

Il catasto energetico del Comune di Poggibonsi

Marco FRITTELLI - Antonio MATUCCI - Paolo GUARDUCCI - Andrea PRESCIANI

RIASSUNTO

Oggi è molto attuale il tema del risparmio energetico degli edifici. La legislazione Europea ha imposto lo strumento della certificazione energetica che, al pari di altre attestazioni, costituisce un documento necessario alla transazione commerciale dell'immobile.

In questo lavoro, dopo un necessario inquadramento normativo, si presentano i risultati di un'analisi conoscitiva delle performance termiche di una serie di edifici residenziali esistenti, all'interno del Comune di Poggibonsi (Siena) come base di un Catasto Energetico degli edifici. Viene descritta la metodologia impiegata e l'utilizzo di strumentazione atta a valutare le prestazioni in opera dei componenti edilizi e che, quindi, può essere impiegata sia nella fase iniziale di "diagnosi", che nelle successive fasi progettuali e di attestazione finale.

ABSTRACT

Nowadays the energy conservation is an important topical subject. The European legislation has dictated the energy conservation as an essential document for the transaction of real estate, as other certifications.

By this work, which follows an essential normative assignment, are showed the results of a cognitive analysis about the thermal performances of residential buildings' set, situated in Comune di Poggibonsi (Siena), as a base for an Energetic Cadaster of buildings. Here are described the methodology and instrumentation used which suited to estimate the actual construction elements and consequently can be exploited both in the early stage of "analysis" and the following planning stages, as in the final statement.

1. INTRODUZIONE

La performance energetica degli edifici è un punto chiave nella prospettiva della riduzione delle emissioni di CO₂ a livello nazionale; infatti, il consumo di fonti energetiche per il fabbisogno degli edifici ricopre una quota importante del totale sull'energia all'utilizzo finale. Le Key World Energy Statistics 2010, pubblicate dall'International Energy of Agency [1], evidenziano che nei paesi sviluppati il 37% dell'energia primaria è attribuibile a usi finali residenziali, commerciali ecc., a fronte del 28% per i trasporti e del 29% per l'industria. Inoltre, l'ENEA [2] ha stimato che sul medio periodo l'incremento di efficienza nel settore residenziale possa ridurre le emissioni di CO₂ per un contributo (15x10⁶ t) maggiore rispetto a tutte le altre forme di abbattimento, comportando anche un risparmio economico (cioè nel complesso i benefici economici superano il costo dell'investimento). Dunque, costruire edifici energeticamente efficienti ha un peso importante nella riduzione del fabbisogno energetico complessivo e delle conseguenti emissioni di CO₂.

Il fabbisogno termico del sistema è dato dalle caratteristiche dell'edificio stesso (trasmissanza delle pareti, ponti termici ecc.), ma anche dal suo impianto di climatizzazione. Infatti, quello che viene valutato per la certificazione energetica in Italia ed anche negli USA, all'interno degli standard LEED [3], è il consumo di energia non rinnovabile usata per la climatizzazione, l'illuminazione e la produzione di acqua calda sanitaria. È evidente che, a parità di impianti installati, un edificio ben coibentato ha minori dispersioni ter-

miche e minore consumo di energia; d'altronde, un edificio alimentato prevalentemente tramite fonti rinnovabili, ovvero tramite sistema/impianto ad alta efficienza energetica, consuma meno combustibili fossili di un impianto tradizionale. Dunque, l'analisi delle performance energetiche degli edifici deve necessariamente basarsi sul sistema edificio-impianto.

2. LEGISLAZIONE E NORMATIVA

La legislazione italiana in materia di performance energetiche degli edifici è costituita dal D.Lgs. 192/05, che recepisce la Direttiva Europea 2002/91/CE e aggiorna quanto a suo tempo previsto dalla Legge 10/91 peraltro la direttiva 2002/91/CE è stata modificata dalla 2010/31/UE. Il decreto legislativo pone limiti al valore del fabbisogno annuo di energia primaria, espresso in kWh/m², che viene calcolato tramite l'analisi termica, con l'ausilio della norma UNI TS 11300, e che deve infine essere riportato in un attestato di Certificazione Energetica.

Successive modifiche ed integrazioni al D.Lgs. 192/05 sono costituite dal D.Lgs. 311/06, che fissa gli obiettivi per i valori di trasmittanza per gli edifici di nuova costruzione, in funzione dei gradi-giorno della località in questione, e dal D.Lgs. 115/08, che riporta delle precisazioni sulle metodologie di calcolo e sulla figura del tecnico abilitato per la certificazione energetica.

Altre modificazioni ed integrazioni di questa legge sono costituite dal D.M. 11/03/2008, dal D.I. 07/04/2008 e dal D.M. 26/02/10.

Infine, fermo restando che ogni Regione ha potestà di intervenire per incentivare il risparmio energetico, le fonti di energia rinnovabile e l'efficienza termica degli edifici, il Governo ha emanato delle "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici" (D.M. 26/6/2009).

La legislazione a livello regionale è costituita, per la Regione Toscana, dalla L.R. 39/2005 "Disposizioni in materia di Energia", modificata dalla L.R. 71/2009; esse però non si discostano dalle normative nazionali per quanto riguarda l'efficienza e la certificazione degli edifici, se non per quanto attiene l'autocertificazione che non è più necessaria. Il Decreto del Presidente della Giunta Regionale Toscana del 25 febbraio 2010 n. 17/R "Regolamento di attuazione dell'art. 23 sexies della L.R. 24/02/2005 n. 39", ha regolamentato la modalità per la presentazione delle certificazioni energetiche, nonché i soggetti incaricati della vigilanza e la costituzione di un "casto energetico regionale".

