzine. Nell'archivio delle dichiarazioni acquisito è riportata una pratica riferita alla medesima particella, relativa ad un'attestazione di agibilità datata dicembre 2003. È stato possibile ritenere che tale attestazione fosse stata rilasciata a seguito di una nuova edificazione osservando la trasformazione avvenuta sull'area in cui sono siti i quattro edifici ricompresi dalla particella: nel 1994 appaiono dei campi, nel 1999 si intravedono concluse tre delle quattro palazzine ed infine, nel 2004, gli edifici appaiono terminati.

Così come durante le elaborazioni condotte sull'archivio delle concessioni, è stata strutturata una nuova tabella, identificativa delle dichiarazioni di agibilità/abitabilità rilasciate in riferimento ad una specifica particella, a seguito degli interventi di nuova costruzione (Tab. 14).

Attributo	**Dominio**	**Descrizione**
p_ed	string	numero particella edificiale
anno	integer	anno di rilascio abitabilità/agibilità

Tab. 14 Attributi del nuovo archivio, identificativo delle dichiarazioni di agibilità/abitabilità rilasciate per le nuove costruzioni

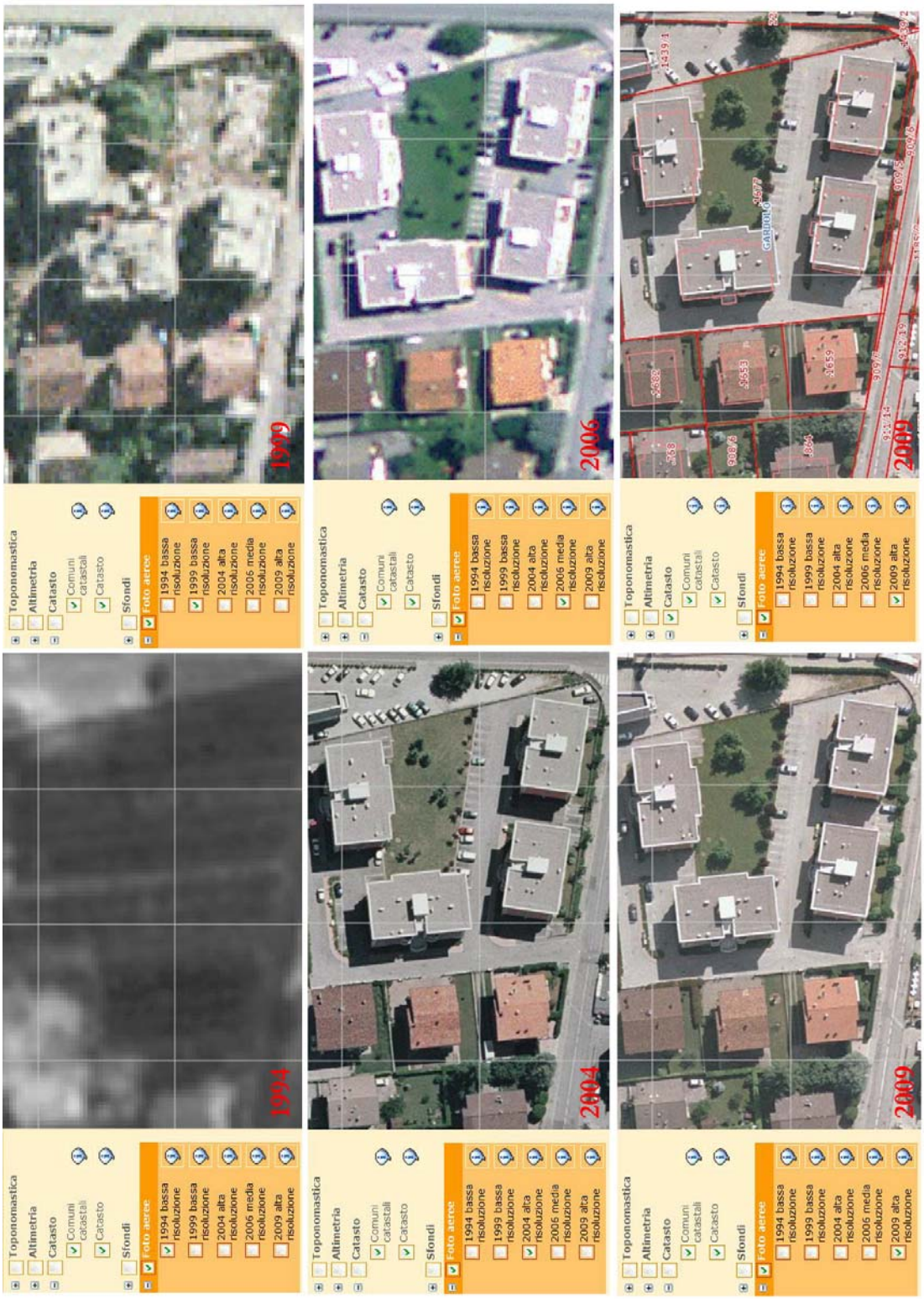


Fig. 84 Evoluzione dell'area attualmente pertinente alla p.ed. .1677
Fonte Elaborazione su ortofoto Servizio Sistema Informativo del Comune di Trento

6.1.4 Trasposizione dei dati in GIS ed analisi dei risultati

La trasposizione in GIS degli archivi elaborati ha consentito di aggiornare lo shapefile degli edifici, per i quali era stato precedentemente definito l'indice caratteristico di prestazione energetica (cfr. paragrafo 5.1).

La chiave d'aggancio che ha consentito la georeferenziazione dei record inerenti le concessioni edilizie e le dichiarazioni di agibilità/abitabilità è costituta dalla particella edificiale alla quale gli stessi sono riferiti. Come visto, attraverso le operazioni di integrazione della banca dati cartografica catastale (cfr. paragrafo 5.2), a ciascun poligono della cartografia comunale era stato associato il rispettivo numero di particella edificiale: grazie a ciò è stato possibile integrare le informazioni riguardanti l'epoca di costruzione degli edifici e l'anno di esecuzione di eventuali interventi migliorativi.

Per semplicità di esposizione, essendo la struttura ed il contenuto dei due archivi acquisiti fondamentalmente non omogenei, si è optato per descrivere separatamente le fasi di integrazione delle due banche dati e gli esiti parziali dell'analisi conseguiti a seguito di tali operazioni, per riportare poi in un'unica sezione conclusiva le considerazioni relative al risultato ottenuto dalle elaborazioni complessivamente svolte.

ARCHIVIO CONCESSIONI EDILIZIE - INTEGRAZIONE IN GIS

La trasposizione in GIS del primo archivio, ovvero delle informazioni in merito alle concessioni edilizie rilasciate fino al 1992, ha consentito di associare l'anno di costruzione a 509 dei 905 edifici per i quali è contemporaneamente noto anche il dato sul consumo. È importante premettere che i rimanenti edifici non necessariamente sono stati realizzati successivamente a tale anno: l'edificazione degli stessi potrebbe infatti essere fatta risalire ad una data antecedente al 1900, nel cui caso non vi sarebbe quindi traccia alcuna delle relative pratiche edilizie nell'archivio delle concessioni acquisito.

Così come evidente dall'istogramma riportato in figura (Fig. 85) si individuano, fino al 1992, una concentrazione delle edificazioni nel periodo intercorso tra le due guerre mondiali, una successiva fase di stasi durante il secondo conflitto ed una significativa ripresa dell'attività edilizia a partire al 1950. La fase di boom edilizio che prende piede all'inizio degli anni '50 tende ad esaurirsi solo dopo quasi tre decenni ed è contraddistinta da un picco pronunciato delle edificazioni intorno al 1970. La distribuzione degli edifici sulla base del momento di costruzione, può ritenersi omogenea con quanto mediamente riscontrabile nel territorio nazionale durante lo specifico periodo storico.

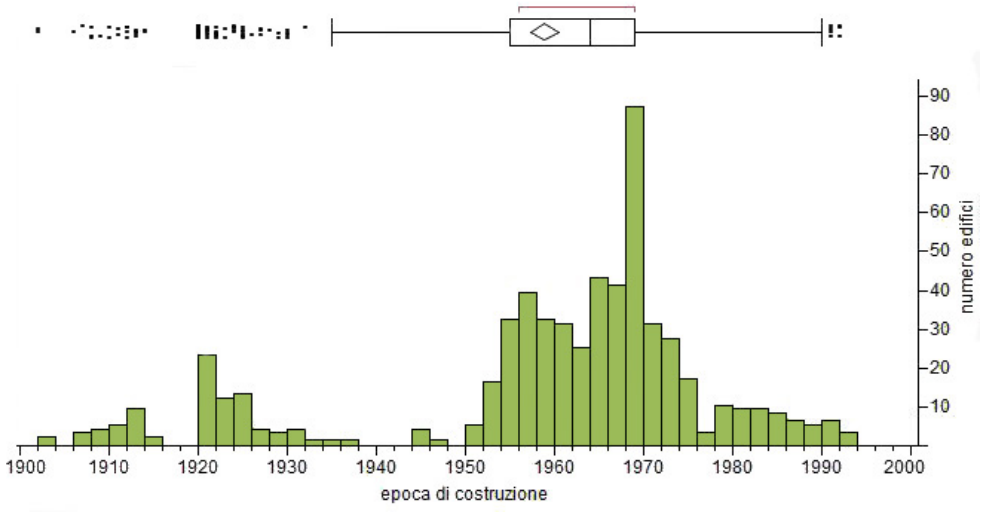


Fig. 85 Istogramma della distribuzione degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (ante 1993)

La quasi totalità di tale gruppo di edifici, 452 fabbricati su 509, è stata realizzata precedentemente al 1976, ovvero precedentemente all'entrata in vigore della legge con la quale per la prima volta sono state imposte misure dirette al contenimento dei consumi energetici (legge 373/76).

I risultati parziali in merito alla ricerca dell'epoca di costruzione sono rappresentati nelle mappe che seguono.

Fig. 86 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali)

Fig. 87 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali)

Come detto, gli edifici per i quali il dato sull'epoca di costruzione non è contenuto in tale primo archivio, non necessariamente sono stati realizzati dopo il 1992. Nella figura sottostante (Fig. 88) è evidenziata l'area del nucleo storico di Gardolo, ove sono siti edifici risalenti ad un epoca antecedente lo scorso secolo, per i quali non è stata di conseguenza ritrovata traccia della relativa concessione edilizia.

Fig. 88 Nucleo storico per il quale non si rilevano concessioni edilizie

È stato analizzato l'andamento dei consumi in tale porzione di edifici, ovvero negli edifici realizzati prima del 1992, in maniera tale da verificare se e di quanto si discostasse dall'andamento complessivamente rilevato per l'intero gruppo degli immobili in esame. La precedente fase di analisi, aveva evidenziato valori di consumo medio per fabbricato pari a circa 97 kWh/m^2 anno (cfr. paragrafo 5.2.3). Per gli immobili costruiti fino al 1992, si sono rilevati valori medi di consumo superiori, nella fattispecie è stato riscontrato un consumo medio pari a 102,83 kWh/m^2 anno ed un valore di mediana pari a 101 kWh/m^2 anno (Fig. 89).

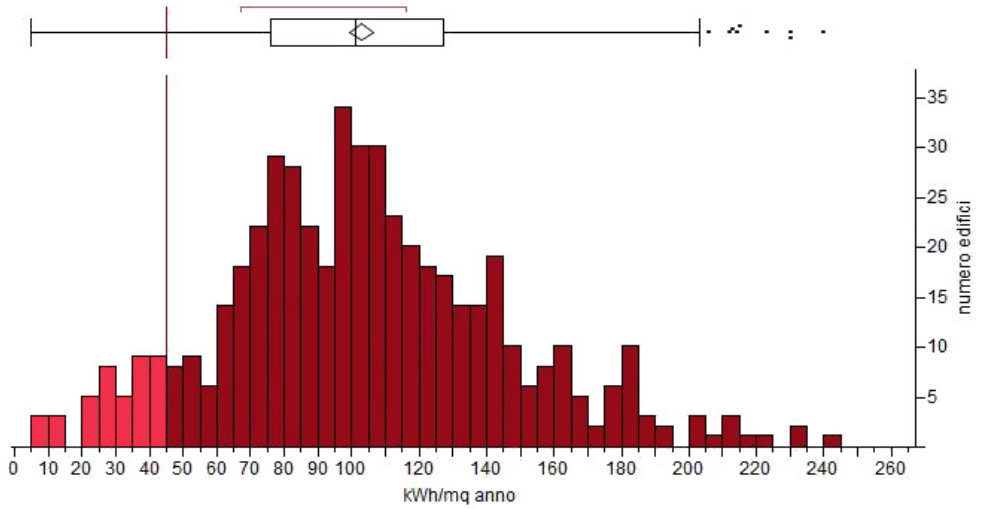


Fig. 89 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato (fino 1992)

E' stato analizzato l'andamento dei consumi negli edifici realizzati precedentemente alla legge 373/76 (Fig. 90, caso A) ed in quelli realizzati in seguito (Fig. 90, caso B). Coerentemente con l'evoluzione della normativa in materia di efficienza energetica, per gli edifici costruiti dopo il 1976 si evidenziano consumi notevolmente minori, nella fattispecie si rileva un consumo medio di 92.22 kWh/m^2 anno, contro un consumo medio di 104.76 kWh/m^2 anno negli edifici realizzati in precedenza al 1976.

Va tuttavia considerato che il numero dei casi relativi ad edifici costruiti dopo il '76 (57 immobili) è esiguo, dunque potenzialmente capace di falsare i risultati ottenuti dalle analisi.

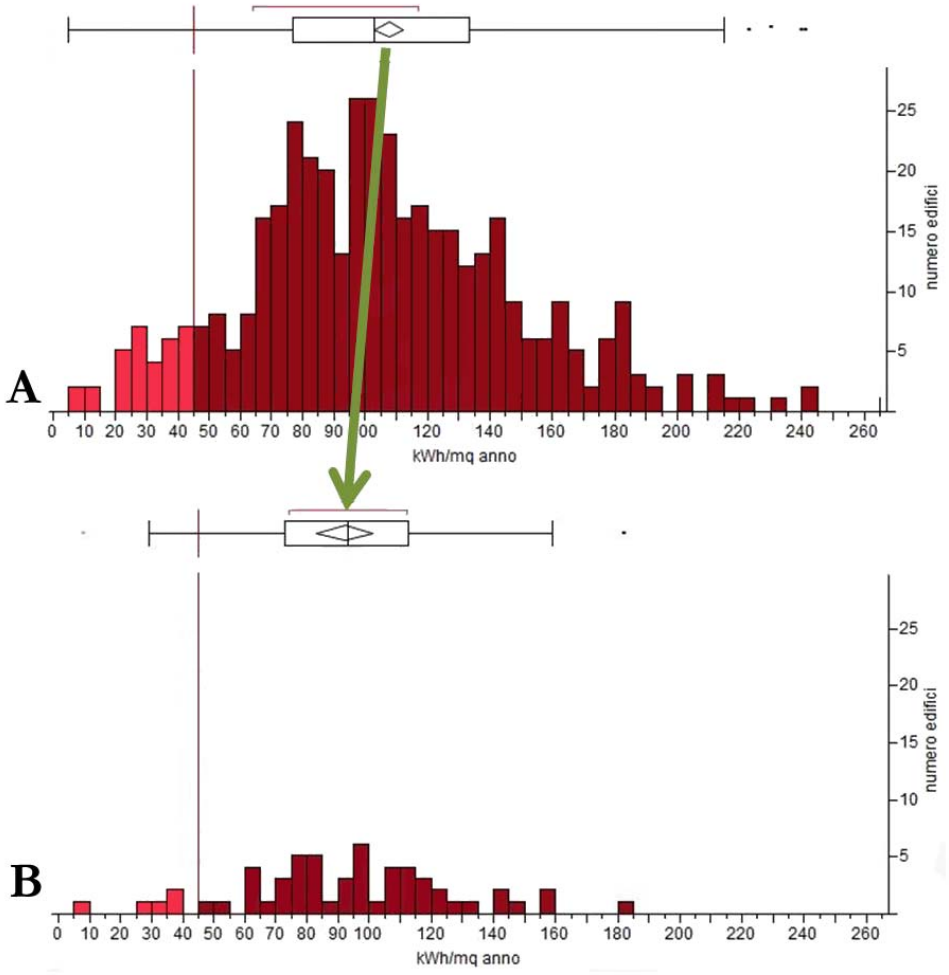


Fig. 90 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato: edifici realizzati fino al 1976 (caso A) ed edifici realizzati tra il 1977 e 1992 (caso B).

Dopo aver importato in GIS il dato rappresentativo dell'anno di costruzione, sono state integrate le informazioni aggiuntive relative agli interventi compiuti sulle strutture e sugli impianti, dei quali era riportata traccia nell'archivio delle concessioni edilizie. Anche in questo caso, il numero di particella edificiale associato alla pratica edilizia ha rappresentato la chiave tramite cui è stato possibile correlare le nuove informazioni acquisite alla base cartografica adottata.

Nella mappe che seguono (Figg. 91 e 92) sono rappresentate graficamente entrambe le tipologie di informazione derivate dall'archivio delle concessioni edilizie. Nella parte sinistra dell'immagine, gli edifici sono stati tematizzati attraverso una scala di colori variabile in relazione al momento di costruzione e, contemporaneamente, è stata individuata l'eventuale esecuzione di uno o più interventi, sulle strutture o sugli impianti, potenzialmente migliorativi della qualità energetica del fabbricato.

Nella parte destra delle figure, sono inoltre riportate le informazioni relative alla classe di efficienza raggiunta in relazione all'indice di prestazione rilevato.

Fig. 91 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione e del numero di interventi eseguiti

Fig. 92 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione e del numero di interventi eseguiti

Le molteplici possibili combinazioni delle informazioni ricavate dalle banche dati acquisite, consentono di compiere una vasta serie di analisi, utili ad una maggiore comprensione dei risultati precedentemente osservati. Nella fattispecie, è stato ritenuto interessante esaminare in maniera più approfondita i casi relativi agli edifici costruiti fino al 1976 per i quali si evidenziavano valori di consumo inferiori al valore medio rilevato nello

specifico gruppo di immobili. Sono stati individuati 237 edifici caratterizzati da un consumo sostenuto minore rispetto al valore medio rilevato (104 kWh/m^2 anno) e si è potuto osservare come, in quasi il 50% dei casi, tali edifici fossero stati soggetti ad interventi influenti sulla prestazione energetica.

I risultati ottenuti sono stati sintetizzati nello schema di seguito riportato (Tab. 15). Nella tabella, i casi osservati sono articolati in fasce orizzontali definite in relazione all'indice di prestazione rilevato. Nella seconda colonna viene riportato il numero complessivo di edifici che ricadono all'interno della specifica fascia, mentre nella terza si identificano quanti di questi edifici sono stati soggetti ad uno o più interventi sulle relative strutture o impianti. È successivamente individuata la tipologia di intervento effettuato ed infine identificato, nell'ultima colonna, il numero di edifici per i quali è stato eseguito quel determinato intervento o quella determinata combinazione di interventi. Le prime tre righe, ad esempio, sono relative agli edifici con valore di EP_R (indice del fabbisogno di energia per il riscaldamento) inferiore a 45 kWh/m^2 anno. Dei 35 edifici compresi in tale fascia, 12 hanno subito degli interventi migliorativi; nella fattispecie: 3 edifici sono stati sottoposti ad interventi sulla copertura, 5 ad interventi sugli infissi e 4 ad interventi sugli impianti.

Si può osservare come nella maggior parte dei casi, le azioni compiute siano state dirette ad un ammodernamento degli impianti.

Come detto, quella riportata è solamente una fra le possibili e molteplici combinazioni di dati e di analisi che possono essere elaborate.

EP_R (kWh/m² anno)	N. edifici *	N. edifici per cui si rilevano interventi *	Combinazioni interventi				
			Murature	Copertura	Infissi	Impianti	Tot combinazioni
$EP_R \leq 45$	35	12		●			3
					●		5
						●	4
$45 < EP_R \leq 60$	21	12		●			3
					●		1
						●	5
					●	●	3
$60 < EP_R \leq 80$	64	27		●			7
					●		5
						●	9
				●	●		3
				●		●	3
$80 < EP_R \leq 104$	117	44		●			9
					●		6
						●	21
				●	●	●	1
				●	●		2
				●		●	2
					●	●	3
TOTALE	237	95					95

*** Le informazioni acquisite riguardano i soli interventi realizzati fino al 1992**

Tab. 15 Edifici pre '77 con consumo minore al valore medio e relativi interventi eseguiti

ARCHIVIO DICHIARAZIONI DI AGIBILITÀ/ABITABILITÀ - TRASPOSIZIONE IN GIS

Le informazioni relative all'anno di rilascio dell'attestazione di agibilità/abitabilità, sono state associate agli edifici attraverso il numero di particella edificiale riportato nella pratica edilizia. Complessivamente, è stato possibile integrare tale informazione a 76 degli edifici in esame.