A livello normativo, le parti 1 e 2 della norma UNI TS 11300 contengono le indicazioni per eseguire il calcolo del fabbisogno termico di un edificio e permettono di applicare la norma internazionale UNI EN ISO 13790:2008 in ambito italiano. La norma è composta di quattro parti: le prime due riguardano il fabbisogno energetico per il riscaldamento invernale e la produzione di acqua calda sanitaria; la terza, già emessa dall'ente normativo, riguarda i consumi per il raffrescamento e la quarta, ancora da rilasciare, riguarda l'uso di energie rinnovabili.

Oltre alla già citata UNI EN ISO 13790:2008, la norma UNI TS 11300 si riferisce alle seguenti norme internazionali;

- UNI EN ISO 6946: calcolo delle trasmittanze termiche a partire da stratigrafia della muratura;
- UNI EN ISO 14683: calcolo dello scambio termico attraverso i ponti termici;
- UNI EN ISO 13370: calcolo dello scambio termico verso il terreno;
- UNI EN ISO 13786: calcolo della capacità termica interna.

Infine, per la validazione dei software da impiegare per la certificazione energetica, il Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente ha pubblicato uno studio di caso per quanto riguarda l'applicazione di queste norme (Calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti secondo le specifiche tecniche UNITS:11300:2008).

3. METODOLOGIA DI LAVORO

3.1. Campionatura degli edifici

Lo studio delle prestazioni termiche degli edifici di un intero Comune di medie dimensioni come quello di Poggibonsi è ovviamente impossibile senza un imponente impegno economico e civico. La presente analisi è stata condotta quindi su un campione di edifici residenziali ritenuti

rappresentativi della realtà urbana del Comune. A seguito dello studio cronologico dello sviluppo edilizio del centro urbano, sono state individuate le zone di interesse dal punto di vista costruttivo in relazione ai principali periodi di sviluppo del centro urbano stesso. È stata poi condotta una diagnosi energetica puntuale sugli edifici individuati per ricavare delle indicazioni di merito generali.

Poggibonsi è una realtà molto variegata dal punto di vista architettonico, sia per quanto riguarda i periodi di costruzione, sia per quanto riguarda le tipologie edilizie. Un quadro schematico è riportato nella mappatura eseguita dal Comune riportante lo sviluppo cronologico del centro urbano.



Figura 1 - Mappa del Comune di Poggibonsi (SI), colorata per epoca di edificazione.

Le diverse zone del Comune presentano caratteristiche edificative differenti: nella zona collinare intorno alla città prevalgono le costruzioni singole monofamiliari a villetta con ampi spazi verdi a contorno, nel centro vi sono costruzioni storiche, attorniate dagli edifici meno recenti, i cui criteri di progettazione sono più datati (vedi Figura 1).

Dunque, la scelta degli edifici quindi è stata fatta in base alle aree di sviluppo, sia dal punto di vista temporale che da quello della localizzazione, differenziando quindi la scelta in base agli anni di costruzione e alla posizione dell'edificio.

Il lavoro ha avuto due tipi di input iniziali: il primo ottenuto con l'acquisizione di documentazione per gli edifici scelti, il secondo tramite analisi termografiche e misure di trasmittanza in opera.

In questo modo è stato possibile raccogliere tutte le informazioni per analizzare gli involucri edilizi presi in considerazione e valutare quindi l'efficienza energetica effettiva.

I complessi edilizi esaminati sono sei:

1. un edificio monofamiliare del centro storico (di qui in avanti "edificio A"), su tre piani per un totale di 105 m² calpestabili; le pareti sono di stratigrafia incognita, ma presumibilmente in pietra; l'analisi a vista mostra una scarsa manutenzione dell'involucro stesso con ammaloramento dell'edificio (sono visibili infatti muffe e chiazze di umidità), nonché dell'impianto di riscaldamento, datato e di prossima sostituzione.

2. un condominio edificato negli anni '50-'60 (di qui in avanti "edificio B") a pianta rettangolare, dalle caratteristiche geometriche lineari, sviluppato su 4 piani, con 8 appartamenti di 80 mq circa, dotati di piccole terrazze. Gli impianti di riscaldamento a caldaia autonoma a metano sono stati installati dopo il passaggio da centralizzato, avvenuto negli appartamenti esaminati intorno alla metà degli anni '90. Gli infissi originari sono stati sostituiti e adesso sono in doppio vetro con telaio di legno, mentre gli avvolgibili sono in plastica. L'edificio presenta alcuni problemi causati dal tempo, e mai risolti con interventi di manutenzione straordinaria, come distaccamenti di porzioni di intonaco, o problematiche di umidità legate alle cantine.

3. un condominio risalente agli anni '70-'80 (di qui in avanti "edificio C") con geometria regolare e dimensioni rilevanti, inizialmente dotato di impianto di riscaldamento centralizzato e successivamente sostituito con termosigoli. L'ingresso dei palazzi si trova nel piano piloty, dal quale si può accedere ai 4 piani presenti, internamente al condominio. Le abitazioni sono composte da 32 appartamenti di 90 m² circa, con terrazza. Gli infissi, risalenti al periodo di costruzione, sono in buono stato di conservazione e solo in alcuni casi sostituiti con nuovi e con doppi vetri. Gli avvolgibili sono in plastica o, in alcuni casi, di alluminio.

4. un edificio eretto durante gli anni 2000 in un intervento di espansione dell'area residenziale (di qui in avanti "edificio D"), con un'architettura particolare: balconi sporgenti di forma rotondeggiante e vano scale/ascensore completamente vetrato di forma cilindrica. Il primo piano è rialzato rispetto al piano stradale ed ha disponibile un giardino privato, mentre l'ultimo piano ha una terrazza di dimensioni rilevanti in sostituzione di una porzione di copertura del tetto. L'edificio preso in considerazione, all'epoca della costruzione era soggetto alla Legge 10/91 e DPR 412/93, quindi è stato possibile reperire la relazione di calcolo della trasmittanza termica di progetto dei vari elementi edilizi, nonché

il fabbisogno energetico teorico dell'impianto di riscaldamento.

5. una villetta monofamiliare, situata in una zona residenziale nella zona collinare nei dintorni del centro di Poggibonsi (di qui in avanti "edificio E"). Le metrature interne sono notevolmente superiori rispetto alla media degli appartamenti all'interno del Comune (350 m² calpestabili) e di conseguenza le volumetrie da riscaldare sono molto maggiori, senza contare che tutto l'involucro edilizio è a contatto con l'esterno ed il rapporto superficie/volume è sfavorevole, il che inevitabilmente porta a sprechi energetici se l'edificio non è progettato e costruito nell'ottica di un contenimento dei consumi.

6. una villetta monofamiliare di caratteristiche analoghe (di qui in avanti "edificio F", 300 m² calpestabili), ma alimentato da una caldaia a biomassa legnosa, integrata da caldaia tradizionale a gas metano.

L'analisi di ogni edificio è stata effettuata con la seguente metodologia:

- Analisi della documentazione disponibile;
- Preparazione di una scheda di rilievo;
- Valutazione dello stato degli impianti;
- Valutazione delle condizioni strutturali dell'edificio;
- Analisi termografica esterna dell'intero involucro;
- Analisi termografica interna di alcuni appartamenti tipo;
- Misura della trasmittanza delle pareti dell'involucro edilizio;
- Rilievi degli effettivi consumi di gas metano durante il periodo di indagine
- Calcolo del fabbisogno energetico secondo la norma UNI TS 11300 parti 1 e 2;
- Elaborazione e confronto dati con stime empiriche del fabbisogno energetico.

Alcune di queste fasi sono elementari e non necessitano di ulteriore spiegazione. Ci si sofferma invece nei paragrafi seguenti sugli aspetti più particolari dell'analisi, che sono la determinazione della trasmittanza, l'analisi termografica, il metodo di calcolo del fabbisogno energetico ed il confronto con stime del consumo energetico reale.

3.2. Determinazione della trasmittanza termica

La trasmittanza termica è il rapporto tra flusso di calore passante attraverso un elemento edilizio piano o comunque regolare (solaio, parete o copertura) e la differenza di temperatura tra l'ambiente interno e l'ambiente esterno. In formule:

$$Q = US(T_e - T_i) \quad (1)$$

dove Q è il calore, U la trasmittanza della parete di superficie S , T_i la temperatura dell'ambiente in-

terno e T_e la temperatura di quello esterno. La trasmittanza U è data dalla combinazione di tre resistenze termiche in serie, secondo l'espressione:

$$U = \frac{Q}{S(T_e - T_i)} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\tau} + \frac{1}{\alpha_i}} \quad (2)$$

dove α_i e α_e sono le adduttanze interna ed esterna, rispettivamente pari a 7,7 e 25,0 W/m²K (vedi UNI EN ISO 6946), e τ la trasmittanza della parete vera e propria, ovvero

$$\tau = \frac{Q}{S(T_{pe} - T_{pi})} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{s_j}{\lambda_j}} \quad (3)$$

dove T_{pi} e T_{pe} sono le temperature della parete sul lato interno e sul lato esterno, rispettivamente (vedi Figura 2), mentre s_j sono gli spessori dei vari materiali di conducibilità termica λ_j , che costituiscono l'elemento edilizio. La determinazione di U passa dunque attraverso la determinazione di τ . Il metodo più accurato per determinare τ è il carotaggio della parete e la successiva analisi in laboratorio in condizioni stazionarie. Si tratta di una procedura molto invasiva, che può essere evitata rilevando la stratigrafia da progetto o, per gli edifici più datati, tramite endoscopia e calcolando τ secondo l'eq. (3). Infine, se non si conosce la stratigrafia e non si può – o non si vuole – effettuare l'endoscopia, si possono usare abachi e tabelle contenuti nella UNI TS 11300, oppure misurare la trasmittanza in opera tramite termoflussimetro.

L'impiego del termoflussimetro appare al momento la tecnica migliore per la valutazione della trasmittanza termica effettiva, in quanto non danneggia il manufatto ma consente di valutarne le prestazioni in opera, che dipendono sia dalla scelta dei materiali utilizzati, quindi dalla stratigrafia delle pareti, sia dalla esecuzione dell'opera (ad esempio, la non omogenea distribuzione dell'intonaco) nonché da eventuali danneggiamenti che nel tempo la parete potrebbe avere subito.

La misura di U tramite termoflussimetro si basa sulla misura di Q tramite un sensore di flusso termico a termopila, e di T_{pi} e T_{pe} tramite termocoppie o termoresistenze. In questo modo si riesce a determinare τ e, imponendo i valori di α_i e α_e , anche U .