L'anno di ottenimento della concessione è stato fatto coincidere con l'anno di realizzazione dell'edificio, ovvero, più correttamente, con il momento legislativo di riferimento al quale la prestazione dell'immobile si è dovuta conformare. Si tratta di un'approssimazione che si considera accettabile, in quanto l'arco temporale necessario alla costruzione di un nuovo edificio può ritenersi tendenzialmente più contenuto rispetto all'intervallo di tempo che di norma intercorre tra un aggiornamento ed il successivo della normativa in materia[107].

La distribuzione degli edifici degli edifici in base all'epoca di costruzione, relativa al periodo 1993-2011, è rappresentata nell'istogramma in figura (Fig. 93). Si evidenziano un picco delle costruzioni nella metà degli anni '90, una fase altalenante a cavallo del 2000, una forte ripresa intorno al 2005 ed infine una fase di costante decrescita.

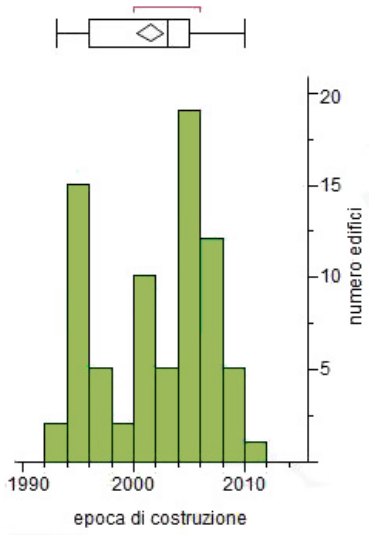


Fig. 93 Istogramma della distribuzione degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (post 1992)

Vengono di seguito riportate le mappe tematiche con in evidenza gli edifici di cui al presente paragrafo.

[107] Va comunque riconosciuto che il processo di aggiornamento della normativa in materia di efficienza energetica ha subito nel corso dell'ultimo decennio una notevole accelerazione.

Fig. 94 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali)

Fig. 95 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali)

Fig. 96 Mappatura degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (risultati parziali)

È stato analizzato l'andamento dei consumi negli edifici realizzati a seguito del 1993. Come visto, il 1991, attraverso la legge 10, ha rappresentato un anno di svolta nella regolamentazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Sebbene molti degli obiettivi della legge siano rimasti sulla carta, la sua emanazione ha comunque portato a dei benefici in termini di riduzione dei consumi. L'istogramma riportato in figura (Fig. 97) rappresenta la distribuzione degli edifici in relazione al consumo rilevato: il consumo medio annuo ed il valore di mediana si sono attestati rispettivamente a 78.69 e 72 kWh/m^2 anno.

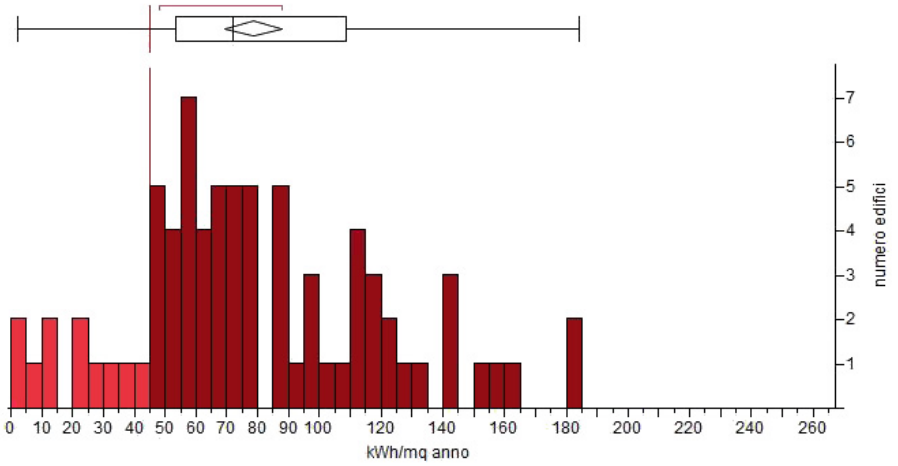


Fig. 97 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato (post 1992)

Dato l'esiguo numero dei casi di osservazione disponibili, 76 edifici, non stati individuati ulteriori sottogruppi sui quali compiere un'analisi specifica in merito all'andamento dei consumi. Qualora tale numero si fosse rivelato più consistente, sarebbe risultato significativo analizzare le prestazioni degli edifici realizzati a partire dal 2006, ovvero a seguito dell'entrata in vigore del decreto legislativo 192/2005.

CONSIDERAZIONI COMPLESSIVE

Attraverso l'integrazione delle due banche dati, è stato possibile conoscere la data di fabbricazione di 585 dei 905 edifici in esame. I rimanenti edifici, per i quali l'età è rimasta ignota, potrebbero essere stati realizzati prima del 1900, nel cui caso non vi sarebbe stata traccia degli stessi in nessuno dei due archivi acquisiti. È tuttavia possibile supporre che, sebbene tali immobili siano stati realizzati a seguito del 1900, non risulti traccia degli stessi a causa di eventuali falle negli archivi o poiché il numero di particella associato alla pratica di concessione o di rilascio dell'agibilità è inesatto. Si è propensi a ritenere veritiera questa seconda ipotesi, ovvero a ritenere che una certa parte dei suddetti edifici sia stata realizzata dopo il 1900 ma non sia stato possibile ricostruirne l'epoca di costruzione a causa di talune imperfezioni caratterizzanti le due banche dati. In particolar modo, è plausibile che vi siano delle inesattezze e delle mancanze nell'archivio delle concessioni, il quale è stato informatizzato attraverso la digitalizzazione di dati originariamente scritti a penna su carta.

La distribuzione complessiva degli edifici in relazione all'epoca di costruzione è evidenziata nell'istogramma in figura (Fig. 98).

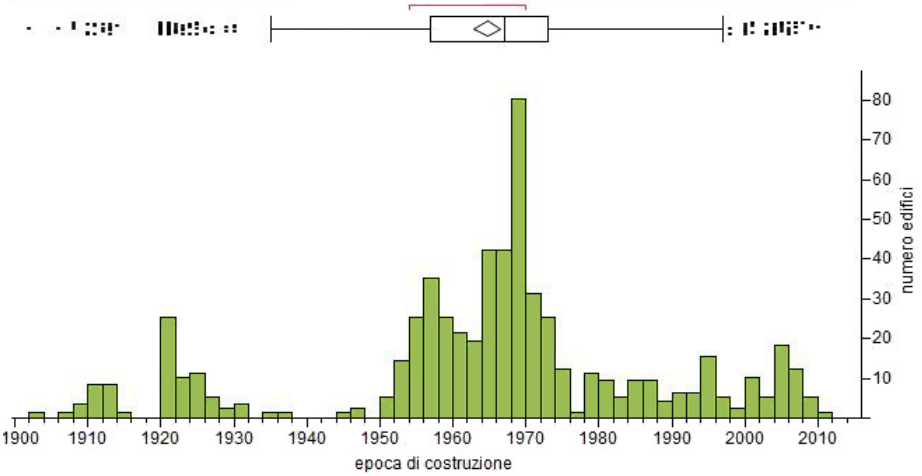


Fig. 98 Distribuzione degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione

Viene di seguito riportata una serie di mappe tematiche nell'ambito delle quali è individuata l'epoca di costruzione dell'edificio nonché, nella parte superiore dell'immagine, la relativa classe energetica.

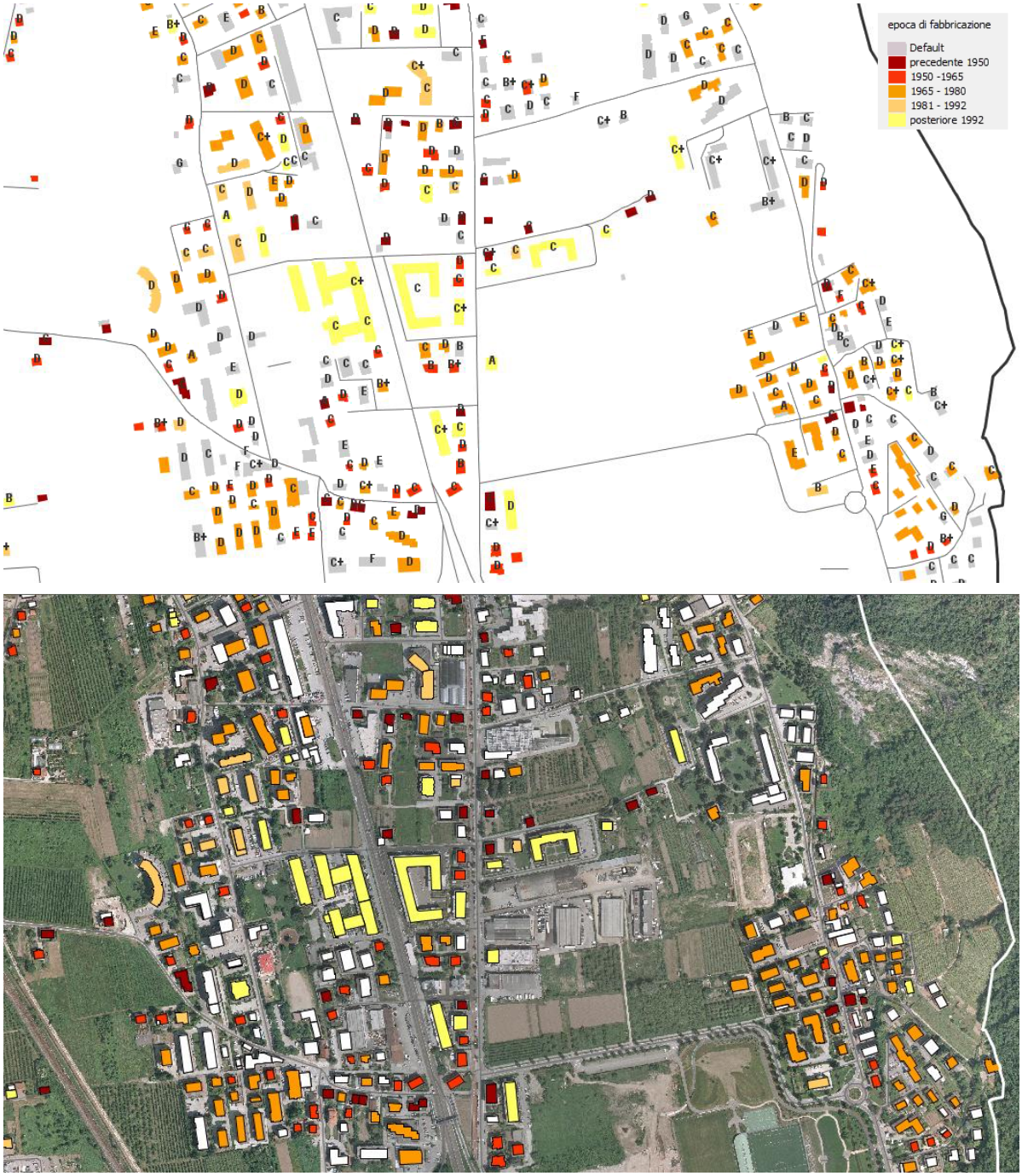


Fig. 99 Mappatura degli edifici per epoca di costruzione e indicazione della classe energetica

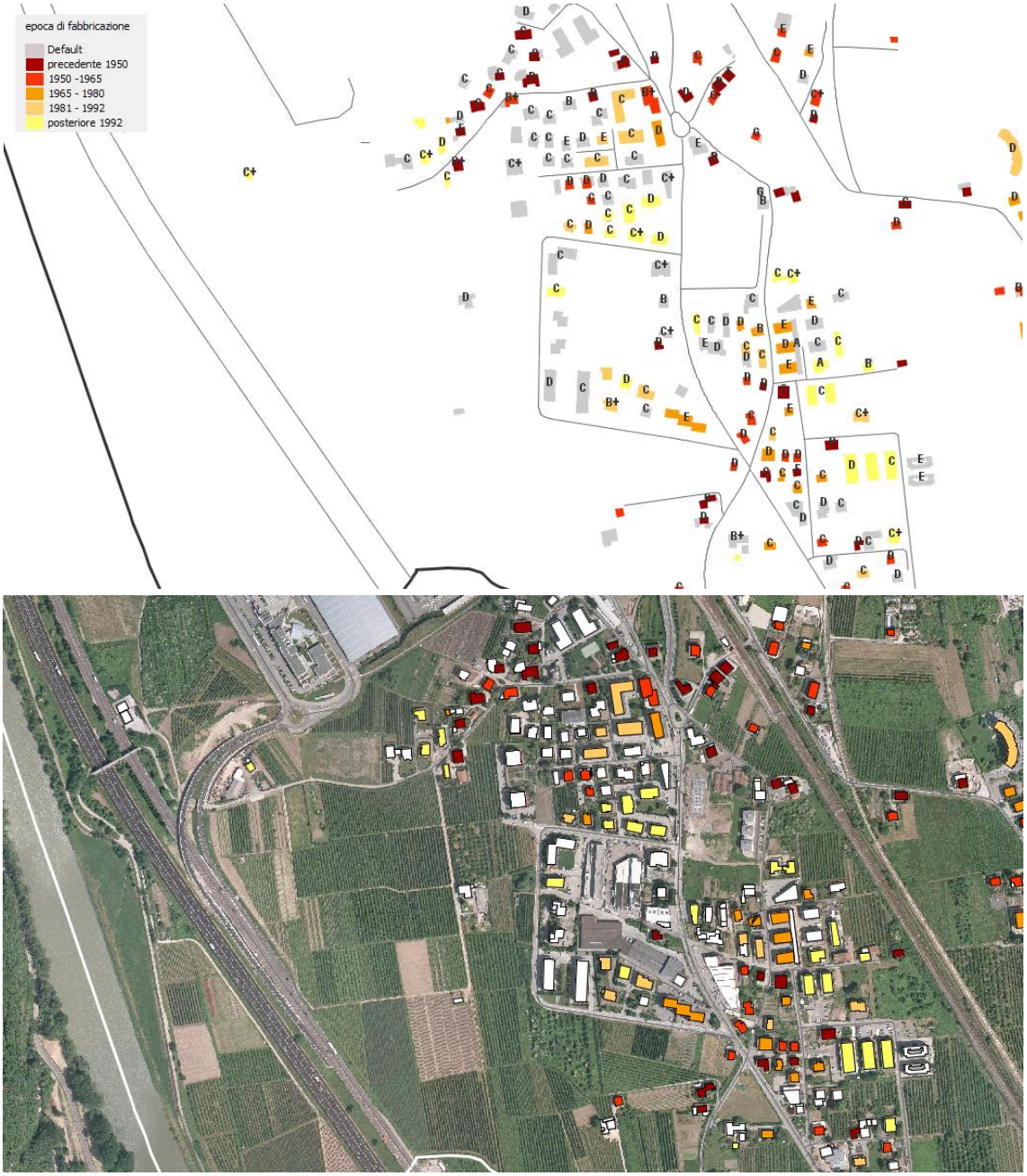


Fig. 100 Mappatura degli edifici per epoca di costruzione e indicazione della classe energetica

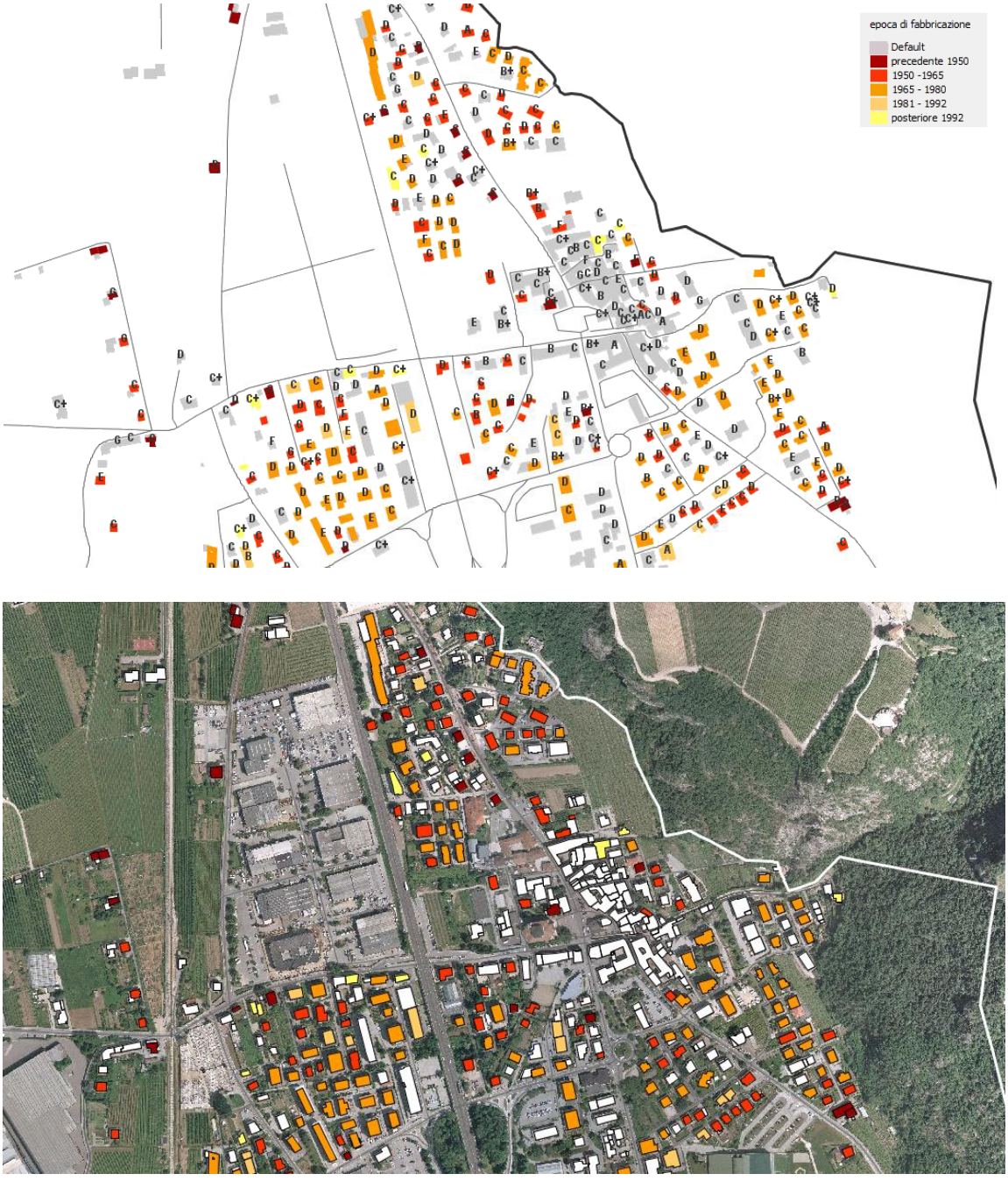


Fig. 101 Mappatura degli edifici per epoca di costruzione e indicazione della classe energetica

L'analisi dei consumi rilevati negli edifici realizzati durante i tre intervalli temporali considerati, relativi al periodo antecedente il 1976 (Fig. 102, caso A), al periodo tra il 1976 ed il 1992 (caso B) ed al periodo successivo (caso C), conferma, coerentemente con il progredire della normativa in materia di efficienza energetica, una diminuzione dei consumi medi negli immobili più recenti.

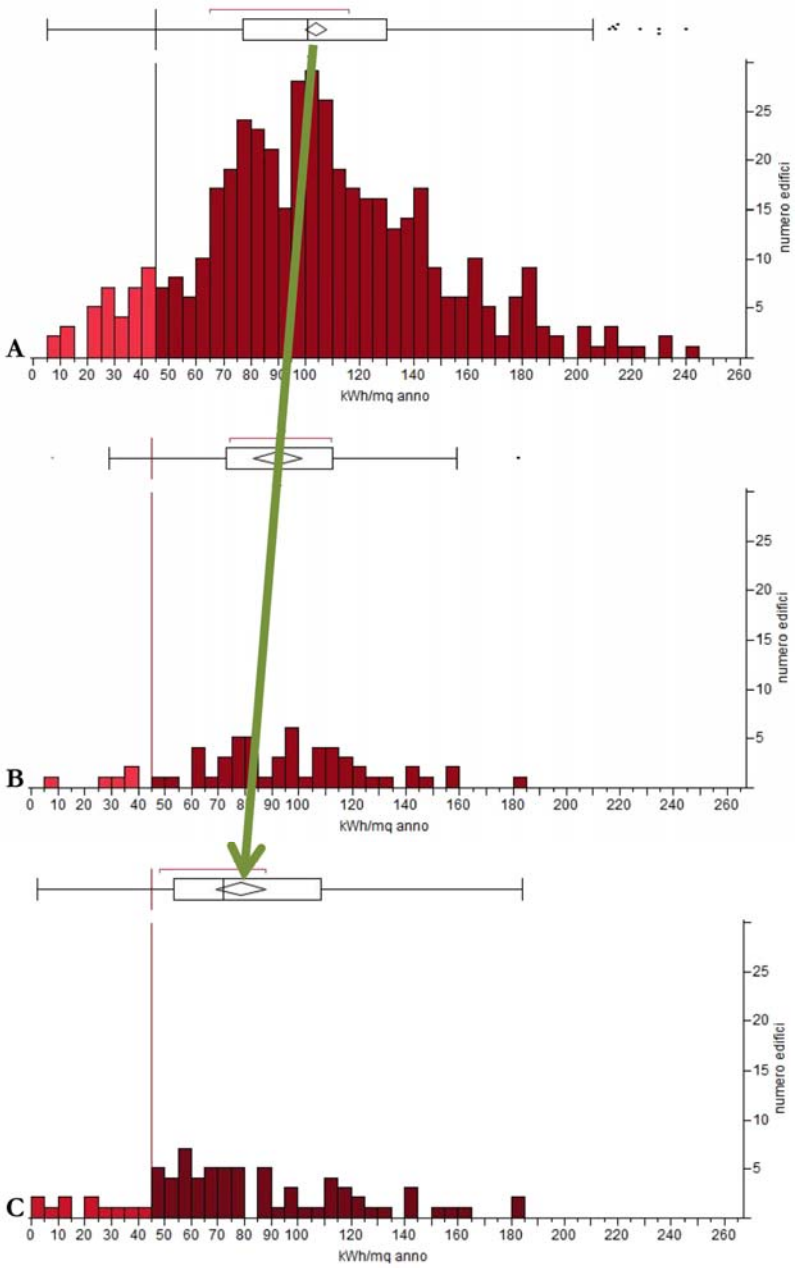


Fig. 102 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato: edifici realizzati fino al 1976 (caso A), edifici realizzati tra il 1977 e 1992 (caso B) ed edifici realizzati dopo il 1992 (caso C)

L'informazione relativa all'epoca di costruzione ha consentito di dare una spiegazione ai risultati precedentemente ottenuti in sede di confronto tra i consumi rilevati negli edifici con impianto autonomo e quelli rilevati negli edifici con impianto centralizzato.

La maggior parte degli edifici con impianto centralizzato, 182 strutture, risale ad un'epoca antecedente agli anni '80. Nella fattispecie, dall'archivio delle concessioni edilizie è emerso che 115 di questi edifici sono stati realizzati prima del 1984. In riferimento a buona parte di tale specifico gruppo di immobili, non sono stati rilevati nel medesimo archivio interventi eseguiti sugli impianti: ciò induce a pensare che negli stessi edifici siano installate caldaie datate, mantenute al minimo di legge.

Dall'archivio delle dichiarazioni di agibilità, è stato invece possibile risalire alla data di realizzazione di 13 degli edifici con impianto centralizzato, risultati successivi al 2001. In merito ai rimanenti casi, per i quali l'età è rimasta ignota, pari a 54 edifici, per le ragioni precedentemente esposte a riguardo delle probabili falle dell'archivio delle concessioni, è ipotizzabile supporre che l'epoca di costruzione sia antecedente agli anni '90.

6.2 Definizione del fattore di forma dell'edificio

La forma edilizia rappresenta un importante elemento di controllo delle prestazioni energetiche degli edifici. Tra i parametri che caratterizzano la geometria di una struttura, capaci di influire sulla relativa qualità energetica, vi è in primo luogo la compattezza, ovvero il grado di concentrazione della volumetria dell'edificio. Tale fattore incide in maniera significativa sull'entità della spesa energetica necessaria al soddisfacimento dei fabbisogni termici invernali poiché, a parità di volume, quanto più l'edificio è compatto tanto più è contenuta la superficie disperdente esposta all'esterno.

Il fattore di forma rappresenta la grandezza adottata per esprimere il livello di compattezza dell'edificio. Il d.lgs. 311/2006 definisce tale indice quale il rapporto tra superficie S e volume V, dove:

- S rappresenta la superficie, espressa in metri quadrati, che delimita verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, il volume V;
- V rappresenta il volume lordo delle parti di edificio riscaldate, espresso in metri cubi, definito dalle superfici che lo delimitano.

Le strutture compatte sono caratterizzate da fattori di forma contenuti, con valori prossimi allo zero, viceversa, i fabbricati la cui geometria è più articolata, sono contraddistinti da fattori di forma più elevati: angoli, sporgenze e rientranze aumentano infatti sensibilmente la superficie disperdente dell'involucro. Nell'esempio di seguito riportato (Fig. 103), dove si raffigurano due edifici di pari volume, è facile intuire come nel caso B il calore interno trovi molte più superfici disperdenti da cui fuoriuscire, rispetto a quanto accade invece nell'edificio di forma cubica, rappresentato dal caso A.

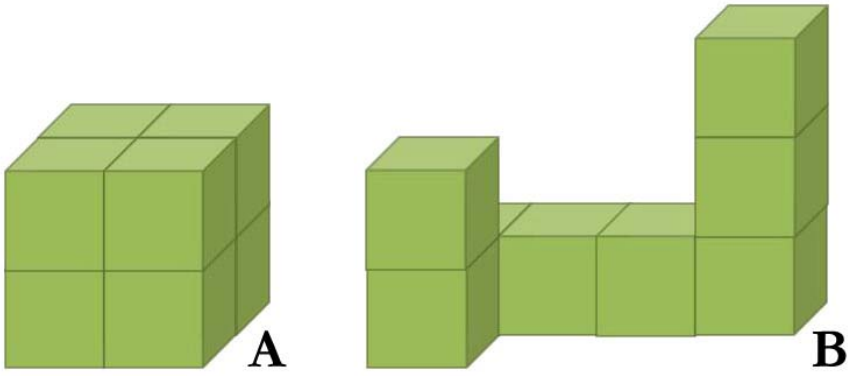


Fig. 103 Geometrie caratterizzate da un diverso grado di compattezza

Si può dimostrare come il cubo, dopo la sfera, sia caratterizzato dal minor rapporto tra la superficie a contatto con l'esterno ed il relativo volume contenuto, rappresentando dunque, a parità di volume, la forma edilizia ottimale per la conservazione dell'energia. Il

fattore di forma tende ovviamente a variare con le dimensioni relative dell'edificio: il cubo ha un rapporto S/V pari a 6/L, dove L è la dimensione del lato. Nella figura che segue (Fig. 104), è stato calcolato il fattore di forma di un cubo di lato pari a 20 metri (caso A) e quello di un cubo di lato pari a 10 metri (caso B).

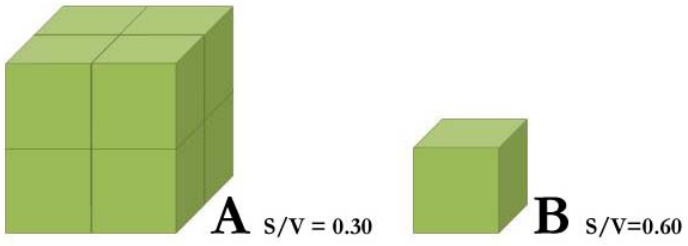


Fig. 104 Confronto dei fattori di forma di due cubi di diversa dimensione.

Il rapporto di forma risulta essere condizionato dalla tipologia edilizia e dalle dimensioni volumetriche dell'edificio. Nelle abitazioni monofamiliari, quali ville o villini isolati si riscontrano indici tendenzialmente più elevati (S/V circa 0.80), mentre negli edifici a torre si evidenziano invece fattori di forma più contenuti (S/V circa 0.30).

Nella figura sottostante (Fig. 105) si evidenziano i fattori di forma caratteristici di tipologie edilizie distinte, definite da combinazioni modulari di un cubo di lato 10 metri. La tipologia A è esemplificativa di una serie di piccole palazzine isolate, ipoteticamente strutturate su tre livelli fuori terra con un appartamento per piano, la tipologia B è indicativa di edifici in linea ed infine la tipologia A di un edificio a torre.

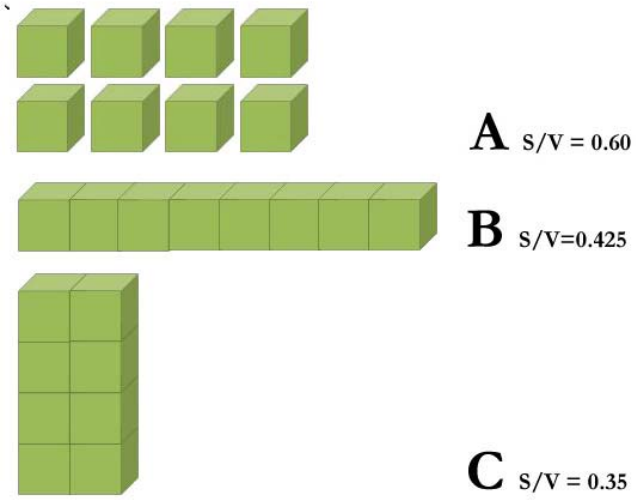


Fig. 105 Confronto dei fattori di forma per tipologie edilizie distinte

È necessario tuttavia osservare che la miglior forma ai fini energetici è controbilanciata da uno svantaggio in termini di illuminazione ed aerazione. Strutture edilizie cubiche, di

lato indicativamente superiore ai 12 metri, possono essere contraddistinte da problematiche relative alla penetrazione della luce ed alla ventilazione degli ambienti interni; per tale motivo in edilizia si opta tendenzialmente per forme parallelepipede, con lati di differente dimensione in relazione alle esposizioni.

6.2.1 Descrizione della metodologia adottata e definizione del fattore di forma

Le operazioni svolte nella presente fase del lavoro sono state dirette a definire il fattore di forma proprio degli edifici siti nell'area di indagine. Anche in questo caso, le geometrie degli edifici sono state derivate dallo shapefile degli edifici della cartografia tecnica comunale.

Sono state adottate nel calcolo talune semplificazioni grazie alle quali è stato possibile ricavare in via automatica l'indice in oggetto. Tra di esse, la più importante è stata quella di considerare l'edificio quale un semplice parallelepipedo definito dall'estrusione della relativa area di ingombro per il valore dell'altezza rilevata alla gronda. Ai fini del calcolo del volume lordo riscaldato e del relativo involucro disperdente, gli edifici sono stati cioè equiparati a strutture a copertura piana, tralasciando dunque le componenti volumetriche determinate dalle eventuali falde inclinate.

Tale semplificazione rispecchia correttamente il caso di edifici che, seppur con copertura a falde, non sono riscaldati nel sottotetto (Fig. 106, caso A): il calcolo del fattore di forma, così come definito dalla normativa in materia, presuppone infatti di considerare il solo volume riscaldato ed il relativo involucro confinante con ambienti privi di impianto di riscaldamento. Viceversa, non è invece correttamente identificativa degli edifici mansardati, dove il volume riscaldato arriva fino all'intradosso della copertura. (Fig. 106, caso B).

In egual maniera, non sono stati scomputati dal calcolo i volumi freddi dei corpi scale.

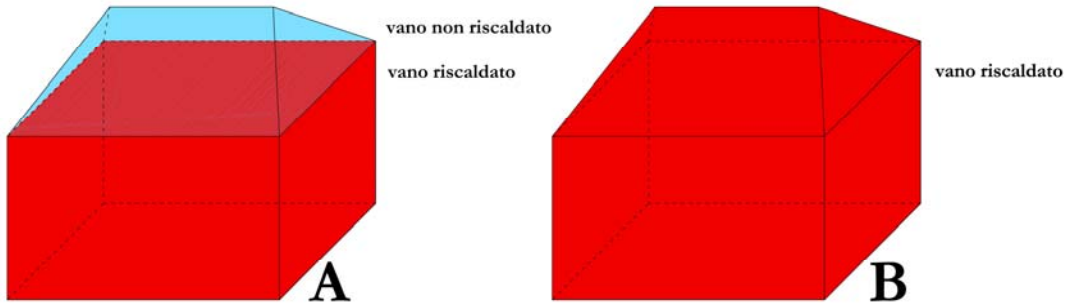


Fig. 106 Volume riscaldato e relativo involucro

Poste le predette semplificazioni, il calcolo del fattore di forma non ha implicato particolari difficoltà nell'ambito degli edifici isolati. Volume e superficie sono stati derivati dagli attributi dello shapefile degli edifici: il volume lordo riscaldato è stato ottenuto, come

detto, dal prodotto dell'area del poligono per il valore di altezza alla gronda, mentre la superficie disperdente è stata definita dalla somma dell'area inferiore a contatto con il terreno, dell'area superiore rivolta verso il cielo o comunque verso il sottotetto ipotizzato non riscaldato ed infine dell'area delle pareti laterali dell'edificio. La superficie disperdente, in altre parole, è stata definita attraverso la seguente equazione:

$$S = (\text{perimetro} * z) + (\text{area} * 2)$$

Moltiplicando il perimetro dell'edificio per il valore di altezza è stata calcolata la superficie delle pareti laterali ed a tale valore è stata sommata due volte l'area di ingombro dell'edificio, una prima volta per computare la componente rivolta verso il terreno ed una seconda per computare quella rivolta verso il cielo.

Si sono dovuti trattare in maniera differente i casi caratterizzati da edifici contigui, ovvero i casi per i quali una quota parte della pareti laterali del fabbricato era confinante con altri volumi riscaldati; in tali situazioni, alla componente disperdente determinata dalle superfici laterali, era infatti necessario sottrarre l'area a contatto gli ambienti riscaldati adiacenti. Nell'esempio riportato in figura (Fig. 107), posto che A e B siano due edifici riscaldati, alla superficie laterale disperdente di A deve essere sottratta la parte confinante con B, indicata in rosso, e viceversa.

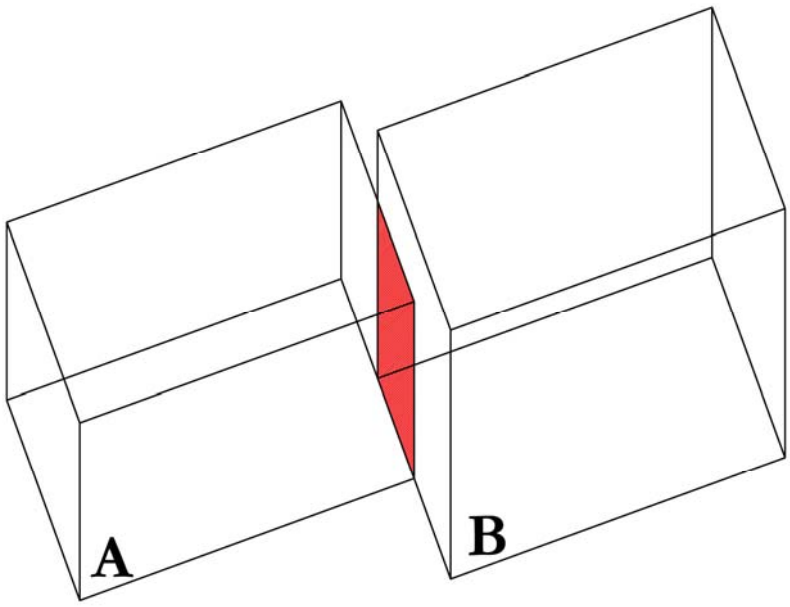


Fig. 107 Volumi riscaldati contigui

Lo stesso principio vale qualora gli edifici confinanti riscaldati siano più di due. Nel caso riportato in figura (Fig. 108), alla superficie laterale dell'edificio B, deve essere

contemporaneamente sottratta la quota delle pareti laterali in comune sia con l'edificio A che con l'edificio C.

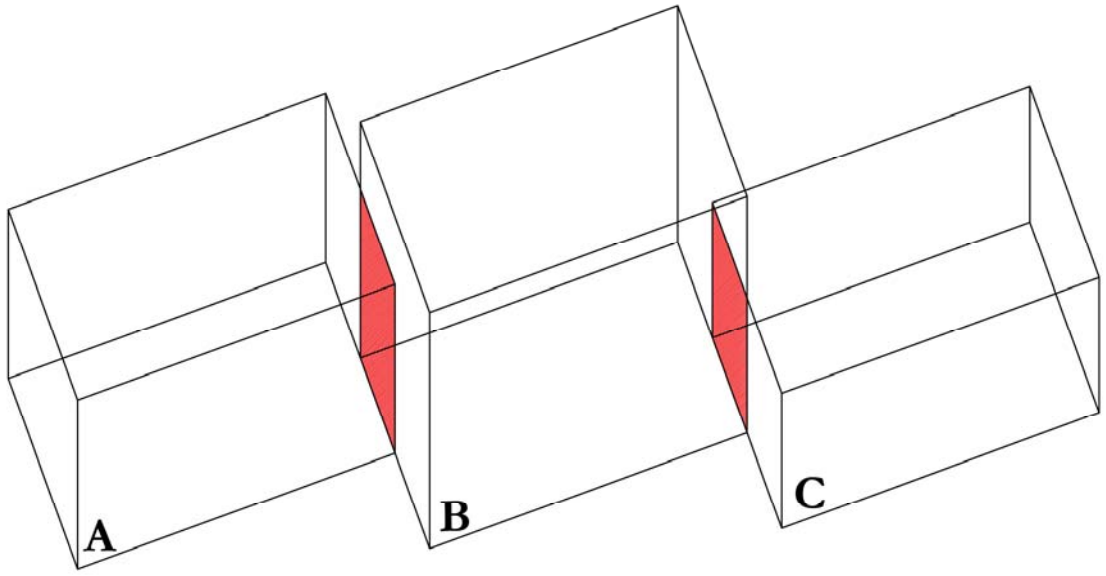


Fig. 108 Volumi riscaldati contigui

È stata implementata una procedura per il calcolo del rapporto di forma che consentisse in modo automatico di scorporare l'eventuale quota di superficie laterale confinante con altri edifici. Vengono di seguito descritte le operazioni compiute a tal fine.

In primo luogo è stata definita la superficie disperdente lorda, ovvero la superficie comprensiva anche delle eventuali aree confinanti con altri volumi riscaldati, adottando la formula precedentemente descritta:

$$S_disp_L = (perimetro * z) + (area * 2)$$

Il calcolo, compiuto in maniera automatica attraverso gli operatori GIS, ha generato il nuovo attributo *S_disp_L* (superficie disperdente lorda) nella tabella dello shapefile degli edifici.

Al fine di riconoscere le casistiche contraddistinte da edifici contigui, è stata compiuta un'intersezione tra lo shapefile degli edifici e sé stesso. Tale operazione ha generato un nuovo shapefile lineare (*insersezioni.shp*), attraverso il quale sono state individuate le linee di contatto tra gli edifici contigui.

L'intersezione tra l'edificio A e l'edificio B (Fig. 109), definisce la linea di contatto evidenziata in rosso.

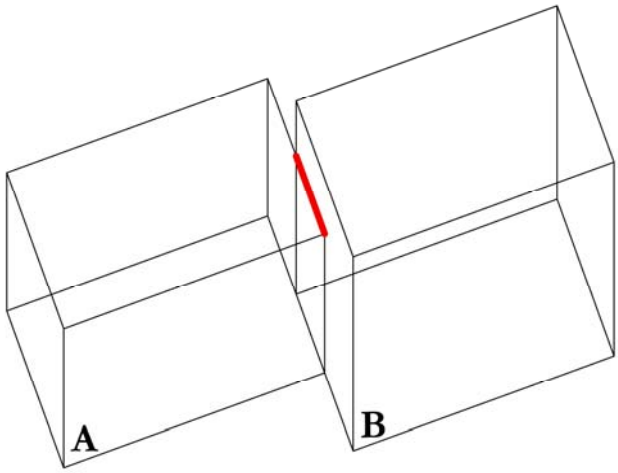


Fig. 109 Linea di intersezione tra l'edificio A e l'edificio B

Ad ogni linea del nuovo shapefile generato viene automaticamente associata una coppia di record: il primo record individua inizialmente gli attributi del primo edificio incluso nell'intersezione e riporta di seguito quelli del secondo; viceversa, il record successivo individua inizialmente gli attributi del secondo edificio incluso nell'intersezione e riporta poi quelli del primo. L'operatore GIS restituisce in tal senso un elemento che conserva gli attributi di entrambi gli edifici. Nell'esempio riportato in figura (Fig. 110), alla linea di contatto tra gli edifici con codice 3450 e 3453, è associata ad una coppia di record, il primo dei quali riporta gli attributi dell'edificio 3450 (cerchiati in rosso) e di seguito quelli dell'edificio 3454, mentre il secondo riporta prima gli attributi dell'edificio 3453 e poi quelli dell'edificio 3450 (cerchiati in rosso).