La misura è tanto più precisa quanto maggiore è la differenza tra l'esterno dell'abitazione e l'interno; per questo è opportuno effettuare le misure in inverno o in estate.

La misura di queste tre grandezze deve essere prolungata per almeno 72 ore, secondo la norma ISO 9869; questo a causa delle condizioni fortemente transitorie a cui è soggetto l'edificio, nonché dell'inerzia termica della partizione in esame, che provoca uno sfasamento tra causa (variazione della temperatura dell'ambiente esterno) ed effetto (variazione della temperatura

dell'ambiente interno).

Si ha dunque una serie temporale di dati, che può essere elaborata secondo due metodi [4]:

- *metodo delle medie progressive*, il valore di τ in un certo istante viene mediato con i valori calcolati in tutti gli istanti precedenti (vedi Figura 3 e Figura 4);
- *metodo black-box*, si inseriscono i dati all'interno di un'equazione differenziale nel dominio del tempo, risolvendo la quale si ottiene il valore di τ . Questo metodo dinamico di simulazione può essere utile, ed è stato usato in alcuni casi, per studiare a priori non solo il comportamento del singolo elemento edilizio, ma anche dell'intero edificio [5];

Occorre notare, perché permette di capire alcuni concetti nel prossimo paragrafo, che teoricamente la trasmittanza potrebbe essere misurata facendo a meno del sensore di flusso termico, che costituisce la parte più costosa del termoflussimetro; se si misurano anche T_i e T_e ed se si impongono i valori di una delle due adduttanze si hanno sufficienti elementi per determinare U . Da un punto di vista pratico però questo non costituisce una misura affidabile perché i ΔT in gioco sono troppo bassi e anche un'imprecisione contenuta sulla determinazione delle temperature porta, per la propagazione degli errori, ad inficiare l'intera misura [6].

Nel presente lavoro è stato usato un termoflussimetro ThermoZig Light, con sensore di flusso a termopila, sensori di temperatura a termoresistenza PT1000; il metodo di elaborazione dati è il metodo delle medie progressive.

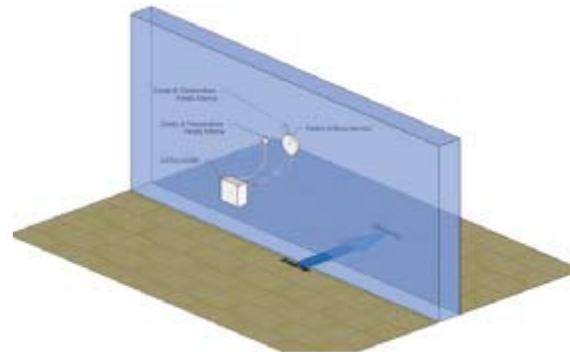


Figura 2 - Termoflussimetro per il calcolo della trasmittanza.

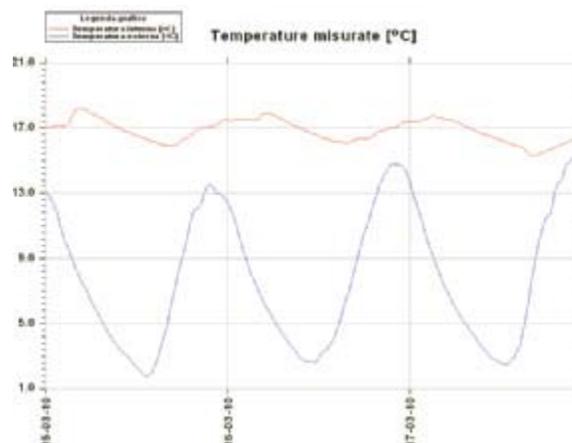


Figura 3 - Andamento delle temperature durante una misura di trasmittanza in opera.

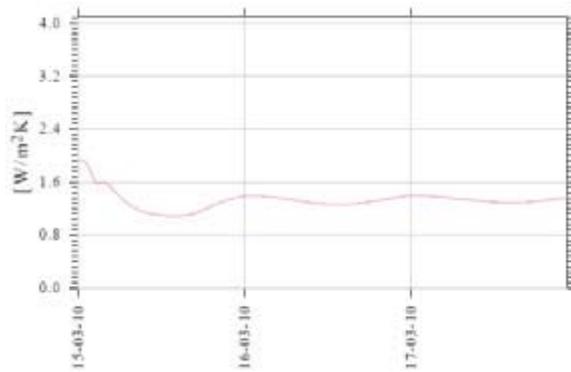


Figura 4 - Andamento della trasmittanza calcolata durante una misura.

3.3. Analisi termografica degli edifici

La trasmittanza non è l'unico parametro relativo alla dispersione di calore attraverso le superfici opache. In punti specifici e localizzati delle strutture avvengono dispersioni di energia che possono essere di entità rilevante. Per questo motivo viene usata una dicitura generale atta ad indicare le zone dove il passaggio di calore è più accentuato rispetto al resto dell'involucro edilizio: si tratta del cosiddetto "ponte termico", che in generale si manifesta in corrispondenza di discontinuità geometriche o di materiali (vedi Figura 5).