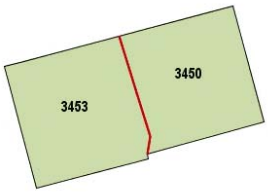


Tabella: Tabella degli attributi: intersezione_LIN.shp

AREA	PERIME...	cod_ed	TIPO_L...	Z	...	AREA	PERIME...	cod_ed	TIPO_L...	Z	...	ti...	...	c...	...	...
105.29...	48.27202	3192	2.02.01	7.39	...	186.17676	55.21819	3186	2.02.01	...	...	A	...	C	...	...
197.8974	68.05409	3206	2.02.01	8.68	...	148.04445	49.77317	3213	2.02.01	...	...	A	...	C+	...	...
148.04...	49.77317	3213	2.02.01	9.82	...	197.8974	68.05409	3206	2.02.01	...	...	C	...	B	...	...
354.99...	80.64522	3338	2.02.01	17.28	...	565.52802	107.52717	3345	2.02.01	...	...	A	...	C	...	...
99.58855	40.67746	3450	2.02.01	11.15	...	107.99825	41.16507	3453	2.02.01	...	...	A	...	C	...	...
107.99...	41.16507	3453	2.02.01	9.61	...	99.58855	40.67746	3450	2.02.01	...	...	A	...	C	...	...
136.56...	48.6396	3687	2.02.01	10.4	...	227.46483	72.13064	3708	2.02.01	...	...	A	...	D	...	...
227.46...	72.13064	3708	2.02.01	7.66	...	136.56966	48.6396	3687	2.02.01	...	...	A	...	C	...	...
227.46...	72.13064	3708	2.02.01	7.66	...	266.47684	85.33458	3727	2.02.01	...	...	A	...	B	...	...
99.6854	40.68625	3714	2.02.01	4.71	...	163.78742	51.84213	3729	2.02.01	...	...	A	...	B	...	...

2 / 132 Totale registri selezionati.

Fig. 110 Coppia di record associati alla linea di intersezione tra gli edifici 3450 e 3453

Lo shapefile delle linee di intersezione è stato aggiornato con l'inserimento di un nuovo attributo, denominato *contatto*, al quale è stato associato il valore di lunghezza della linea generata. Dopo aver eliminato i campi non necessari alle elaborazioni successive, la tabella attributi dello shapefile è risultata essere così definita:

Attributo	**Dominio**	**Descrizione**
cod_ed1	string	identificativo edificio 1
z1	double	altezza edificio 1
cod_ed2	string	identificativo edificio 2
z2	double	altezza edificio 2
contatto	double	lunghezza linea di intersezione

Tab. 16 Tabella attributi dello shapefile *intersezioni.shp*

La tabella attributi dello shapefile è stata quindi importata in un database Access, strutturato per la successiva elaborazione degli attributi medesimi.

Per calcolare la superficie a contatto con altri volumi riscaldati, è stato inserito un nuovo campo denominato *S_risc* (superficie riscaldata), il quale ha assunto il valore definito dalla seguente query:

S_risc = IIf((z1<=z2),(contatto*z1),(contatto*z2));

ovvero, qualora l'altezza dell'edificio 1 (*z1*) fosse stata minore di quella dell'edificio 2 (*z2*), la superficie di contatto è stata determinata moltiplicando la linea di intersezione (campo *contatto* e linea rossa nella Fig. 111) per il valore dell'altezza 1 (linea azzurra nella Fig. 111); viceversa qualora l'altezza dell'edificio 2 fosse risultata minore, la superficie di contatto è stata ottenuta moltiplicando la linea di intersezione per il valore dell'altezza 2.

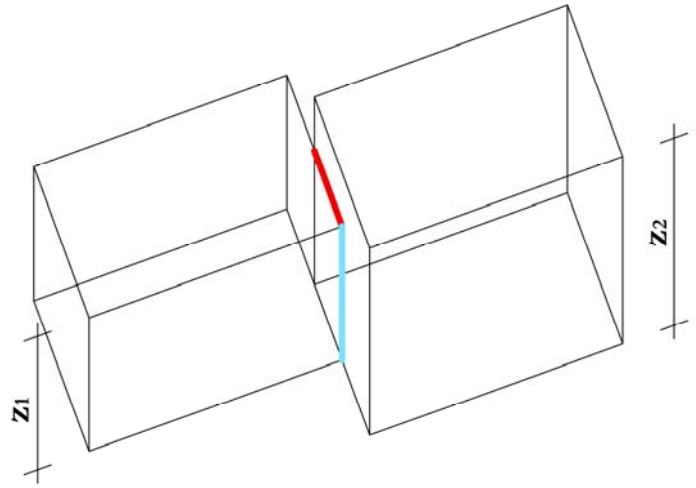


Fig. 111 Definizione della superficie di contatto

È stato definito per ogni edificio il valore complessivo della quota di superficie laterale a contatto con dei volumi riscaldati, espresso per mezzo di un nuovo campo denominato *S_risc_tot* (superficie riscaldata totale). Per ciascun edificio, in altre parole, è stata determinata la somma dei valori del campo *S_risc* (superficie riscaldata) ad esso riferiti. Operativamente, attraverso le azioni svolte è stata strutturata una nuova tabella (Tab. 17), nella quale è stato identificato il valore complessivo di superficie laterale contigua a dei volumi riscaldati, attribuibile a ciascun edificio.

Attributo	**Dominio**	**Descrizione**
cod_ed	string	identificativo edificio
S_risc_tot	double	superficie complessiva dell'edificio a contatto con altri volumi riscaldati

Tab. 17 Tabella superfici riscaldate

La fase successiva del lavoro ha riguardato la trasposizione dei dati in GIS. Attraverso il codice identificativo degli immobili, è stato possibile correlare a ciascun record dello shapefile degli edifici l'eventuale quota di superficie a contatto con altri fabbricati, da scorporare dal valore di superficie disperdente.

Nell'esempio che segue, il valore di superficie laterale riscaldata complessiva associato all'edificio 2720 è definito dalla somma delle superfici a contatto con gli edifici confinanti con l'immobile medesimo (poligoni 2710, 2718, 2747, 2743, 2729 e 2709).

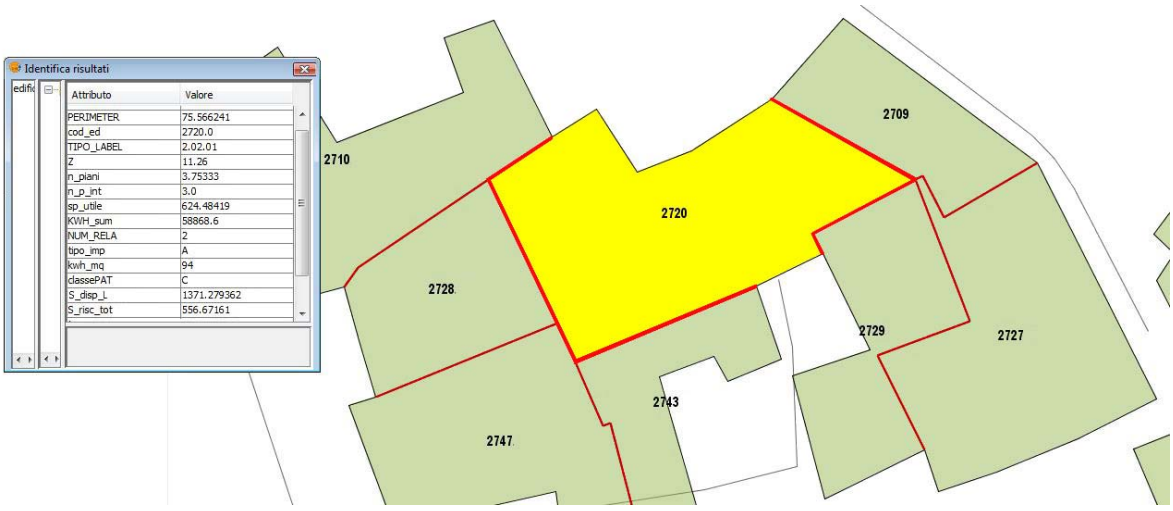


Fig. 112 Trasposizione in GIS dei valori di superficie laterale riscaldata

Il valore di superficie disperdente netta (attributo *S_disp_N*) è stato definito sottraendo al valore di superficie disperdente lorda (attributo *S_disp_L*) la superficie riscaldata laterale

complessiva (*S_risc_tot*). Il rapporto tra superficie disperdente netta e volume riscaldato ha consentito di definire il fattore di forma proprio di ciascun edificio (Fig. 113, campo *FF*).

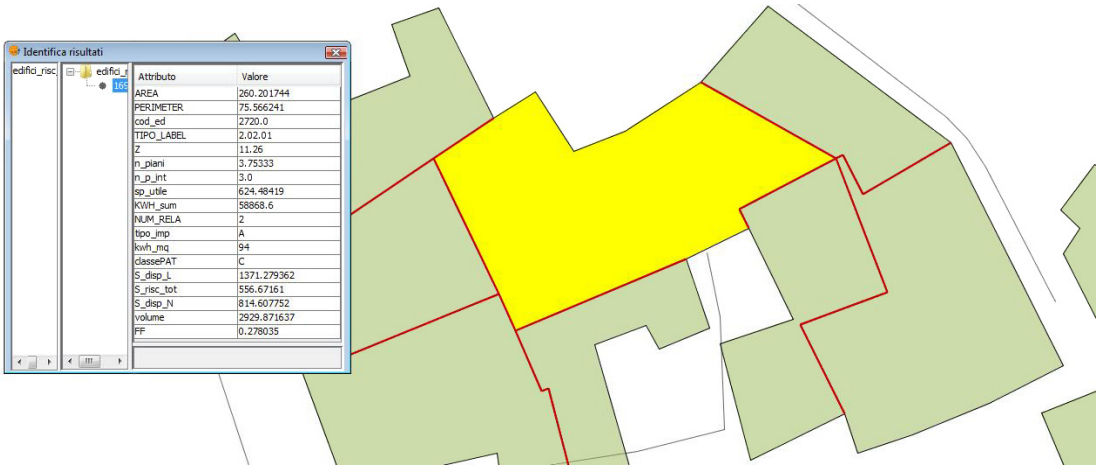


Fig. 113 Definizione in GIS del fattore di forma

6.2.2 Analisi dei risultati

L'analisi dei risultati ottenuti ha evidenziato che la maggior parte degli edifici in esame presenta un rapporto di forma prossimo a 0.55.

L'istogramma in figura restituisce la distribuzione degli edifici in relazione all'indice definito. Nella fattispecie, i valori di media e mediana del fattore di forma sono risultati rispettivamente pari a 0.51 e 0.52, mentre il primo ed il terzo quartile si sono attestati su rapporti prossimi a 0.44 e 0.58. Gli edifici ricadenti nel terzo quartile sono probabilmente da ricondurre a villette isolate: per tali tipologie edilizie è infatti tendenzialmente difficile ottenere rapporti di forma inferiori a 0.6.

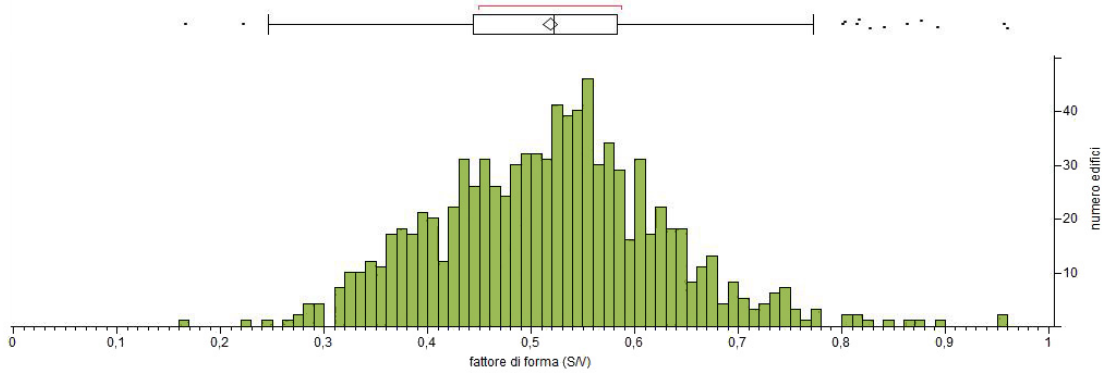


Fig. 114 Distribuzione degli edifici in relazione al fattore di forma

Sono di seguito riportate alcune mappe tematiche nell'ambito delle quali viene individuato l'intervallo di valori all'interno del quale ricade il fattore di forma dell'edificio nonché, nella parte superiore dell'immagine, la classe energetica dell'immobile.

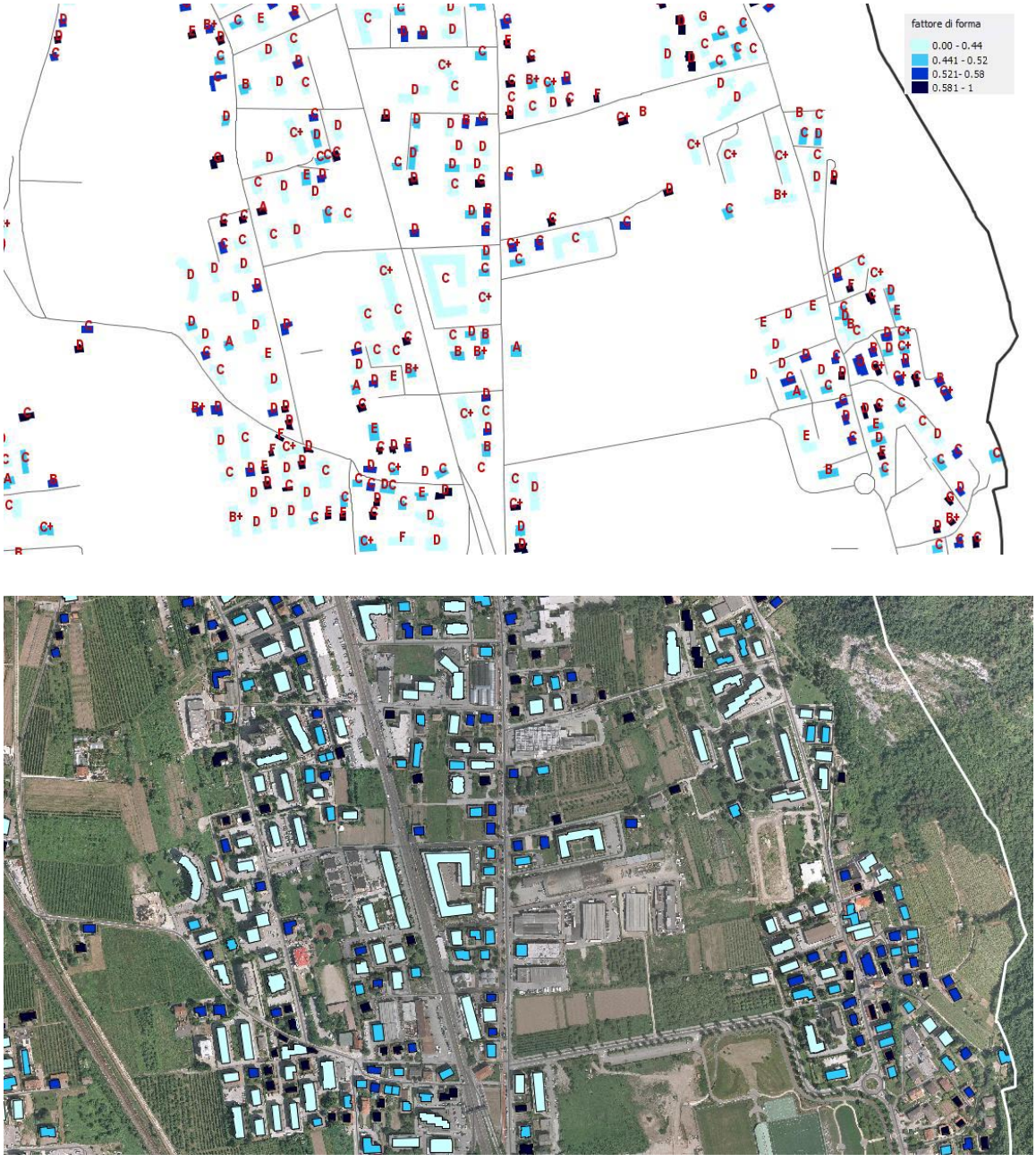


Fig. 115 Mappatura degli edifici in relazione al fattore di forma e indicazione della classe energetica

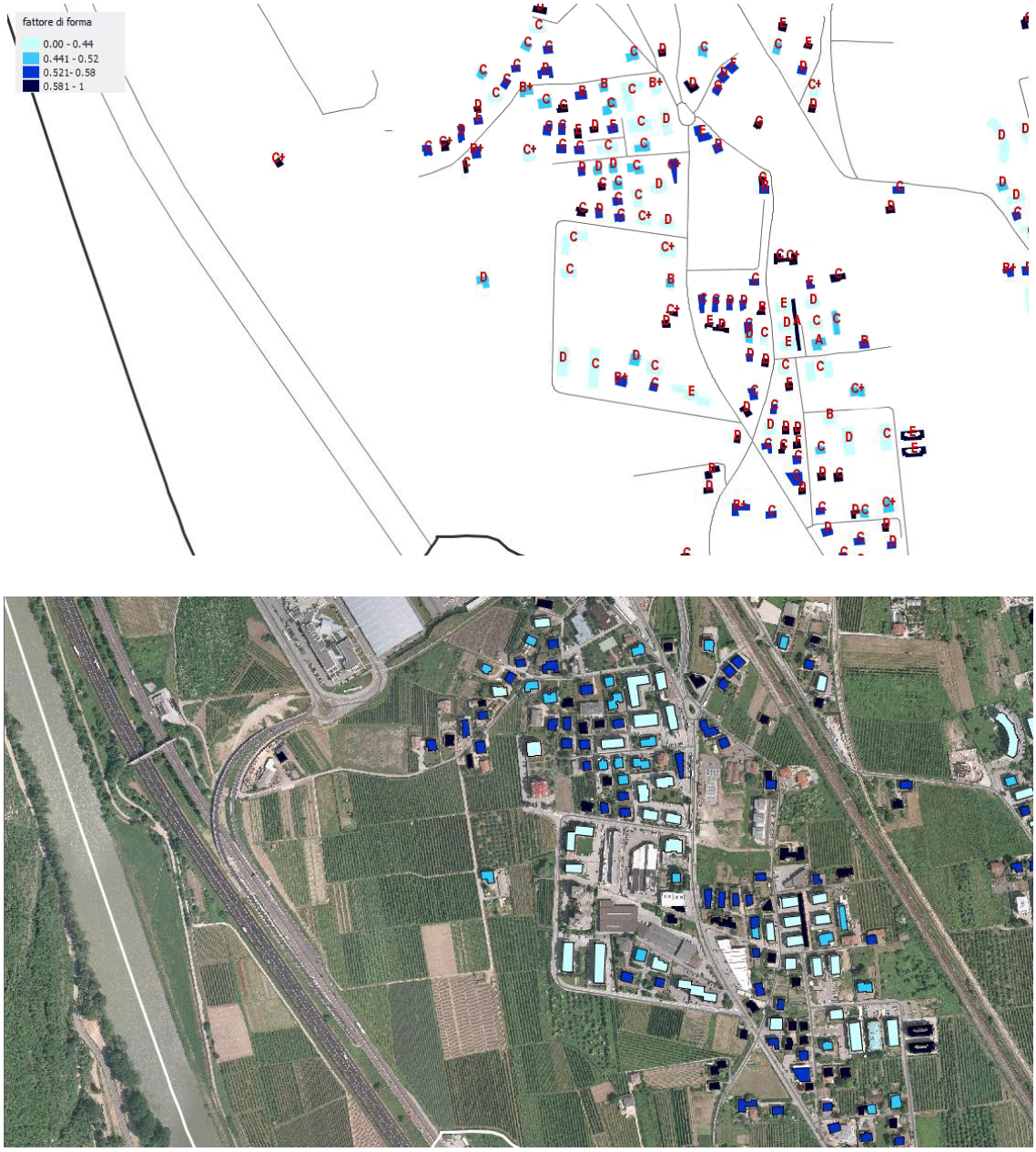


Fig. 116 Mappatura degli edifici in relazione al fattore di forma e indicazione della classe energetica

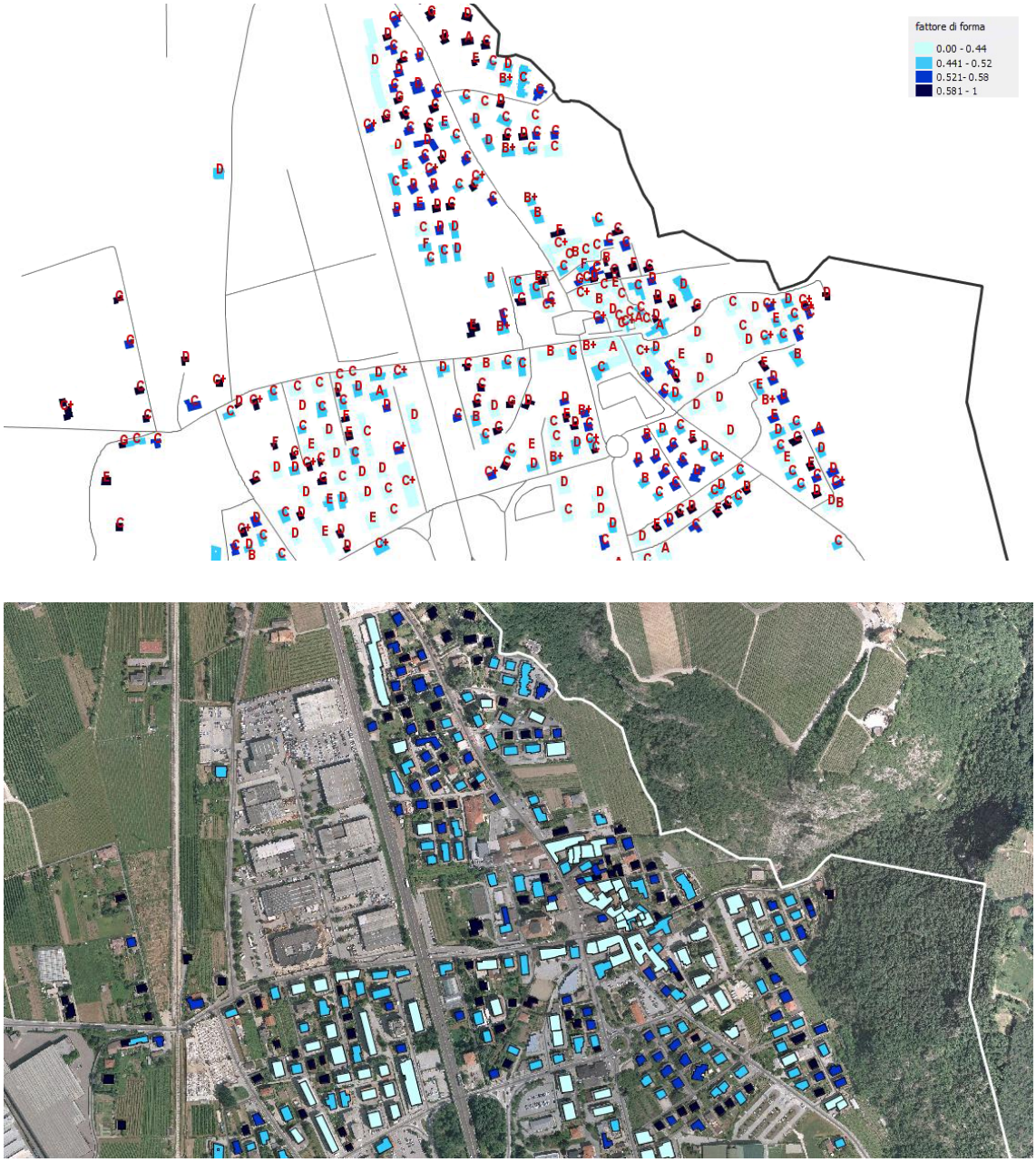


Fig. 117 Mappatura degli edifici in relazione al fattore di forma e indicazione della classe energetica

Come premesso la geometria dell'edificio è un parametro che può risultare decisamente influente sulla spesa energetica sostenuta per il riscaldamento dello stesso. Tale presupposto è stato confermato analizzando l'andamento dei consumi negli edifici con fattore di forma contenuto ed in quelli con fattore di forma elevato. Sono stati a tal fine confrontati i consumi sostenuti dagli immobili collocati nelle due estremità della distribuzione, ovvero dagli edifici con fattore di forma ricadente nel primo e nel quarto quartile. Gli edifici appartenenti al primo gruppo (Fig. 118, caso A), presentano un valore di consumo medio pari a 97.6 kWh/m^2 anno, decisamente inferiore al valore rilevato per gli edifici del secondo gruppo, contraddistinti da un consumo medio di 113 kWh/m^2 anno.

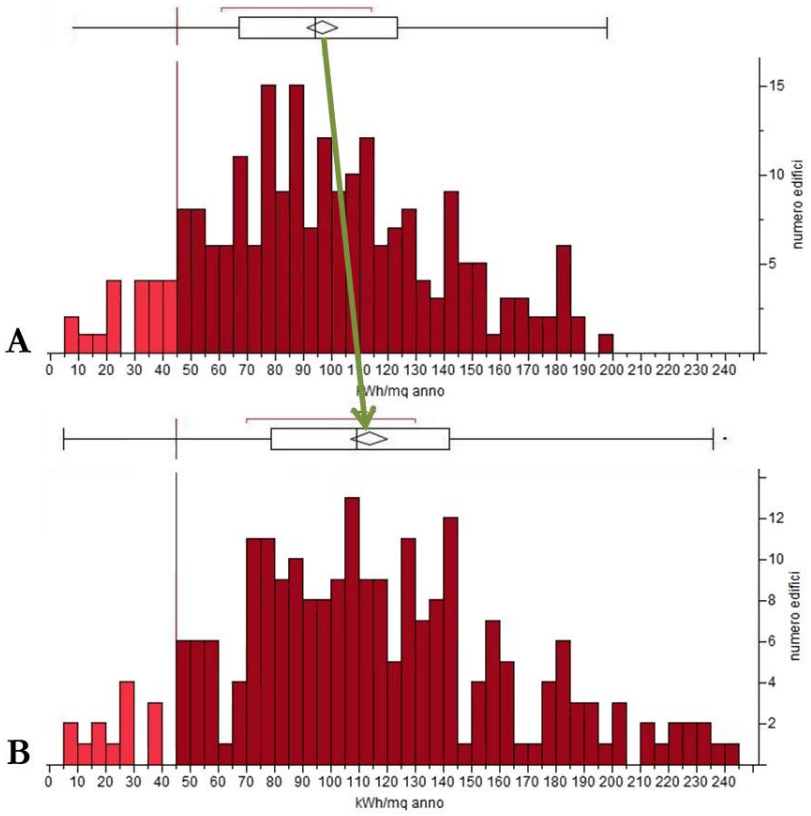


Fig. 118 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo medio annuo per fabbricato: edifici con fattore di forma minore di 0.44 (caso A) e maggiore di 0.58 (caso B)

6.3 Integrazione del dato utente

La terza fase di caratterizzazione dei consumi ha previsto l'integrazione di alcune informazioni relative ai soggetti occupanti gli immobili in esame. L'analisi si è posta l'obiettivo di approfondire e verificare se, ed in quale maniera, caratteristiche determinate dell'utenza potessero essere ritenute influenti sui risultati ottenuti in termini di consumo rilevato. In tal senso, sono state di seguito definite una serie di variabili sintetiche potenzialmente rappresentative della volontà e delle specificità dei soggetti capaci di condizionare, entro certi margini, l'ammontare della spesa dedicata al soddisfacimento del fabbisogno termico invernale.

Essendo gli immobili in indagine edifici a destinazione abitativa, gli utenti degli stessi sono stati conseguentemente individuati nei relativi residenti.

Le caratteristiche degli occupanti, potenzialmente in grado di influire sul consumo sostenuto, sono indubbiamente molteplici. Fra di esse, potrebbero essere ritenute particolarmente incisive le specificità della giornata tipo quotidianamente vissuta: ragionando per ipotesi, si potrebbe infatti supporre che un edificio abitato esclusivamente da gruppi di utenti che trascorrono buona parte del giorno sul posto di lavoro, che risiedono dunque in casa durante lassi temporali relativamente brevi, venga riscaldato per un tempo minore rispetto a quanto accade invece in un edificio dove vivono tipologie differenti di soggetti.

In alternativa, la variabile di maggiore rilevanza ai fini dell'andamento dei consumi potrebbe essere individuata nel reddito percepito e nella composizione del nucleo familiare. Tipologie familiari determinate, quali quelle con un solo genitore o quelle costituite da coppie con più di un minore, si trovano infatti più frequentemente delle altre nella condizione di non disporre di risorse economiche sufficienti per riscaldare adeguatamente la propria abitazione (Istat, 2010).

O ancora, una caratteristica ulteriore dell'utente capace di influenzare la spesa sostenuta, potrebbe essere di tipo culturale, ovvero potrebbe essere ricercata nel suo livello di informazione in materia energetica e nella sua volontà e propensione nel seguire l'evoluzione tecnologica legata alla razionalizzazione ed all'efficienza degli usi energetici.

E così via.

Ai fini del presente studio, l'utente può dunque essere descritto in relazione ad un cospicuo numero di aspetti. I seguenti fattori individuano alcune delle variabili, definibili qualitativamente o quantitativamente, attraverso le quali il residente può essere caratterizzato:

- età
- sesso
- tipologia familiare

- titolo di studio, occupazione
- reddito individuale, reddito familiare

Ciascuno dei fattori riportati nell'elenco è potenzialmente in grado di influire sull'ammontare dei consumi energetici: l'acquisizione di informazioni specifiche relative a tali aspetti, georiferite e disaggregate per singolo abitante, consentirebbe di compiere un'interessante indagine sulla componente sociale del fenomeno indagato, permettendo, in altre parole, di riconoscere se ed in quale misura, caratteristiche determinate dell'utente siano realmente in grado di influenzare la spesa rilevata.

Tali informazioni tuttavia, rientrando per la maggior parte all'interno di quelle categorie di dati tendenzialmente coperti da privacy, risultano essere difficilmente accessibili se non in forma aggregata ad un livello territoriale superiore rispetto all'entità di riferimento nei confronti della quale sono dirette le indagini, il singolo edificio. Delle variabili elencate in precedenza, si è resa disponibile per proseguire lo studio unicamente quella riguardante l'età dei residenti.

6.3.1 Descrizione dei dati acquisiti

Al fine di accedere alle informazioni relative all'età dei singoli residenti, è stato necessario individuare un livello di dettaglio delle informazioni medesime inferiore rispetto a quello dello specifico anno di nascita. In tal senso, sono state quindi definite delle fasce d'età, significative ai fini del lavoro, all'interno delle quali ciascun abitante è stato collocato. Gli intervalli d'età sono stati delimitati individuando periodi distinti della vita media di una persona, caratterizzati da un maggiore o minore tempo di permanenza in casa:

- 0 - 6 anni
- 7 - 18 anni
- 19 - 30 anni
- 31 - 65 anni
- oltre 65 anni

La volontà è stata dunque quella di scindere la fascia d'età prescolare (0 - 6 anni), nel corso della quale si trascorrono, relativamente, più ore in casa; l'età scolare (7 - 18 anni), durante la quale il tempo di permanenza in casa tende invece a diminuire; il periodo post scolastico/universitario (18 - 30 anni) e l'età lavorativa (31 - 65 anni), momento in cui si rileva, presumibilmente, la durata massima del tempo giornaliero trascorso all'esterno della propria abitazione ed infine l'età pensionabile (oltre 65 anni), ove si assiste tendenzialmente ad una nuova crescita delle ore quotidiane di permanenza in casa.

L'analisi riportata non deriva da studi specifici o in indagini in materia precedentemente svolti, quanto piuttosto da osservazioni soggettive a riguardo, che possono ritenersi tuttavia

ragionevolmente rappresentative, seppure con dei margini di errore, di quello che è il percorso di vita generalmente condotto dalla persona media nell'epoca contemporanea.

I dati anagrafici acquisiti, rilasciati dall'Ufficio Statistica del Comune di Trento, hanno consentito di conoscere la fascia d'età all'interno della quale è risultato ricadere ciascuno degli abitanti del quartiere oggetto di analisi. Tale dato è stato acquisito parallelamente all'indirizzo dello stesso residente, in maniera tale da renderne possibile la successiva georeferenziazione ed integrazione con gli archivi precedentemente elaborati.

Per ciascun civico dell'area in esame, la banca dati resasi disponibile, aggiornata al 31 dicembre 2009, ha dunque definito il numero complessivo degli abitanti appartenenti a ciascuna delle fasce d'età individuate nonché il numero totale dei soggetti residenti nel civico specifico (Tab. 18).

Attributo	**Dominio**	**Descrizione**
via	string	nome completo via
civico_alf	string	civico completo (es. 1/A)
0 - 6	integer	numero residenti con età tra 0-6 anni
7 - 18	integer	numero residenti con età tra 7-18 anni
19 - 30	integer	numero residenti con età tra 19-30 anni
31 - 65	integer	numero residenti con età tra 31-65 anni
oltre 65	integer	numero residenti con età oltre anni
totale	integer	numero residenti totale

Tab. 18 Attributi della tabella sui residenti acquisita

6.3.2 Elaborazione degli archivi

I campi identificativi dell'indirizzo correlato ad ogni record dell'archivio (*via, civico_alf*) hanno reso possibile la georeferenziazione delle informazioni acquisite. Nella fattispecie, la trasposizione dei dati in GIS è avvenuta integrando gli attributi dello shapefile dei numeri civici, con le informazioni relative all'età degli abitanti residenti nel civico medesimo.

In tal senso, le elaborazioni condotte sull'archivio dei residenti sono state analoghe a quelle compiute sulla banca dati dei consumi precedentemente descritte (cfr. paragrafo 5.2.2), ovvero sono state dirette a definire un campo in grado di correlare univocamente ciascun record della tabella con il corrispondente record dello shapefile dei numeri civici. Come visto, ciascun civico dello shapefile viene individuato attraverso il campo *chiave*, definito da una stringa ottenuta dalla concatenazione del codice identificativo della via e del numero civico alfanumerico. Ai fini della successiva integrazione in GIS, il medesimo campo è stato pertanto importato nella tabella sui residenti acquisita (v. Figg. 54 e 55, pag. 163). Non vengono riportate le operazioni condotte a tal proposito, in quanto identiche a

quelle già descritte in riferimento alla fase di georeferenziazione dei dati relativi ai volumi di gas consumati.

6.3.3 *Trasposizione dei dati in GIS ed analisi dei risultati*

Come detto, i dati sui residenti acquisiti sono stati trasposti in GIS quale nuovo attributo dello shapefile dei numeri civici. Analogamente a quanto realizzato nell'ambito delle elaborazioni condotte ai fini dell'integrazione dell'archivio sui consumi, attraverso l'operatore di *spatial join* è stato possibile associare ad ogni edificio le informazioni correlate ai numeri civici spazialmente ricompresi nel poligono identificativo dell'immobile medesimo. È stato in altre parole possibile definire, per ciascun edificio, il numero degli abitanti ricadenti in ciascuna delle fasce d'età individuate nonché il numero complessivo dei soggetti ivi residenti (Fig. 119). Complessivamente, le nuove informazioni resesi disponibili, hanno interessato 839 dei 905 edifici per i quali è contemporaneamente noto anche il dato relativo all'ammontare del consumo sostenuto.

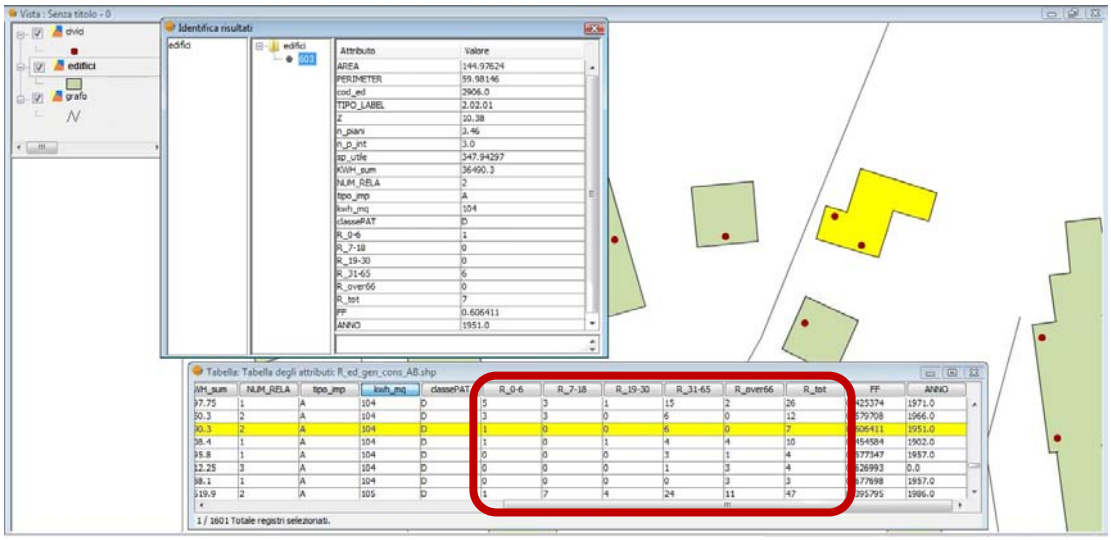


Fig. 119 Integrazione dei dati sui residenti

È corretto precisare che, differentemente dall'indice di consumo rappresentativo della prestazione di ciascun edificio, definito in relazione all'andamento della spesa energetica mediamente sostenuta nell'arco di quattro anni, il dato relativo al numero ed alla composizione per fascia d'età dei residenti rappresenta la fotografia di un momento specifico e determinato, individuato dalla data di aggiornamento delle informazioni acquisite. In considerazione dell'elevato numero dei casi di osservazione disponibili, gli errori eventuali derivanti da un mutamento in merito al numero o all'età degli abitanti presenti in ciascun edificio, si ritengono accettabili. Si specifica tuttavia che, ai fini di un esame più approfondito, sarebbe risultato significativo analizzare le variazioni

dell'andamento dei consumi avvenute a seguito di eventuali modificazioni a riguardo del numero o dell'età dei residenti nei singoli edifici.

Nelle immagini che seguono è riportata una tematizzazione degli edifici in relazione al numero complessivo dei residenti rilevato. Nella parte superiore di ciascuna figura è inoltre individuata la classe energetica attribuita a ciascun edificio.