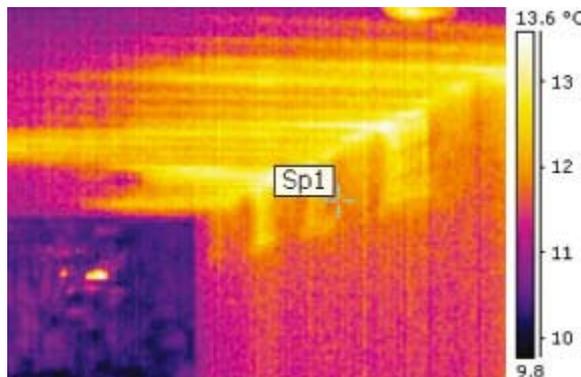


Figura 5 - Esempio di ponte termico: attaccatura del piano piloty.

I più frequenti, rilevati durante i sopralluoghi, sono dovuti ad attacchi di solai, travi e pilastri, aperture finestrate, balconi o dovuti a condizioni geometriche quali angoli delle stanze, oppure riduzioni di spessore dovute al passaggio di im-

pianti, o a riduzioni di spessore della parete per permettere l'alloggiamento di termosifoni.

Spesso tali situazioni si verificano in punti critici dell'edificio e devono essere affrontate sia in fase progettuale che costruttiva, ponendo molta attenzione anche nella fase di messa in opera delle strutture. L'influenza di questi ponti termici può avere un peso importante nel calcolo del fabbisogno termico dell'edificio, andando a gravare in modo marcato sull'efficienza energetica. In Figura 6 e Figura 7 sono presentati alcuni esempi di ponti termici.

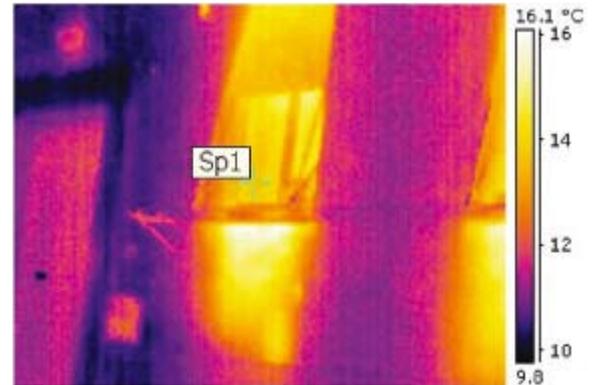


Figura 6 - Esempi di ponti termici: a) nicchia del termosifone; b) attaccatura dei terrazzi.

La presenza di queste situazioni in cui il flusso termico è maggiore si manifesta con una brusca e localizzata variazione del campo di temperatura; per questo un utile strumento di rilevazione di ponti termici è la termografia, che permette di scattare una fotografia ad infrarossi, e dunque di ottenere una mappatura del campo termico nella zona interessata.

Nel presente lavoro è stata utilizzata una termocamera ThermoCAM della FLIR.

È da notare che l'analisi termografica individua i ponti termici, ma non può quantificare la dispersione energetica associata. Infatti la termografia misura la T_{pi} ; però, anche qualora si misurasse con due termocamere contemporaneamente T_{pi} e T_{pe} , mancherebbe ancora una misurazione di Q , che non può essere fatta con la piastra termoflussimetrica, che ha dimensioni più grandi di quelle caratteristiche del ponte termico. Si tratta dunque di un'analisi qualitativa; anche la norma di riferimento individua quattro metodi di valuta-

zione del ponte termico, di cui l'analisi numerica agli elementi finiti è considerata la più accurata (un esempio di queste tecniche può essere trovata in [7]).

3.4. Calcolo del fabbisogno energetico

Il calcolo del fabbisogno di energia primaria dell'edificio o dell'appartamento è stato effettuato tramite il software DoCEt, sviluppato e distribuito da ENEA [8] e per confronto con il software Termus, sviluppato da ACCA [9]. I due software danno risultati del tutto comparabili, con discrepanze inferiori al 5%, come del resto ci si aspettava essendo entrambe validate dal comitato termotecnico italiano.

Il primo conduce un calcolo meno sofisticato rispetto ad altri strumenti di calcolo, ma comunque adatto per un confronto fra gli edifici ed una stima delle prestazioni energetiche degli edifici in linea con il caso di studio pubblicato dal CTI.

3.4.1. Confronto con stime del fabbisogno energetico reale

Ad eccezione dell'edificio F, tutte le utenze analizzate hanno un impianto di riscaldamento a metano. Dai consumi di gas è stato stimato il reale fabbisogno energetico dell'edificio. Evidentemente questo dato è soggetto a molte più variabili rispetto all'indice di fabbisogno energetico, in particolare:

- il settaggio del termostato viene fatto singolarmente da ogni utente con parametri molto diversificati in funzione delle proprie esigenze, abitudini e disponibilità economiche
- il periodo di occupazione effettiva dell'edificio è un parametro estremamente variabile, funzione dell'età dell'utente, delle disponibilità economiche ecc.
- il lasso di tempo in cui la luce solare può effettivamente entrare dalle finestre è dipendente dalla posizione e dagli ostacoli adiacenti l'edificio

- le condizioni climatiche esterne (in parte valutate tramite i gradi giorno) sono differenti rispetto a quelle medie che si utilizzano per la valutazione teorica del fabbisogno energetico annuo.

Tutto questo fa sì che il dato relativo al consumo reale di metano sia di difficile interpretazione ma essenziale per capire i reali carichi termici di un'abitazione.