Fig. 120 Mappatura degli edifici per numero di residenti e indicazione della classe energetica

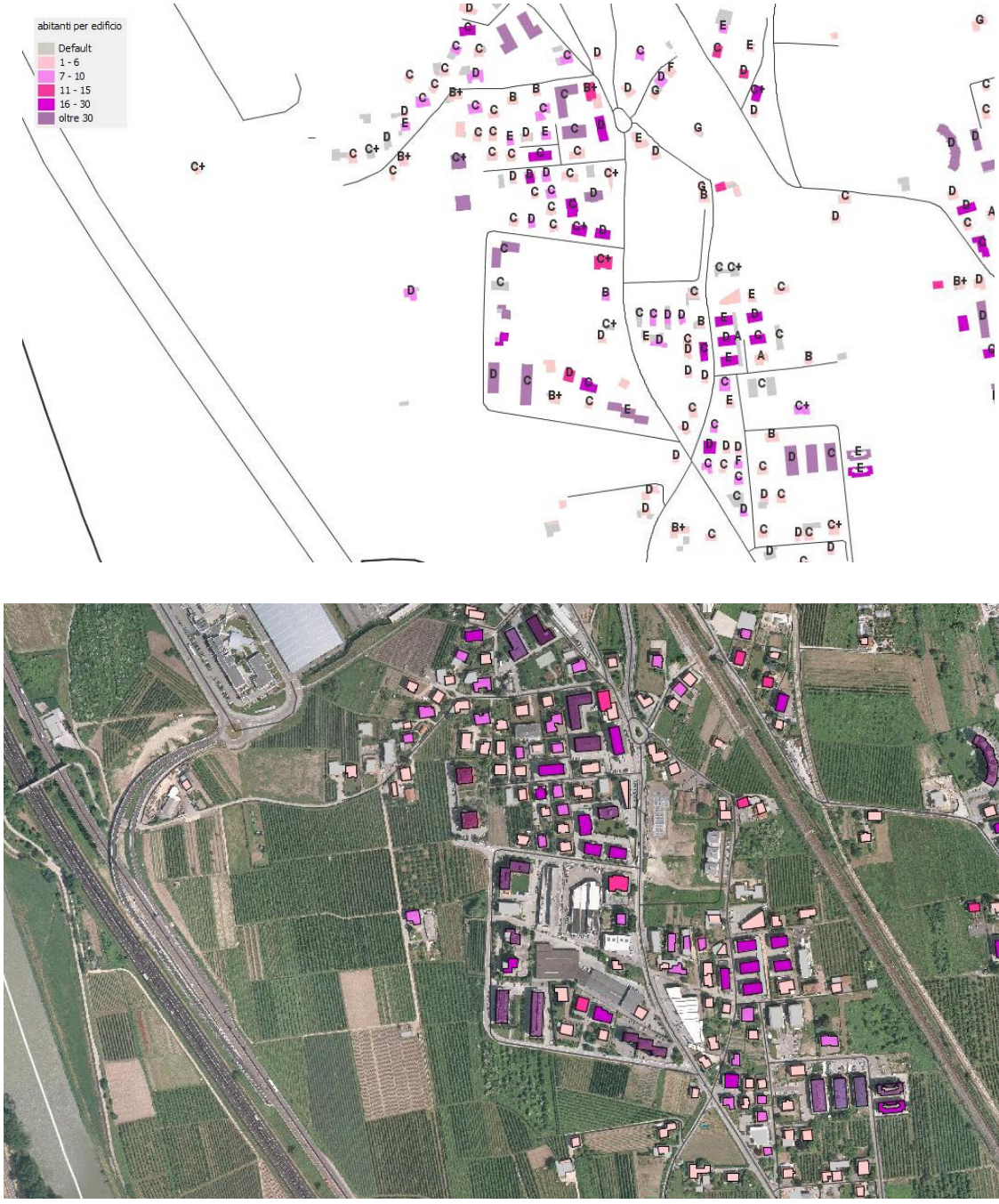


Fig. 121 Mappatura degli edifici per numero di residenti e indicazione della classe energetica

Fig. 122 Mappatura degli edifici per numero di residenti e indicazione della classe energetica

Dall'analisi della distribuzione degli edifici sulla base del numero totale di residenti, è stato riscontrato un numero massimo di abitanti per edificio pari a 160 persone ed è stato rilevato in 437 degli 839 casi in esame, un numero complessivo di abitanti inferiore a 7 (Fig. 123).

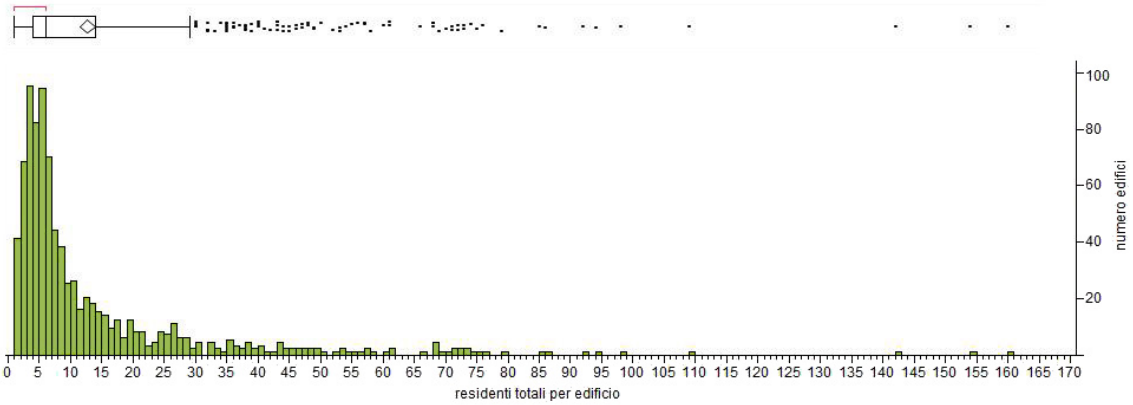


Fig. 123 Distribuzione degli edifici sulla base del numero complessivo di abitanti

Alla luce di quanto osservato, è sembrato significativo suddividere le successive analisi in due primi sottogruppi, definiti in relazione al numero totale degli abitanti presenti in ciascun edificio.

Dall'insieme iniziale, sono stati estratti i soli edifici con un numero di abitanti compreso tra 1 e 6, rappresentativi presumibilmente di immobili mono/bifamiliari. Dall'indagine dei consumi sono stati riscontrati valori medi e di mediana corrispondenti, rispettivamente, a 93 ed 89 kWh/m^2 anno (Fig. 124), indici di poco superiori a quelli precedente rilevati per l'intero gruppo degli edifici in esame (97.38 e 94 kWh/m^2 anno, cfr. capitolo 5.2.3).

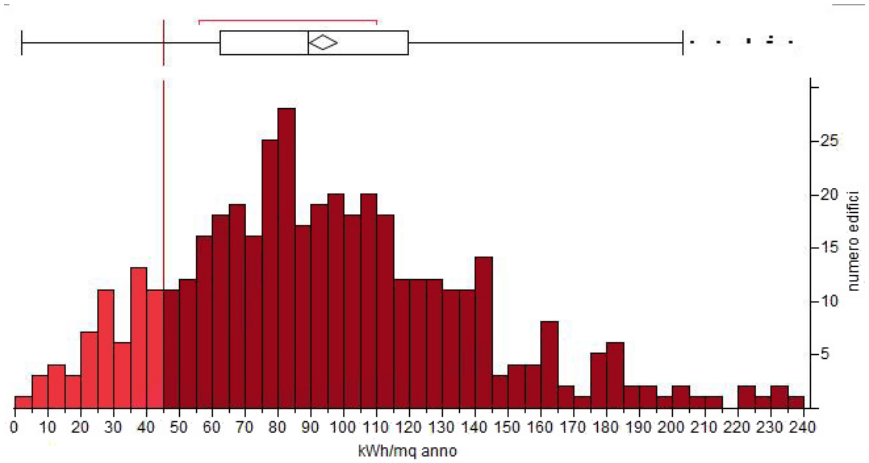


Fig. 124 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo rilevato (edifici con meno di 7 residenti)

L'andamento dei consumi nelle strutture con un numero di abitanti pari al massimo a sei, è stato analizzato definendo nuovi ulteriori sottogruppi di edifici, contraddistinti dalla presenza di uno o più residenti ricadenti in una delle specifiche fasce d'età individuate:

A. almeno un abitante ha tra gli 0 ed i 6 anni
B. almeno un abitante ha tra oltre 65 anni
C. tutti i residenti hanno oltre 65 anni
D. tutti i residenti hanno tra i 31 ed i 65 anni
E. tutti i residenti hanno tra i 7 ed i 65 anni
F. nessun residente ha meno di 7 anni
G. nessun residente ha più di 65 anni

Come visto, le fasce d'età dei residenti sono state identificate in relazione all'ipotesi secondo cui il tempo trascorso in casa possa rappresentare una variabile influente sull'andamento dei consumi. Sulla base di tale supposizione, le tipologie di immobili caratterizzate da una spesa maggiore dovrebbero quindi essere quelle rappresentate dal caso B, gli edifici ove risiede almeno una persona con più di 65 anni, dal caso C, gli edifici dove tutti i residenti hanno oltre 65 anni, nonché dal caso A, gli edifici dove vive almeno un bambino in età prescolare.

L'andamento dei consumi rilevato nei sette sottogruppi definiti, è stato sintetizzato nello schema che segue (Fig. 125).

caso A almeno uno 0 - 6	
media	92.30
mediana	85.5
n. casi osservati	46

caso B almeno uno over 65	
media	93.92
mediana	89.5
n. casi osservati	272

caso C tutti over 65	
media	99.29
mediana	93.5
n. casi osservati	62

caso D tutti 31 - 65	
media	95.93
mediana	93
n. casi osservati	45

caso E tutti 7 - 65	
media	86.4
mediana	88.5
n. casi osservati	40

caso F nessuno 0 - 6	
media	93.79
mediana	89
n. casi osservati	391

caso G nessuno over 65	
media	93.15
mediana	88
n. casi osservati	165

Fig. 125 Valori di consumo medi e mediani per le diverse classi di indagine (edifici con meno di 7 abitanti)

Le ipotesi premesse, sono state parzialmente confermate dalle elaborazioni eseguite. Da un confronto tra i risultati ottenuti per i diversi gruppi, emerge infatti che i consumi mediamente più elevati si riscontrano nel gruppo C, relativo ad edifici abitati esclusivamente da persone con più di 65 anni, mentre i consumi più contenuti si rilevano invece nel gruppo E, relativo ad edifici dove non vivono né bambini in età prescolare né persone in età pensionabile.

Non si riscontra tuttavia una contrazione dei consumi negli edifici dove vivono esclusivamente persone in età lavorativa, il gruppo D, ovvero negli edifici abitati da persone che, nel quotidiano, potrebbero trascorrere un tempo relativamente elevato fuori casa. L'analisi di tale risultato può in tal senso portare a prendere atto del fatto che vi siano fattori governanti l'andamento del fenomeno, capaci di esercitare un peso maggiore rispetto a quello indotto dalla variabile potenzialmente rappresentativa della quantità di tempo durante il quale la casa viene effettivamente occupata. Si potrebbe ragionevolmente supporre che l'ammontare della spesa dedicata al riscaldamento della propria abitazione sia dettata non tanto dalla quantità del tempo di permanenza in casa, quanto dalla qualità del tempo ivi trascorso, a sua volta influenzato dal reddito e dalle condizioni di vita degli utenti.

È stato di seguito analizzato l'andamento dei consumi nella rimanente parte di edifici, ovvero negli immobili con un numero di abitanti maggiore di sei. Si è potuto osservare come il consumo medio aumentasse col crescere del numero dei residenti per edificio: la figura seguente (Fig. 126) è relativa alla distribuzione degli edifici per consumo medio rilevato, nelle situazioni in cui il numero di abitanti è compreso tra 7 e 10 (caso A), tra 11 e 15 (caso B), tra 16 e 30 (caso C) ed infine dove è superiore a 30 (caso D).

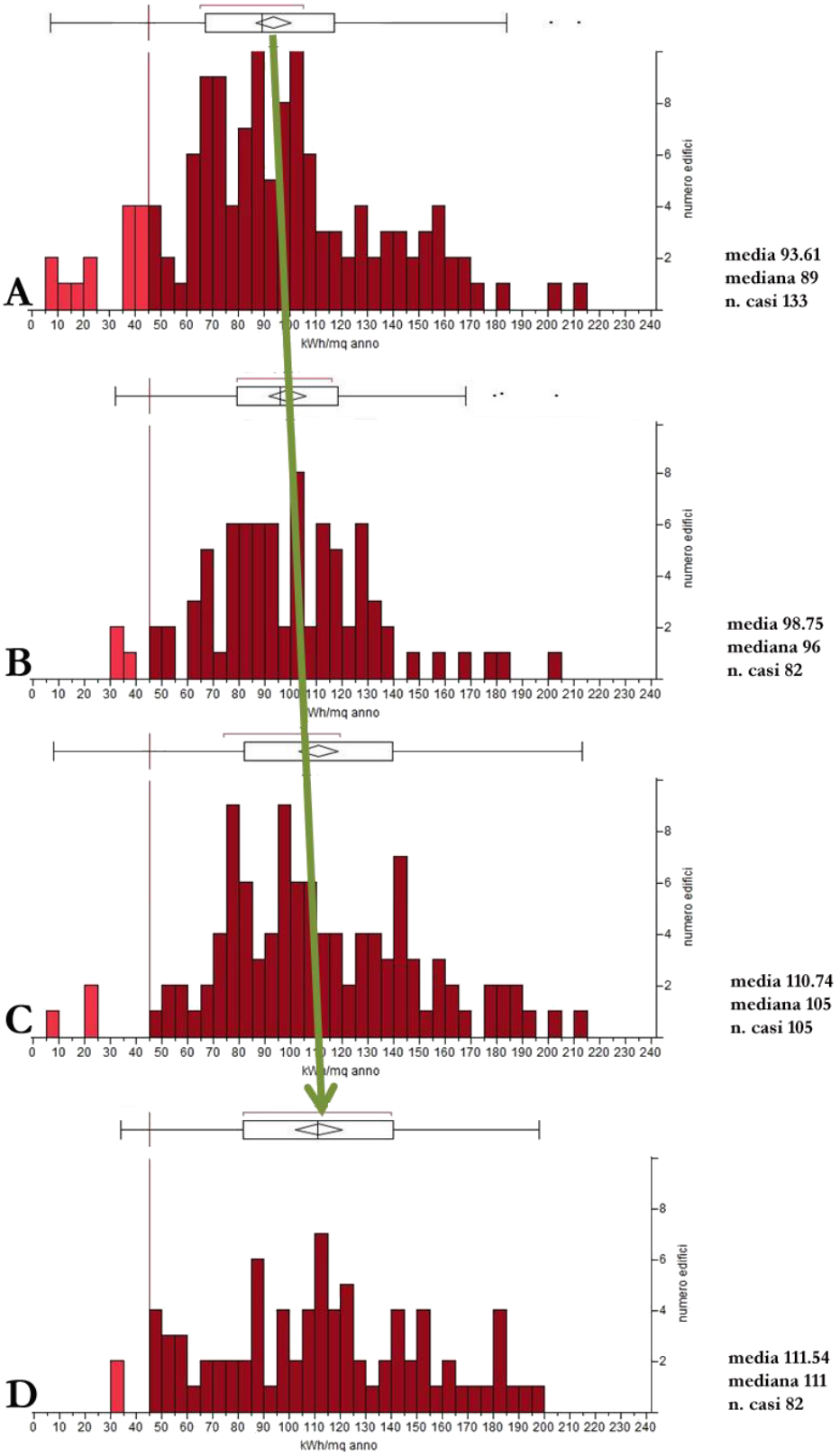


Fig. 126 Distribuzione degli edifici sulla base del consumo rilevato (edifici con più di 7 abitanti)

L'analisi dell'andamento dei consumi in relazione al numero complessivo di residenti ha messo in evidenza consumi minori negli edifici più piccoli: la differenza tra il consumo medio rilevato per gli edifici con meno di 7 abitanti, presumibilmente corrispondenti ad edifici mono/bifamiliari, e quello rilevato nei gruppi di edifici con un numero di abitanti superiore a 16, corrispondenti ad una tipologia edilizia variabile dalla palazzina di qualche livello al condominio di più consistenti dimensioni, è stata calcolata in ben quasi 20 kWh/m^2 anno (93.63 negli edifici con meno di 7 residenti contro oltre 110 nei gruppi con più di 15 abitanti).

Gli esiti ottenuti si sono rivelati alquanto inaspettati. Agli edifici più piccoli sono infatti di norma associati fattori di forma più elevati, caratteristica che li rende in genere meno performanti. È stato quindi verificato il fattore di forma medio proprio di ciascuno dei cinque gruppi definiti ed è stato effettivamente riscontrato come tale valore tendesse a decrescere negli edifici più grandi, ovvero in quelli con un numero di abitanti più elevato (Fig. 127).

n. abitanti < 7		n. abitanti tra7 e 10		n. abitanti tra 11 e 15		n. abitanti tra 16 e 30		n. abitanti >30	
min	0.24	min	0.32	min	0.34	min	0.27	min	0.26
I quartile	0.52	I quartile	0.47	I quartile	0.43	I quartile	0.39	I quartile	0.32
media	0.56	media	0.5	media	0.46	media	0.42	media	0.35
mediana	0.57	mediana	0.51	mediana	0.45	mediana	0.42	media	0.35
III quartile	0.61	III quartile	0.55	III quartile	0.49	III quartile	0.45	III quartile	0.37
max	0.89	max	0.64	max	0.67	max	0.65	max	0.6

Fig. 127 Indicatori di distribuzione dei valori di fattore di forma

Pur con delle geometrie più svantaggiate per la conservazione dell'energia, gli edifici più piccoli sono risultati dunque essere maggiormente efficienti. Il confronto tra i diversi risultati ottenuti indurrebbe a pensare che negli edifici più piccoli, ovvero quelli a cui è associato un minor numero di residenti, sia possibile condurre una gestione più efficace della spesa destinata ad uso riscaldamento rispetto a quanto non accada invece nei fabbricati più grandi. È probabile tuttavia che i risultati ottenuti a riguardo degli edifici in cui il numero degli abitanti è più elevato, siano dovuti anche al fatto che in tali situazioni abitative sia meno frequente l'utilizzo di altri fonti combustibili, in particolar modo di quella di origine legnosa, non considerate ai fini della definizione degli indici di consumo elaborati.

È stato ritenuto utile approfondire l'analisi relativa agli edifici per i quali si sono rilevati i consumi maggiori, ovvero il gruppo di immobili caratterizzati da un numero di abitanti superiore a 15 (casi C e D in Fig. 747), verificando l'epoca di realizzazione degli stessi. L'indagine ha rivelato che la maggior parte di tale insieme di immobili, il 75% è stata realizzata antecedentemente alla legge 373/76 (Fig. 128).

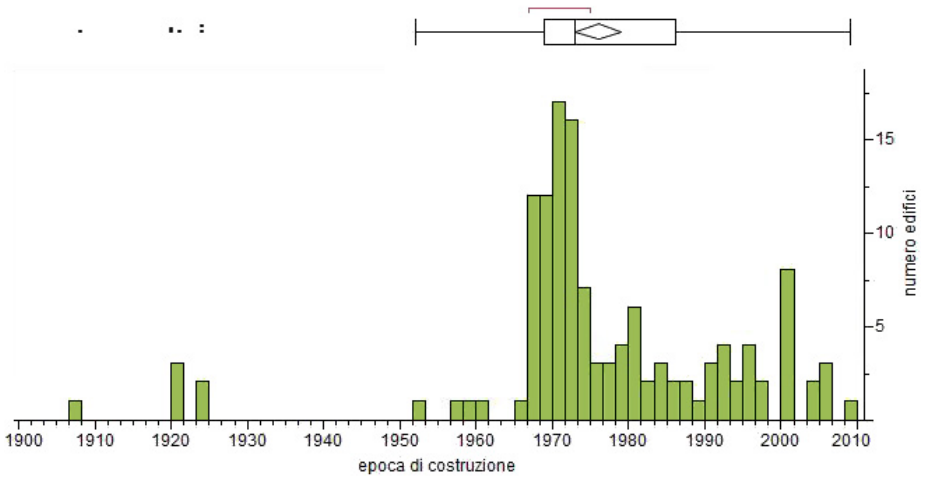


Fig. 128 Distribuzione degli edifici sulla base dell'epoca di costruzione (edifici con più di 15 residenti)

In riferimento al medesimo gruppo di fabbricati (edifici con un numero di abitanti superiore a 15), è stato infine ritenuto interessante verificare l'andamento dei consumi in relazione all'età degli occupanti. In analogia con le precedenti elaborazioni, sono stati pertanto definiti specifici sottogruppi di indagine, comprensivi degli edifici contraddistinti dalla presenza di uno o più abitanti appartenenti alle diverse fasce d'età individuate (Fig. 129).

caso A almeno uno 0 - 6	
media	112.87
mediana	106
n. casi osservati	148

caso B almeno uno over 65	
media	111.03
mediana	109
n. casi osservati	160

caso C tutti over 65	
media	-
mediana	-
n. casi osservati	0

caso D tutti 31 - 65	
media	-
mediana	-
n. casi osservati	0

caso E tutti 7 - 65	
media	96.83
mediana	96.5
n. casi osservati	6

caso F nessuno 0 - 6	
media	104.33
mediana	109
n. casi osservati	39

caso G nessuno over 65	
media	111.44
mediana	101
n. casi osservati	27

Fig. 129 Valori di consumo medi e mediani per le diverse classi di indagine (edifici con più di 15 residenti)

Non è stato possibile compiere dei ragionamenti specifici in merito ai risultati rilevati nei singoli sottogruppi, così come visto invece per le analisi riferite agli edifici con meno di 7 abitanti (v. Fig. 125). Infatti, causa il minor numero dei casi di osservazione disponibili (187 casi contro i precedenti 437), nei sottoraggruppamenti definiti si sono verificate alcune situazioni nelle quali non vi era nessun edificio la cui tipologia di abitanti era coerente con le specifiche del gruppo (casi C, D) nonché situazioni in cui il numero di casi osservati era

decisamente esiguo, dunque potenzialmente capace di falsare i risultati ottenuti dalle analisi (casi E, G).