Queste stime sono state effettuate in due modi: la prima valuta il consumo sull'anno solare, tramite la lettura delle bollette degli ultimi dodici mesi e la seconda tramite letture del contatore da parte dei singoli utenti con cadenza 15 giorni. Questa tipologia di approccio è ben differente da quella teorica ed è atta a creare una base dati relativa ai consumi reali delle famiglie in modo da essere in grado di stimare con maggior precisione quali siano i reali fabbisogni. La lettura del contatore ogni 15 giorni è indubbiamente molto più affidabile rispetto a quella della bolletta che è affetta da

diverse tipologie di imprecisioni: conguagli, stime effettuate dall'ente erogatore del gas ecc., per cui le bollette relative agli ultimi dodici mesi possono stimare il consumo in maniera errata ma sono state comunque prese in considerazione per avere un termine di paragone laddove la lettura non fosse stata disponibile.

La seconda stima del fabbisogno reale (ossia tramite la lettura del contatore a distanza di 15 giorni), correlata ai gradi-giorno misurati nell'effettivo periodo (misurati dal 26/1/2010 al 24/2/2010 per un totale di 30 giorni e 437 gradi-giorno misurati), è più accurata della precedente perché sia la misura del consumo di gas sia dei gradi-giorno, sono reali.

4. RISULTATI

Nella Tabella 1 vengono mostrate le principali caratteristiche degli edifici esaminati, così come rilevate dall'esame della documentazione e dall'analisi con termoflussimetro.

Tabella 1 - Risultati delle rilevazioni.

Edificio		A	B	C	D	E	F
Anno di costruzione		Prima del 1930	Anni '60	Anni '70	2005	Anni '80	Anni '80
Misura della trasmittanza in opera	ΔT min/ med/ max [°C]	X	7,2/ 15,3/ 17,0	2,0/ 8,99/ 11,9	1,2/ 4,9/ 11,4	X	X
	Q min/ med/ max [W/m ²]	X	7,5/ 12,1/ 29,5	9,2/ 15,9/ 25,6	6,8/ 10,9/ 24,6	X	X
	Trasmittanza calcolata	Non misurata	1,04	1,36	1,61 (0,9 da L. 10)	Non misurata	Non misurata
Rilevazione ponti termici		Trafilamenti d'aria nel portone e negli infissi; ponti termici lineari all'attaccatura del tetto; umidità in copertura	Ponti termici lineari all'attaccatura del tetto; nicchie dei termosifoni a ridotto spessore (Figura 7a)	Ponti termici lineari all'attaccatura del solaio piano piloty (Figura 6); nicchie dei termosifoni a ridotto spessore (Figura 7a)	Ponti termici lineari all'attaccatura del terrazzo (Figura 7b); nicchie dei termosifoni a ridotto spessore (Figura 7a)	Ponti termici lineari all'attaccatura del tetto; trafiletti d'aria negli infissi	Ponti termici lineari all'attaccatura del tetto; trafiletti d'aria negli infissi

Si può osservare anzitutto come l'edificio B presenti una trasmittanza relativamente bassa, dovuta all'elevato spessore dei muri (40 cm, contro i 15 dell'edificio C e i 30 dell'edificio D). Può sorprendere invece il fatto che l'edificio D, ultimato qualche mese prima della promulgazione del D.lgs. 195/2005, abbia una trasmittanza misurata in opera più che doppia rispetto al valore teorico, il quale peraltro è a sua volta doppio rispetto ai limiti fissati in seguito dal suddetto decreto. La misura in opera fatta con termoflussimetro è uno strumento molto importante per rilevare incongruenze tra progetto e lavoro finito, infatti spesso una parte ben progettata può avere grossi ponti termici dovuti alla cattiva posa. Ciò nonostante, la discrepanza tra la misura e il valore teorico possono essere dovute, in parte, alle condizioni ambientali in cui è stata effettuata la misura, che non erano le più favorevoli, come si osserva dalla Tabella 1. Per questo, nel calcolo del fabbisogno energetico è stato comunque usato il valore di trasmittanza

indicato dalla relazione ai sensi della L. 10/91. Per quanto riguarda i ponti termici, essi sono stati rilevati più o meno uniformemente in tut-

ti gli edifici analizzati, salvo in un appartamento dell'edificio C, che è stato recentemente ristrutturato coibentando le pareti esterne.

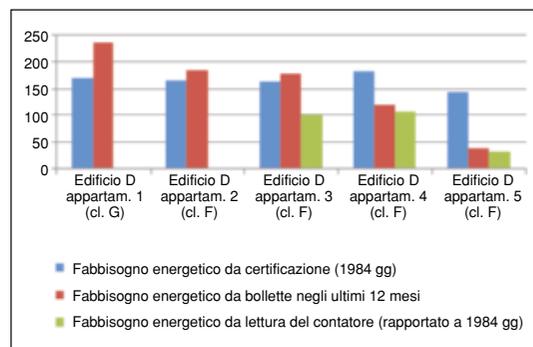
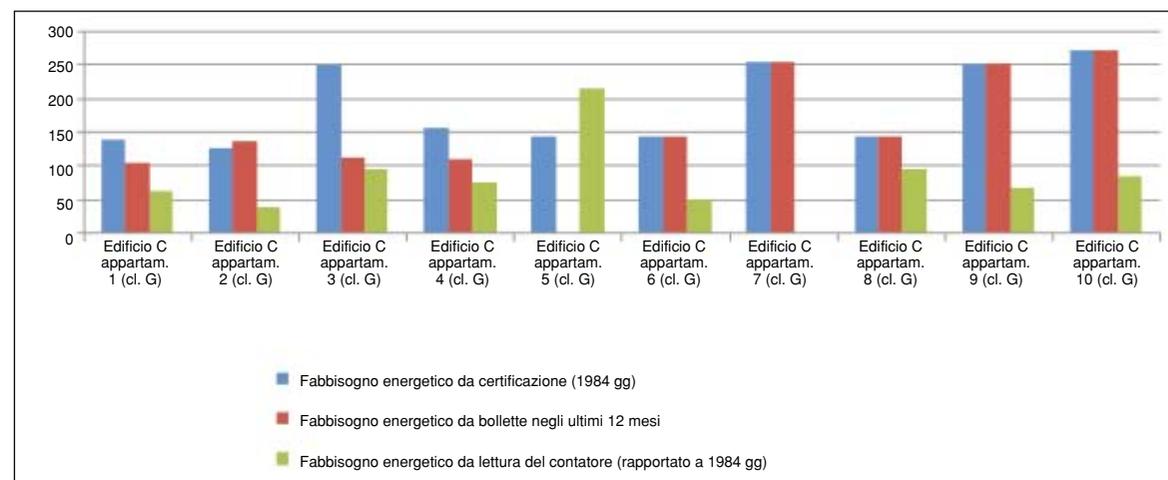
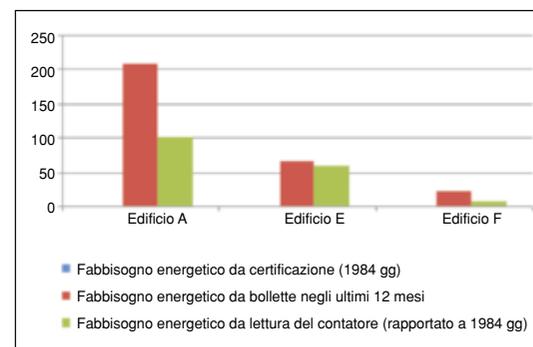
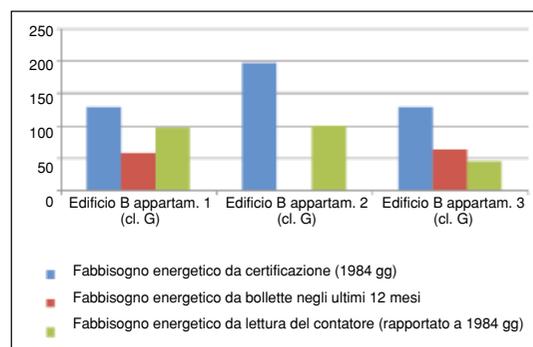


Figura 7 - Fabbisogni energetici delle unità abitative esaminate secondo le tre metodologie proposte.

Nei grafici in Figura 7 vengono invece riportati i fabbisogni energetici calcolati tramite DoCEt, raffrontati con le stime del fabbisogno reale dedotto dai consumi del gas metano. Si nota che la maggior parte degli edifici o appartamenti analizzati si collocano in classe G; le uniche eccezioni sono rappresentate dall'edificio D, che comunque ha una trasmittanza nominale inferiore a quella di edifici più datati, e dall'appartamento coibentato dell'edificio C (indicato come appartamento 4); si tratta comunque di appartamenti collocati in classe F.

Questi risultati fotografano una realtà assai migliorabile dal punto di vista dell'efficienza energetica, ma comunque in linea con altre indagini analoghe reperibili in letteratura, come ad esempio l'audit effettuato da ENEA sugli edifici del patrimonio pubblico [10].

Inoltre si osserva che solo in meno della metà degli appartamenti per cui sono stati resi disponibili i dati, il fabbisogno termico calcolato tramite la UNI TS 11300 sia uguale a quello dedotto dalle bollette, mentre in misura ancora minore riguardo la rilevazione dal 26/1/2010 al 24/2/2010.

Queste discrepanze possono essere dovute a:

- Tenore di vita e abitudini degli occupanti;
- Temperatura di set del termostato;
- Variabilità temporale della temperatura ambiente (che è ipotizzata costantemente a 20 °C e che nella realtà è affetta anch'essa da una variazione, vedi Figura 3), dovuta all'isteresi del termostato e alle abitudini degli occupanti;
- Periodo di occupazione dell'appartamento durante la giornata, il che condiziona sia gli apporti endogeni sia gli apporti solari (finestre chiuse);
- Uso del metano per cucina;
- Ponti termici non quantificabili con esattezza;
- Gradi-giorno negli ultimi 12 mesi (non noti).

5. CONCLUSIONI

L'analisi presentata in questo lavoro ha messo in evidenza conclusioni interessanti non solo da un punto di vista dei risultati in se stessi, ma anche da un punto di vista del metodo di lavoro. Riguardo alla metodologia di analisi, il termoflussimetro si è dimostrato un utile strumento per la valutazione della trasmittanza in opera, parametro che modifica in maniera importante la stima del fabbisogno globale dell'edificio; questo metodo, se applicato in condizioni ambientali appropriate, permette di valutare con precisione la trasmittanza, comprensiva anche degli eventuali difetti di posa in opera, che ovviamente la teoria non può considerare. L'uso della termocamera ad infrarossi per la rilevazione dei ponti termici non è uno strumento altrettanto valido in sede di calcolo del fabbisogno energetico, perché non permette di quantificare l'energia dispersa, ma è invece uno strumento essenziale e rapido per valutare i punti critici dell'involucro edilizio e pianificare interventi di miglioramento, specialmente per quanto riguarda le sostituzioni degli infissi, in cui una posa non corretta può anche vanificare i benefici derivanti dalla bassa emissività.