6.4 Conclusioni e risultati dell'analisi

A conclusione di tale seconda sezione del lavoro, si riportano alcuni grafici rappresentativi della variabilità degli indici di consumo, in relazione a combinazioni specifiche delle variabili precedentemente integrate.

L'immagine che segue (Fig. 130) analizza la distribuzione dei consumi considerando, parallelamente, l'anno di costruzione dell'edificio e l'indicatore rappresentativo della sua compattezza, il fattore di forma. Nel grafico appaiono due aree per le quali si rilevano consumi più elevati. La prima, cerchiata sulla parte sinistra, è relativa ad edifici con fattore di forma medio basso, presumibilmente condomini o palazzine, realizzati nell'intorno degli anni '70. La seconda, sulla destra, comprende invece edifici con fattore di forma più elevato, tendenzialmente edifici mono/bifamiliari, realizzati antecedentemente al 1970.

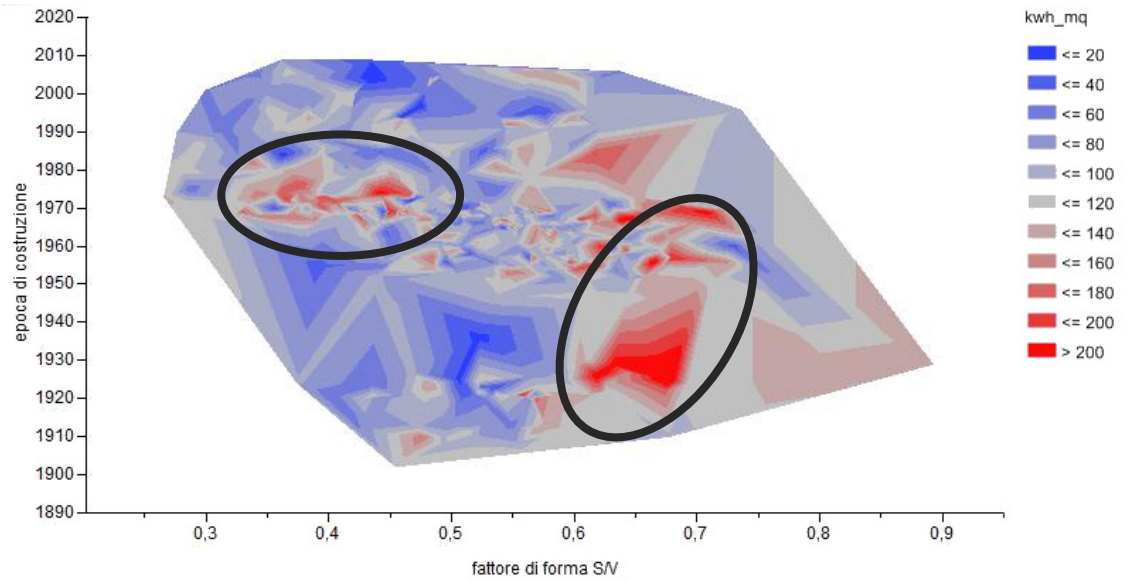


Fig. 130 Grafico isometrico dei valori di consumo in relazione al fattore di forma e all'anno di costruzione dell'edificio

Il secondo grafico (Fig. 131) combina le variabili relative all'epoca di costruzione e al numero dei residenti per edificio. Anche in questo caso è possibile individuare due comparti principali per i quali si rilevano consumi più elevati: l'uno relativo agli edifici realizzati all'intorno del 1970 nei quali risiedono almeno una ventina di persone, l'altro relativo invece ad edifici più piccoli, con un numero di residenti inferiore, realizzati antecedentemente al 1930.

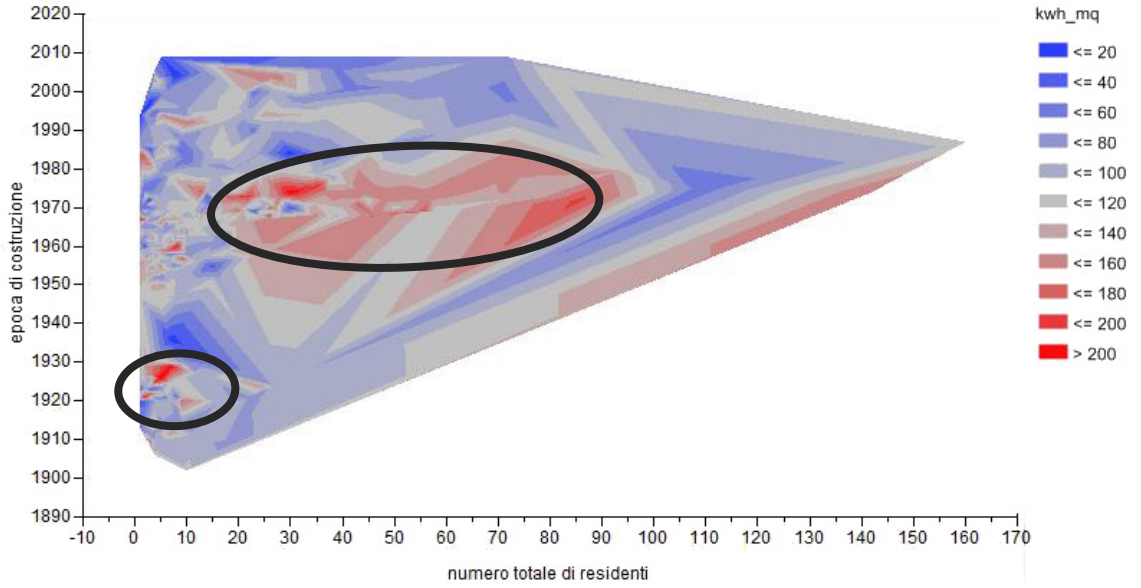


Fig. 131 Grafico isometrico dei valori di consumo in relazione al numero di residenti ed all'anno di costruzione dell'edificio

L'ultima combinazione considera infine numero di residenti e fattore di forma (Fig. 132) e rileva consumi tendenzialmente maggiori sia negli edifici con rapporti di forma più elevati, sia in quelli dove i residenti sono più numerosi.

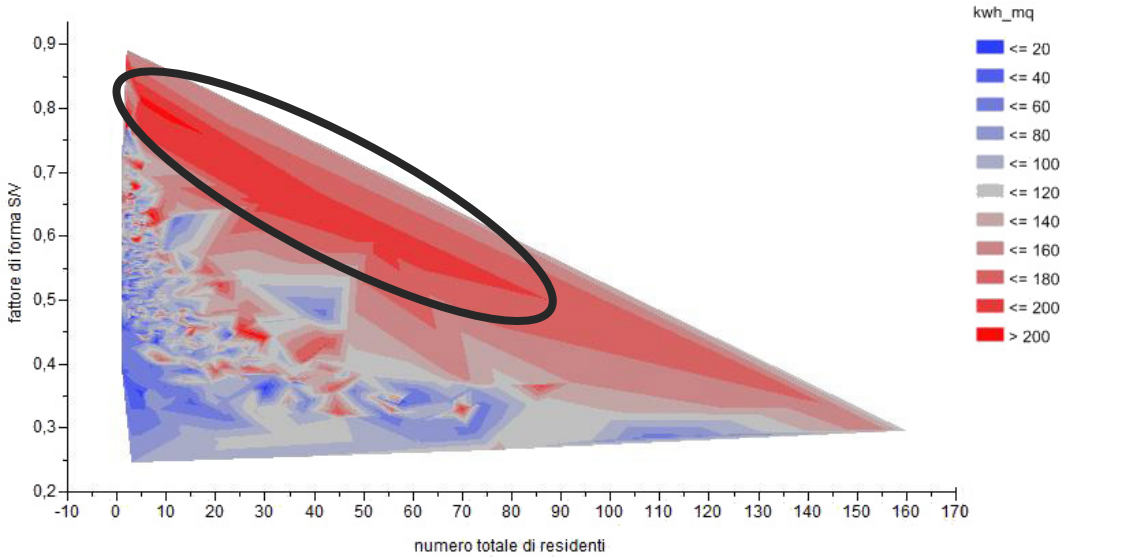


Fig. 132 Grafico isometrico dei valori di consumo in relazione al numero di residenti ed al fattore di forma dell'edificio

Bibliografia e Sitografia

Istat (2010), *Distribuzione del reddito e condizioni di vita in Italia. Anni 2008-2009*, Statistiche in breve, Roma

Istat (2001), *La rilevazione degli edifici*, Istruzioni per il rilevatore - 14 Censimento generale della popolazione e delle abitazioni, pp. 53 - 62

Gargiulo G., Minucci F., Mutani G. (2009), *Analisi energetica e le ricadute sulla pianificazione urbanistica*, in *La Termotecnica*, pp. 57-61, Marzo/2009

Rogora A. (2005), *La progettazione preliminare dell'edificio*, in AA.VV. *Progettazione Ecompatibile dell'Architettura: concetti, metodi, strumenti di analisi e valutazioni*, pp. 337 - 354, Esselibri editore, Napoli

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380 *Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia - Titolo III Agibilità degli edifici*, (G.U. n. 245, del 20/10/2001)

http://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/compattezza-forma-edifici-rapporto-s-v.html

www.comune.trento.it/Aree-tematiche/Cartografia

www.progettiamoinsieme.it/pages/normativa.asp#

PARTE 3 – RIFLESSIONI E SVILUPPI

7 CONCLUSIONI

Le caratteristiche del patrimonio edilizio rientrano in prima fila tra le numerose variabili dalle quali dipendono i consumi energetici ed i livelli di emissione di CO_2 rilevati alla scala locale. Differentemente da altri fattori influenti su tali fenomeni, come il sistema dei mezzi di trasporto o l'atteggiamento dei cittadini nei confronti delle problematiche ambientali, i cui eventuali aspetti critici sono potenzialmente correggibili nel breve periodo, il miglioramento degli standard di prestazione energetica degli edifici presuppone di norma tempistiche lunghe.

La pianificazione energetica urbana può essere uno strumento chiave per sostenere le opere di ristrutturazione e di riqualificazione energetica degli edifici. L'indagine svolta si è posta in tal senso lo scopo di descrivere il punto *dove siamo*, elaborando una rappresentazione della porzione di città indagata in termini di utilizzi e caratteristiche energetiche degli edifici, con la finalità di costruire una base conoscitiva avente funzione di starter per la realizzazione di analisi successive e per la programmazione di azioni di intervento da svilupparsi nel contesto locale.

Le indagini elaborate non devono ovviamente considerarsi quali un documento rigido e vincolante bensì come uno strumento flessibile, da aggiornarsi ogni qual volta si dispone di una maggiore e più esaustiva banca dati.

7.1 Trasferibilità dell'indagine

Al fine di analizzare i limiti di applicazione del modello in termini di riproducibilità delle operazioni compiute, ciascuna delle risorse informative adottate è stata caratterizzata in relazione alla facilità di acquisizione della pertinente banca dati nonché in relazione alla qualità dei dati resisi disponibili.

È stata definita una classificazione semplificata che propone, rispettivamente, tre livelli di accessibilità e di utilità della risorsa (Tab. 19).

È significativo a tal proposito osservare come le difficoltà spesso riscontrate in fase di acquisizione delle banche dati utilizzate, nonché i tempi di attesa mediamente lunghi occorsi per il loro rilascio, sarebbero di certo notevolmente ridotti qualora il soggetto preposto all'indagine fosse parte della struttura stessa titolare del dato. L'elaborazione di un'indagine quale quella compiuta nella presente tesi, risulterebbe in altre parole essere facilitata, in riferimento a talune operazioni preposte al suo svolgimento, qualora condotta dallo stesso ente locale che andrà poi ad usufruire del quadro conoscitivo definito.

RISORSA INFORMATIVA	TITOLARE	ACCESSIBILITÀ	UTILITÀ
cartografia tecnica numerica comunale	Comune di Trento	●●●	●● non aggiornato
ortofoto comune di Trento	Comune di Trento	●●●	●●●
cartografia tecnica numerica catastale	Provincia autonoma di Trento (Servizio Catasto)	●● a disposizione gratuita di utenti determinati	●● aggiornato ma incompleto (non presente il dato di altezza degli edifici)
archivio dati metrici catastali	Provincia autonoma di Trento (Servizio Catasto)	●● a disposizione gratuita di utenti determinati	●● incompleto (per la parte di unità classate A00)
archivio consumi	società di distribuzione (Trenta spa)	●● rilascio a discrezione del titolare	●●●
archivio dati censimento ISTAT	ISTAT	●● a disposizione gratuita di utenti determinati	● dato aggregato non utilizzabile
archivio concessioni edilizie archivio dichiarazioni di agibilità	Comune di Trento	●● rilascio a discrezione del titolare	●●●
archivio anagrafe	Comune di Trento	●● rilascio a discrezione del titolare	●● aggregato per fascia d'età

COLONNA ACCESSIBILITÀ

●●● dato liberamente acquisibile

rilascio del dato a discrezione del soggetto titolare

●● a disposizione in forma gratuita esclusivamente per categorie di utenti specifiche (enti pubblici, istituti di ricerca, …)

a disposizione esclusiva di categoria di utenti specifiche (enti pubblici, istituti di ricerca, …)

● dato non acquisibile poiché coperto da privacy

COLONNA UTILITÀ

●●● dato aggiornato, completo e disaggregato ad un livello coerente con quello dell'indagine

●● dato non aggiornato, incompleto o aggregato ma comunque utile ai fini dell'indagine

● dato non aggiornato, incompleto o aggregato non utilizzabile ai fini dell'indagine

Tab. 19 Accessibilità ed utilità delle risorse informative contemplate nell'indagine

7.2 Scenari di possibile intervento

Il paragrafo conclude la tesi individuando dei suggerimenti relativi alle potenziali politiche di intervento applicabili alla scala locale, al fine di migliorare gli standard energetici del corpo edilizio esistente.

In linea generale, per promuovere una diminuzione dei consumi energetici connessi al contesto edile locale, le politiche urbanistiche non si dovrebbero limitare alla previsione di livelli prestazionali minimi, seppur rigorosi, da rispettarsi in sede di nuova edificazione o di ristrutturazione dell'esistente bensì dovrebbero essere concepite in maniera tale da riuscire ad incentivare e spronare il raggiungimento volontario di standard di efficienza più elevati. A tale scopo, è innanzitutto indispensabile garantire che la regolamentazione tecnico urbanistica adottata dagli enti locali sia effettivamente compatibile con l'obiettivo finale di risparmio energetico. A titolo d'esempio, nessuno sarà incentivato ad aumentare la coibentazione del proprio edificio fintantoché dovrà barattare lo spessore del maggior isolamento con del volume edificabile mentre viceversa, l'esecuzione di opere di riqualificazione potrà invece essere facilitata qualora sussistano meccanismi di scomputo degli elementi costruttivi finalizzati al miglioramento delle prestazioni o qualora siano concessi incrementi volumetrici per gli edifici caratterizzati da una qualità superiore a quella minima obbligatoria.

Le amministrazioni dovrebbero dunque promuovere, o quanto meno non ostacolare, interventi atti ad una riduzione del fabbisogno energetico degli edifici, il quale come visto si collega ad un numero significativo di parametri che riguardano, insieme alle condizioni climatiche ed alle peculiarità della struttura urbana contingente, aspetti relativi alla progettazione ed all'utilizzo dell'immobile, quali la geometria del fabbricato, l'isolamento delle strutture perimetrali, i rendimenti dei sistemi impiantistici, le abitudini d'uso. I programmi di azione diretti ad una riduzione dei consumi dovrebbero in tal senso prevedere un miglioramento delle caratteristiche dei predetti fattori, ritenuti maggiormente influenti sulla spesa energetica dell'immobile.

Tra le possibili politiche, strutturali e non, da svilupparsi a scala urbana ai fini della promozione e del raggiungimento di più elevati standard energetici nello stock edilizio esistente, possono pertanto prevedersi, fra le altre, le seguenti le seguenti linee di intervento:

- *concessione di incrementi volumetrici volti al miglioramento dell'efficienza dell'involucro*: come detto, gli interventi sulle strutture perimetrali potranno essere favoriti prevedendo incentivi volumetrici qualora le opere eseguite consentano il raggiungimento di prestazioni elevate;
- *concessione di incrementi volumetrici volti a favorire la densità edilizia*: analogamente a quanto descritto nel precedente punto, può essere prevista la possibilità di superare la volumetria massima consentita in ragione del conseguimento di una

maggiore compattezza delle strutture provvedendo, ad esempio, alla realizzazione di verande, serre solari, giardini d'inverno o alla chiusura di balconi esposti a nord o di corti e volumi interni;

- *concessione di incentivi finanziari e prestiti:* ove possibile, i sistemi locali potrebbero complementare i meccanismi di sostegno finanziario esistenti a livello nazionale, supportando parte delle spese determinate dalla differenza di costo prevista per la realizzazione di opere di ristrutturazione ad alta efficienza ed i costi di costruzione standard;
- *supporto tecnico alla programmazione degli interventi:* è auspicabile, soprattutto nell'ambito di ristrutturazioni rilevanti, definire uno specifico programma di azione che consenta di pianificare gli investimenti nella maniera più adeguata (ad esempio, è opportuno che siano previsti dapprima interventi sull'involucro per ridurre la domanda di calore e successivamente interventi sugli impianti, in caso contrario, le dimensioni del sistema di riscaldamento potrebbero infatti rivelarsi a posteriori inadeguate);
- *realizzazione di campagne di informazione volte a migliorare la gestione degli edifici ed i comportamenti degli utenti*: risparmi considerevoli possono essere ottenuti intervenendo sulle modalità di funzionamento degli impianti tecnici e sull'adeguamento dei medesimi alle reali esigenze del proprietario nonché promuovendo comportamenti più corretti degli occupanti ovvero assicurando che gli utenti dell'edificio siano consapevoli di come gestire correttamente l'utilizzo degli impianti, preservando alti livelli di comfort ma riducendo i consumi di energia.

Alla luce dei risultati ottenuti per mezzo delle analisi sviluppate, è possibile riconoscere segmenti distinti delle tipologie edilizie esistenti sul territorio, per ciascuna delle quali possono evidenziarsi, tra le linee di intervento sovra riportate, azioni più o meno significative ai fini di una qualificazione energetica. Nella fattispecie, gli edifici sui quali è stata condotta l'indagine sono contraddistinguibili, ai fini della ricognizione della linea di intervento più favorevole, in relazione a caratteristiche relative alla probabile qualità delle strutture e degli impianti (sulla base dell'anno di edificazione e della realizzazione di interventi successivi), alla compattezza volumetrica (fattore di forma) ed al numero e all'età degli occupanti.

Lo schema di seguito proposto, dove si individuano gli interventi ritenuti più significativi per ciascuna delle tipologie edilizie caratterizzate a seguito dell'analisi (Tab. 20), può adottarsi quale punto di partenza per la definizione di ragionamenti successivi, volti a definire interventi puntuali, specifici per il singolo edificio. Si rafforza in tal senso il legame tra pianificazione energetica ed urbanistica, ad oggi reso più debole dalla prevalente aggregazione territoriale dei dati conoscitivi a supporto del monitoraggio delle prestazioni

energetiche degli edifici e della programmazione di interventi finalizzati al loro miglioramento.

Come anticipato nel momento di introduzione della metodologia di indagine proposta, la divulgazione degli esiti dell'indagine e delle potenziali linee di intervento definite rappresenta un passaggio di estrema rilevanza al fine dell'ottenimento di una riduzione dei consumi. È fondamentale, in altre parole, che la base conoscitiva generata possa essere condivisa tra tutti gli stakeholder interessati alle attività di riqualificazione del patrimonio edilizio: cittadini, imprese di costruzione, utilities e progettisti.

tipologia edilizia		incrementi volumetrici ed incentivi finanziari ISOLAMENTO STRUTTURE	incentivi finanziari SOSTITUZIONE INFISSI	incentivi finanziari SOSTITUZIONE GENERATORI DI CALORE	incentivi finanziari CONVERSIONE IMP. AUTONOMI IN CENTRALIZZATI CON CONTABILIZZAZIONE CALORE	incrementi volumetrici AUMENTO COMPATTEZZA EDIFICIO	CAMPAGNE DI FORMAZIONE
anno di edificazione	ante 76	●●●	●●●	●●●			●●●
	77 - 91	●●	●●	●●			●●●
	92 - 2005	●	●	●			●●●
	post 2005						●●
fattore di forma (S/V)	FF < 0.3	●				●	
	0.3 < FF <0.6	●●				●●	
	FF > 0.6	●●●				●●●	
totale residenti	tot < 6					●●	●●
	6 < tot < 15				●●	●	●●
	tot > 15				●●●	●	●●●
gruppi di età prevalenti	> 65	●●	●●	●●			●●●
	7 - 65	●	●	●			●●
	< 6	●●	●●	●●			●●

●●● di forte interesse
●● di medio interesse
● di probabile interesse

Tab. 20 Linee di intervento per tipologie edilizie specifiche

Bibliografia e Sitografia

Benericetti M., Nonni E. (2000), *Faenza PRG 2000. I principi e le scelte urbanistiche*, edizione Comune di Faenza

Bertoldi P., Bornas Cayuela D., Monni S., de Raveschoot R.P. (2010), *Linee Guida "Come sviluppare un piano d'azione per l'energia sostenibile - PAES"*, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo

Carlino G., Aita S., Stelzer G. (1994), *Implicazione bioclimatiche nei piani urbanistici: le esperienze di Cavalese e Rovereto*, Atti del Convegno *Energie rinnovabili: architettura e territorio*, Roma

Glossario

AGENZIA INTERNAZIONALE DELL'ENERGIA (IEA): organizzazione autonoma costituita nel 1974 nell'ambito dell'OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) per realizzare l'International Energy Program (IEP), un accordo tra gli Stati Uniti ed i paesi grandi consumatori di petrolio (Bruxelles, settembre 1974), dopo la decisione unilaterale dell'OPEC di aumentare notevolmente il prezzo del greggio. Tra i compiti dell'IEA rientrano la cooperazione al fine di ridurre la dipendenza eccessiva dal petrolio favorendo lo sviluppo di fonti energetiche alternative e la cooperazione con i paesi produttori e consumatori di petrolio allo scopo di creare un commercio stabile dell'energia ed una sua migliore utilizzazione nel mondo.

ANIDRIDE CARBONICA (CO_2): gas incolore ed inodore naturalmente presente nell'atmosfera terrestre. È un prodotto finale di quasi tutti i processi di combustione ed è uno dei principali gas serra responsabili del riscaldamento globale terrestre.

ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA: documento redatto da un soggetto certificatore riconosciuto, attestante la prestazione energetica dell'edificio ed eventualmente alcuni parametri energetici caratteristici dello stesso.

DIAGNOSI ENERGETICA DI UN EDIFICIO: procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio e ad individuarne e quantificarne le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici.

FONTE DI ENERGIA PRIMARIA: fonte di energia presente in natura non derivante dalla trasformazione di nessun'altra forma di energia. Rientrano in questa classificazione sia le fonti rinnovabili (quali ad esempio l'energia solare, eolica, idroelettrica, geotermica, l'energia delle biomasse) che le fonti esauribili, come i combustibili direttamente utilizzabili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone) o l'energia nucleare. Si differenzia dalle fonti di energia secondaria in quanto queste ultime possono essere utilizzate solo a valle di una trasformazione (come la benzina, a valle di una raffinazione chimica).

GAS NATURALE: gas prodotto dalla decomposizione anaerobica di materiale organico. In natura è presente allo stato fossile, insieme al petrolio, al carbone o da solo in giacimenti di gas naturale. Viene inoltre prodotto dai processi di decomposizione correnti (nelle paludi, nelle discariche, durante la digestione negli animali e in altri processi naturali) e liberato nell'atmosfera dall'attività vulcanica. Il gas naturale è spesso denominato metano, anche se in realtà è composto da metano e da altri gas.

GAS SERRA: gas "trasparente" allo spettro delle radiazioni solari e "opaco" allo spettro delle radiazioni infrarosse proprie della Terra. Questa proprietà, simile a quella dei vetri e dei fogli di plastica delle serre, da cui il nome, porta ad una temperatura della superficie terrestre sensibilmente superiore di quanto non risulterebbe dal semplice equilibrio termico.

I principali gas serra sono l'anidride carbonica, il metano, i clorofluorocarburi, il protossido d'azoto e l'ozono.

GRADIGIORNO: unità di misura indicativa del fabbisogno termico caratterizzante una determinata area geografica. I gradigiorno di una località rappresentano la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente interno, convenzionalmente fissata a 20°C e la temperatura media esterna giornaliera.

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA DELL'EDIFICIO (EP) GLOBALE: esprime il consumo di energia primaria necessario ad un uso standard dell'edificio riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo ed espresso, rispettivamente, in kWh/m^2 anno o kWh/m^3 anno.

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA DELL'EDIFICIO (EP) PARZIALE: esprime il consumo di energia primaria necessario ad un determinato uso energetico dell'edificio (ad esempio alla climatizzazione invernale) riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo ed espresso, rispettivamente, in kWh/m^2 anno o kWh/m^3 anno.

IPCC: organismo scientifico consultivo istituito nel 1988 dalla WMO (World Metereological Organization) e dall'UNEP (United Nations Environment Programme) con il mandato di valutare le informazioni scientifiche disponibili sui cambiamenti climatici, esaminare gli impatti sociali ed economici delle modificazioni del clima e proporre strategie per prevenire e controllare i cambiamenti climatici.

METANO: gas incolore, inodore, non tossico, che brucia all'aria con fiamma bluastra; è costituito da un atomo di carbonio e quattro di idrogeno (CH_4). Il metano è il principale componente del gas naturale.

PPB (PARTI PER MILIARDO): misura della concentrazione di una sostanza estranea in un liquido o nell'aria.

PPM (PARTI PER MILIONE): misura della concentrazione di una sostanza estranea in un liquido o nell'aria.

PRESTAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO: quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici e sanitari, la ventilazione e l'illuminazione.

RENDIMENTO ENERGETICO: rapporto tra l'energia ottenuta in forma utile rispetto a quella utilizzata. Il rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico è dato dal rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale e

l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari, calcolato in riferimento al periodo annuale di esercizio.

TEP (TONNELLATE EQUIVALENTI DI PETROLIO): unità convenzionale di misura delle fonti energetiche, pari all'energia ottenuta dalla combustione di una tonnellata di petrolio greggio. L'Agenzia Internazionale dell'Energia definisce il tep equivalente a 41.86 GJ o 11.63 MWh.

TRASMITTANZA TERMICA: flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad un grado K. È legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati. Si misura in W/m^2K.

Tratto da:

www.altoadige-suedtirol.it/guide/energia/glossario.php

www.eniscuola.net/it/glossario/

www.gruppohera.it/gruppo/hera_ondemand/glossario/

www.torinoenergiambiente.com/index.php?opt=glossario&lingua=I

Bibliografia e Sitografia (riepilogo)

Bazzini G., Cellai G., Gai M. (2007), *Le prestazioni energetiche degli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN)

Bellicini L. per CRESME ricerche, *Le costruzioni al 2010*, Centro Ricerche Economiche e Sociali di Mercato per l'Edilizia e il territorio, Roma

Bellicini L., Ingersoll R. (2001), *Periferia italiana*, Meltemi Editore, Roma

Benedetti C., Tani I. (2010), *Modelli GIS per la costruzione di quadri di conoscenza delle caratteristiche energetiche del parco immobiliare locale,* Atti della sesta Conferenza Nazionale in *Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale*, Potenza

Benericetti M., Nonni E. (2000), *Faenza PRG 2000. I principi e le scelte urbanistiche*, edizione Comune di Faenza

Bonafè G. (2006), *Microclima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione,* Servizio Idro-Meteorologico Arpa Emilia Romagna

Bertoldi P., Bornas Cayuela D., Monni S., de Raveschoot R.P. (2010), *Linee Guida "Come sviluppare un piano d'azione per l'energia sostenibile - PAES"*, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo

Cannaviello M., Violano A. (2007), *La certificazione energetica degli edifici esistenti : leggi e norme di riferimento, metodologie, strumenti e modelli di calcolo, casi esemplificativi*, Franco Angeli Editore, Milano

Carlino G., Aita S., Stelzer G. (1994), *Implicazione bioclimatiche nei piani urbanistici: le esperienze di Cavalese e Rovereto*, Atti del Convegno *Energie rinnovabili: architettura e territorio*, Roma

Castiglione C. (2008), *Il Blower door Test* in *Casa Energia*, n. 2, pp. 114 - 115

Censis (1984), *Lo shock edilizio. Dal grande boom agli anni della crisi*, Franco Angeli Editore, Milano

Cerasoli M. (2008), *Periferie urbane degradate,* Paper Cittalia redatto nell'ambito del *Piano di accompagnamento alle regioni del Mezzogiorno per il rafforzamento della capacità amministrativa in preparazione della nuova politica per la competitività, lo sviluppo e la coesione (2007-2013)*

Comune di Trento, Ambiente Italia srl (2004), *Il percorso partecipato,* in *Trento per Kyōto - Piano di azione energetico partecipato*

Corso per certificatori energetici della Provincia Autonoma di Trento (2011), *Materiale didattico*

CRESME Ricerche, Legambiente (2010), *Rapporto ONRE sui regolamenti edilizi comunali*

CTI (2001), *Attuazione della certificazione energetica degli edifici in Italia. Rapporto 2001*, Primo Forum nazionale sulla certificazione energetica

De Matteis M. (2011), *Qualità dell'abitare nello spazio collettivo. Rigenerare la periferia attraverso nuove configurazioni, densità, sostenibilità,* Atti della XIV Conferenza SIU, Torino

De Pascali P. (2001), *Energia microclima e forma urbana*, in *Gestione Energia,* n. 3, pp. 5-11

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

Donghi C. (2009), *La classificazione energetica degli edifici: le modalità, la strumentazione e il ruolo del certificatore* in *Il giornale delle Prove non distruttive Monitoraggio Diagnostica*, n. 1, pp. 20 - 26

Enea, CRESME ricerche (2010), *Analisi sull'impatto socio economico delle detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2007), *Rapporto Energia e Ambiente 2006. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2008), *Rapporto Energia e Ambiente 2007. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2009), *Rapporto Energia e Ambiente 2008. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

Enea (2010), *Rapporto Energia e Ambiente 2009. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

FLIR QuikReport (2009), *Manuale dell'utente*

Gargiulo G., Minucci F., Mutani G. (2009), *Analisi energetica e le ricadute sulla pianificazione urbanistica*, in *La Termotecnica*, pp. 57-61, Marzo/2009

Gaudioso D., Pignatelli R. (2004), *La pianificazione energetico-ambientale a livello locale nelle principali città italiane,* APAT

IPCC (2007), *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing,* in *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge UK and New York USA

Istat (2001), *14° Censimento della popolazione e delle abitazioni*

Istat (2001), *La rilevazione degli edifici*, Istruzioni per il rilevatore - 14 Censimento generale della popolazione e delle abitazioni, pp. 53 - 62

Istat (2010), *L'abitazione delle famiglie residenti in Italia. Anno 2008*, Statistiche in breve, Roma

Istat (2010), *Indicatori ambientali urbani. Anno 2009,* Comunicato Stampa, Roma

Istat (2010), *Distribuzione del reddito e condizioni di vita in Italia. Anni 2008-2009*, Statistiche in breve, Roma

Istituto di Ricerche Ambiente Italia (1997), *Il Piano Energetico Ambientale Comunale - Linee metodologiche in applicazione della legge 10/91 Articolo 5 Comma 5,* Edizioni Ambiente srl, Milano

Kandel R. (2004), *Il riscaldamento climatico*, Asterios Editore, Trieste

Legambiente (2011), *Clima in comune 2011*, Rapporto Legambiente, Milano

Legautonomie (2009), *Indagine Legautonomie sulle politiche energetiche dei comuni. Il Piano Energetico*, Legautonomie, Roma

Lanteschner N. (2007), *CasaClima. Vivere nel più*, Raetia Edition, Bolzano

Lanteschner N. Bancher M., Erlacher R., Klammsteiner N. (2009), *La mia CasaClima. Progettare,costruire, e abitare nel segno della sostenibilità,* Raetia Edition, Bolzano

Legambiente & Ricerche Ambiente Italia (2010), *CittàClima 2010. La città alla sfida dei cambiamenti climatici. Il ruolo dei Comuni verso gli obiettivi europei al 2020 e gli impegni del patto dei sindaci*, Legambiente, Milano

Lepore M. (2004) *Progettazione bioclimatica in ambito urbano,* Aracne Editrice, Roma

Mercalli L. (2009), *Che tempo che farà*, Rizzoli Editore, Milano

Norma UNI/TS 11300-1 *Prestazioni energetiche degli edifici - parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*

Norma UNI/TS 11300-1 *Prestazioni energetiche degli edifici - parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*

Oke T. R. (2004), *Initial Guidance to obtain representative metereological observation at urban sites*, WMO Ginevra

Ökoinstitute Südtirol (2007), *Comune di Laives. Rapporto energetico 2005 e 2006 e confronti con il 1996,* Ecoistituto Alto Adige, Bolzano

Pasini A. (2003), *I cambiamenti climatici. Metodologia e clima simulato*, Bruno Mondadori Editori, Milano

Peron F., Romagnoni P., Vio M. (2004), *Elementi di fisica tecnica ambientale*, CEDAM, Padova

Rizzo G. (2009), *L'energia, aspetti globali e ricadute territoriali*, FORUM *Scenari e prospettive dell'economie nella provincia di Salerno*, Salerno

Rodrighiero M. Nickerson J. (2011), *Natura delle periferie contemporanee*
http://www.sra.it/essays3.php

Rogora A. (2005), *La progettazione preliminare dell'edificio*, in AA.VV. *Progettazione Ecompatibile dell'Architettura: concetti, metodi, strumenti di analisi e valutazioni*, pp. 337 - 354, Esselibri editore, Napoli

Settis S. (2010), *Paesaggio Costituzione Cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi editore, Torino

Tani I., Gardi C. (2008), *Applicazioni GIS per la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici a scala territoriale*, in *Ambiente territorio: cultura dell'ambiente e scienza del territorio,* n. 2(4), pp. 44-47

Tonelli R., Albatici A. (2007), *Verifica sperimentale in situ, con analisi termografiche e algoritmi di calcolo, della trasmittanza di un elemento costruttivo*, Annali Museo Civico Rovereto (TN)

Urbani P. (2010), *L'edilizia residenziale pubblica, tra Stato ed Autonomie locali*, Atti del Convegno *Diritti fondamentali e politiche UE dopo Lisbona*, Pescara

Università IUAV di Venezia, Master di II Livello in SIT&TLR (2010), *Project Work Ambiente Energia: GIS per la valutazione a larga scala dell'efficienza energetica degli edifici*
www.ricercasit.it/masterii/Content.aspx?page=121

Università IUAV di Venezia, Dottorato di ricerca in NT&ITA (2010), *Progetto Energy Web Feltre*
http://www.ricercasit.it/energywebfeltre/EnergyWebFeltreDef.pdf

Vedana C. (2006), *Dossier Città e sviluppo urbano*, redatto nell'ambito del *Programma Enpowerement delle Amministrazioni Pubbliche del Mezzogiorno*

WWF Italia (2009), *2009 l'anno del cemento. Dossier sul consumo del suolo in Italia*, WWF Italia, Roma

Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 *sul rendimento energetico nell'edilizia* (G.U. delle Comunità europee del 04/01/2003)

Direttiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 aprile 2006 *concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici* (G.U. dell'Unione Europea del 27/04/2006)

Direttiva 2009/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009, *sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili* (G.U. dell'Unione Europea del 05/06/2009)

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 *sul rendimento energetico nell'edilizia (rifusione)* (G.U. dell'Unione Europea del 18/06/2010)

Commissione delle Comunità Europee, Comunicazione della Commissione del 19 ottobre 2006, *Piano d'Azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità*, COM(2006)545

Commissione delle Comunità Europee, Comunicazione della Commissione al Consiglio Europeo e al Parlamento Europeo del 10 gennaio 2007, *Una politica Energetica per l'Europa,* COM(2007)1

Risoluzione del Parlamento europeo su un *Piano d'Azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità* del 31 gennaio 2008 (G.U. delle Comunità Europee del 21/03/2009)

Legge ordinaria del Parlamento 30 aprile 1976, n. 373 *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici* (G.U. n. 148 del 07/06/1976)

Legge ordinaria del Parlamento 9 gennaio 1991, 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* (G.U. n. 13 del 16/01/1991)

Decreto del Presidente della Repubblica 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 Legge 9 gennaio 1991, n. 10* (G.U. n. 242 del 14/10/1993)

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380 *Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia - Titolo III Agibilità degli edifici*, (G.U. n. 245, del 20/10/2001)

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 *Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia* (G.U. n. 222 del 23/09/2005)

Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192* (G.U. n. 26 del 01/02/2007)

Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b) del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192* (G.U. n. 132 del 10/06/2009)

Decreto Ministeriale 26 giugno 2009 *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici* (G.U. n. 158 del 10/07/2009)

Ministero dello sviluppo economico (2007), *Piano d'Azione Italiano per l'Efficienza Energetica. Sintesi*

Dipartimento per l'Energia, Ministero dello Sviluppo Economico, *Bilancio energetico nazionale 2009*

Comune di Bologna - Settore Ambiente e Verde Urbano (1999), *Programma Energetico del Comune di Bologna*
http://www.comune.bologna.it/ambiente/servizi/6:5121/5389/

Comune di Brescia - Settore Urbanistica (2002), *Piano Energetico Comunale*
http://www.comune.brescia.it/NR/rdonlyres/71EC6276-BA5D-4E68-941D-D3F31F708489/0/pianoenergetico.pdf

Comune di Forlì - Servizio Pianificazione e Programmazione del Territorio (2008), *Piano Energetico Ambientale Comunale*
http://ambiente.comune.forli.fc.it/public/cms_page_media/33/sintesi_allegato%20B_784_7990.pdf

Comune di Milano (2004), *Piano Energetico Ambientale Comunale*

Comune di Modena - Settore Ambiente (2007), *Piano Energetico Comunale*
http://www.comune.modena.it/ilclimadellecitta/documenti/case7

Comune di Padova - Servizio Ambiente (1999), *Piano Energetico Comunale*
http://www.padovanet.it/allegati/C_1_Allegati_1040_Allegato.pdf

Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Perugia (2005), *Piano Energetico e Ambientale del Comune di Perugia*
http://www.comune.perugia.it/resources/importazione/docs/Peac_relazione_sintesi.pdf

Comune di Piacenza, Servizio Ambiente (2008), *Piano Energetico Comunale*
http://web2.comune.piacenza.it/ambiente/energia/documenti-e-immagini/pec/view

Comune di Potenza (1996), *Piano Energetico Ambientale del Comune di Potenza*
http://www.comune.potenza.it/multimediali/Documenti/Aree_Tematiche/ambiente/Progetti/83.pdf

Ambiente Italia srl (2007), *Piano Energetico e Ambientale del Comune di Ravenna*
http://www.comune.ra.it/Aree-Tematiche/Ambiente-Territorio-e-Mobilita/Ambiente-e-Sostenibilita/Energia/Piano-Energetico-Comunale

Comune di Trento - Servizio Ambiente, Ambiente Italia srl (2000), *Piano Energetico e Ambientale del Comune di Trento*
http://www.comune.trento.it/Aree-tematiche/Ambiente-e-territorio/Risparmio-energetico/Piano-energetico-comunale-TrentoxKyoto

Ecuba srl (2009), *Piano Energetico del Comune di Udine*
http://www.comune.udine.it/opencms/opencms/release/ComuneUdine/progetti/territorio/cyber_display/allegati/Bilancio_Energetico_Comune_Udine.pdf

Agenzia Veneziana per l'Energia (2003), *Piano Energetico Comunale*
http://www.comune.venezia.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/33507

www.architetturaecosostenibile.it

www.catasto.provincia.tn.it

www.comune.trento.it/Aree-tematiche/Cartografia

www.ecogis.info

www.ecogis.info/laives/public/web/index.html

www.efficienzaenergetica.enea.it/generazione-distribuita/tecnologie/

www.enea.it

www.enel.it

www.energia24club.it

www.eni.it

www.energybook.it

www.europa.eu/pol/ener/index_it.htm

www.geoinformationgroup.co.uk

www.iea.org

www.ilsole24ore.com

www.ipcc.ch

www.kyotoclub.org

www.legambiente.it

http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

www.smartgrids.eu

www.sustainability.bz.it

www.webgis.fondazionecariplo.it/public

www.progettiamoinsieme.it/pages/normativa.asp#