Infine, il confronto del fabbisogno teorico con i consumi reali ha mostrato che spesso questi due valori mostrano rilevanti differenze.

Riguardo ai risultati derivati dai sopralluoghi e calcoli, l'analisi ha mostrato come le performance termiche degli edifici esaminati (tutti costruiti prima dell'entrata in vigore del D.Lgs. 192/2005) si collocano tendenzialmente nelle fasce più basse della scala prevista dalla legislazione oggi vigente; i risultati migliori si osservano nell'appartamento ristrutturato con coibentazione di alcune pareti e nelle case di più recente costruzione, edificate con la Legge 10/91 in vigore, anche se ancora la distanza dai limiti di legge attuali rimane marcata e lo sforzo che deve essere fatto da tutti è ancora molto elevato.

La campagna di informazione e formazione per i cittadini, che è stata portata avanti dal Comune di Poggibonsi, è un input importante e nuovo partito da un'amministrazione comunale per attirare l'attenzione sulle problematiche energetiche che ci circondano, e lo studio che è stato fatto ha portato sia le persone direttamente interessate dai rilievi che l'amministrazione comunale, ad avere consapevolezza su come e dove intervenire per sopperire ai problemi rilevati negli edifici visionati.

BIBLIOGRAFIA

- [1] International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2010. Parigi, 2010
- [2] ENEA, Rapporto Energia e Ambiente – Analisi e scenari 2008. Roma, 2009
- [3] L. Stefanutti, Impianti per gli edifici sostenibili – Guida ASHRAE alla progettazione, costruzione e gestione. Ed. Tecniche Nuove, Novara 2009

- [4] M. Perino, La misura della trasmittanza in opera di pareti edilizie. Atti del convegno ANIT 2005. SAIE, Bologna, 2005.
- [5] G. Mao e G. Johansson, Dynamic calculation of thermal bridges. Energy and Buildings vol. 26, pagg. 233-240, 1997.
- [6] A. Panzeri, La misura della trasmittanza in opera – Approfondimento su alcuni aspetti della misura. Neo-Eubios n. 24, 2008
- [7] F. Déque, F. Ollivier e J.J. Roux, Effect of 2D modelling of thermal bridges on the energy performance of buildings. Numerical application on the Matisse apartment. Energy and Buildings vol. 33, pagg. 583-587, 2001.
- [8] <http://www.docet.itc.cnr.it/>
- [9] <http://www.acca.it/Software/TerMus/tabid/215/default.aspx>
- [10] Vincenzo Lattanzi, Gli audit energetici quale strumento per la riqualificazione energetica degli edifici esistenti. Progetti di norme. Atti del convegno CTI "Le norme UNI TS 11300 quale riferimento per la certificazione energetica degli edifici e la misura della loro sostenibilità ambientale", Milano 2010.

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato reso possibile grazie alla lungimiranza del Comune di Poggibonsi ed all'interesse mostrato verso la problematica dell'efficienza energetica, ponendosi come Comune all'avanguardia sotto questo profilo, pronta a recepire le indicazioni europee e nazionali abbinandole con idee di sviluppo peculiari del proprio territorio.

In particolare, sono dovuti i ringraziamenti ai tecnici comunali Arch. Bartoli, dott. Neri e dott.ssa Bencini, che hanno fornito utili informazioni per la ricerca dati e per il coinvolgimento della popolazione che hanno contribuito in maniera sostanziale al completamento di tale analisi.

Si ringraziano infine tutte le persone che hanno aderito all'iniziativa proposta, e che hanno reso disponibili i loro appartamenti per i sopralluoghi e misurazioni.

Marco FRITTELLI, nato a Firenze nel 1960 e laureato in ingegneria meccanica nel 1989, svolge attività di consulenza e progettazione e direzione lavori di sistemi energetici integrati, dallo studio di fattibilità tecnico-economica alla consulenza nella fase di gestione, finalizzati all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e cogenerazione, sia nel terziario/civile che nell'industria. Si occupa inoltre di ambiente, sicurezza sul lavoro e nei cantieri, nonché è responsabile della attività di acustica applicata in campo ambientale, industriale e dell'edilizia.

Antonio MATUCCI, nato a Firenze nel 1962 e laureato in ingegneria meccanica nel 1988. Ha acquisito una elevata esperienza nella regolazione e controllo degli impianti e nei sistemi di produzione centralizzata, anche attraverso impianti di cogenerazione alimentati sia a metano che a biomassa e reti di teleriscaldamento. Ha partecipato ai corsi nazionali di Bioarchitettura (2003/2004), al laboratorio didattico svolto presso l'Università di Bologna nel 2007, come specializzazione post-laurea in bioarchitettura, ai corsi nazionali di CasaClima ed ha conseguito il diploma di Esperto CasaClima dal 2006.

Paolo GUARDUCCI, nato a Bagno a Ripoli (FI) nel 1983 e laureato in ingegneria meccanica nel 2008, si occupa di progettazione degli impianti meccanici e all'attività di ricerca e sviluppo, fra cui l'applicazione dell'analisi termografica ai fini della diagnosi e certificazione energetica degli edifici.

Andrea PRESCIANI, nato a Fiesole nel 1984 e laureato in ingegneria meccanica nel 2008, collabora alla progettazione degli impianti meccanici e all'attività di ricerca e sviluppo. Ha svolto attività di ricerca post-laurea nell'ambito delle potenzialità di utilizzo dell'energia solare ad alta concentrazione presso il CNR di Firenze.