

Il Catasto Energetico dei Consumi come strumento di analisi e programmazione degli interventi per il miglioramento dell'efficienza energetica di ampi patrimoni edilizi

The Database of actual Energy Consumption as a tool to analyze and plan energy retrofit actions in large building stocks

FEDERICA ARIAUDO^{1,2} – LORENZO BALSAMELLI¹ – STEFANO PAOLO CORGNATI²

1 – Onleco S.r.l., Torino

2 – Politecnico di Torino, Dipartimento di Energetica, Gruppo di ricerca TEBE

RIASSUNTO

Le recenti disposizioni legislative in campo energetico sono state indirizzate prima di tutto alla caratterizzazione della prestazione energetica degli edifici; complementariamente l'attenzione si è focalizzata sulla necessità di quantificare la reale domanda energetica degli edifici (dai sistemi di monitoraggio dei consumi in centrale termica, fino alla contabilizzazione locale del calore (UE 2010)).

In questo contesto, dove assume sempre maggior importanza la riqualificazione energetica degli edifici esistenti, è importante disporre di database che, oltre a fotografare il reale stato energetico dei singoli edifici, consentano il confronto con una casistica ampia che permetta di individuare quelli maggiormente critici e per i quali è prioritario eseguire degli interventi di riqualificazione. Al fine di rispondere a queste esigenze è stato predisposto uno strumento informatico denominato Catasto Energetico dei Consumi (C.E.C.): un progetto avviato nel 2009 in collaborazione tra Onleco, Politecnico di Torino e Collegio dei Geometri della Provincia di Torino, che prevede la raccolta dei dati di consumo reale per riscaldamento negli edifici residenziali multifamiliari. Tali dati, forniti volontariamente dai soggetti aderenti al progetto, vengono codificati in modo da garantirne l'anonimato, elaborati con strumenti statistici ed infine riportati sinteticamente in un Rapporto annuale consultabile dagli stessi aderenti.

Nel presente articolo viene presentato il contenuto del C.E.C. e i risultati delle sue possibili applicazioni alla luce delle recenti esperienze condotte.

SUMMARY

Recent laws and directives on building energy performances have been largely addressed, firstly, to the characterization of building energy demand; at the same time the attention focused on the necessary quantification of the actual building energy demand (from consumption monitoring systems at the heat generation system level, to local energy metering (UE 2010)).

In this context, it becomes even more important the energy improvement of existing buildings: to this aim, it is essential to have a database that allows to identify most critical buildings in a wide real estate, for which an energy efficiency improvement is a priority. At the same time, it is important to compare their performances with those of a wide building stock. In order to meet these needs a software tool called "Actual Energy Consumption Database (Catasto Energetico dei Consumi, C.E.C.)" has been developed: a project started in 2009 in collaboration with Onleco, Politecnico di Torino and the Collegio of Geometri of the Province of Turin, aimed at collecting data on actual heating consumptions in multifamily residential buildings. These data, provided by volunteer members of the project, are coded to ensure anonymity, elaborated with statistical tools and, finally, briefly reported in an annual report available by the same members.

This article shows the contents of the C.E.C. and the results of its possible applications related to recent experiences.

1. INTRODUZIONE

Alla luce di quanto richiesto a livello internazionale ed europeo in termini di riduzione dei consumi e delle emissioni climalteranti assume sempre maggiore importanza l'effettiva conoscenza dello stato di fatto degli edifici esistenti, responsabili della maggior parte dei consumi energetici relativi al settore edilizio. A tal fine spesso non è sufficiente la conoscenza della situazione energetica degli edifici ottenuta a calcolo (procedura di tipo "asset rating") e diventa fondamentale una conoscenza della prestazione energetica in condizioni reali di funzionamento (procedura di tipo "operational").

A seconda che l'interesse sia focalizzato su un singolo edificio o su un ampio patrimonio edilizio varia notevolmente la tipologia di dato utile alle analisi per la caratterizzazione della prestazione energetica reale (Ariaudo 2010a): questo articolo si concentra in particolare su analisi di ampi patrimoni edilizi. A questo scopo è importante introdurre i concetti di database energetico e di catasto energetico. Un database energetico può essere definito come un contenitore di dati di consumo e di dati in grado di caratterizzare dal punto di vista termofisico diversi patrimoni edilizi, cioè un contenitore di dati di qualità verificata da cui attingere ogni qualvolta si necessita di una nuova analisi o di un'analisi su edifici con caratteristiche simili, capace inoltre di aggiornarsi nel tempo. Ad esempio, un database energetico può contenere dati di consumo per il riscaldamento invernale, dati geometrici (volume lordo riscaldato, superficie netta calpestabile, ...), dati di caratterizzazione dell'impianto (potenza installata, combustibile utilizzato, ...), ecc. per ogni edificio del patrimonio edilizio analizzato. Un catasto energetico invece può essere definito come un archivio di indicatori atti a caratterizzare la performance energetica degli edifici del database e/o di gruppi di edifici con caratteristiche omogenee,

anch'esso capace di aggiornarsi nel tempo parallelamente all'aggiornamento del database. Ad esempio, un catasto energetico può contenere indicatori quali il consumo di energia per il riscaldamento invernale riferito all'unità di superficie e/o volume, normalizzato rispetto ai Gradi Giorno, ecc. per ogni edificio del patrimonio edilizio analizzato.

Il catasto energetico può essere utile a fruitori di diverso livello di competenza in materia energetica e a diversi livelli di ambito territoriale. Più precisamente si possono individuare fondamentalmente 3 livelli "dimensionali" del catasto energetico utili, allo stesso tempo, ad altrettante differenti classi di fruitori:

- **territoriale**, si tratta di un archivio di indicatori di prestazione energetica reale relativi a patrimoni edilizi pubblici e privati che fanno parte di uno stesso ambito territoriale e possono essere utili all'individuazione di zone del territorio con criticità ricorrenti o come strumenti di supporto decisionale per la pianificazione/definizione di misure cogenti o incentivanti in ambito energetico (Alajmi e Mahmoud 2010);
- **patrimoniale**, si tratta di un archivio di indicatori di prestazione energetica reale relativi a vasti patrimoni edilizi pubblici o privati con uno stesso Ente proprietario/gestore e possono essere utili all'individuazione degli edifici maggiormente critici da un punto di vista energetico, su cui concentrare l'attenzione per il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio, con conseguente diminuzione della spesa energetica complessiva;
- **individuale**, si tratta di un archivio di indicatori di prestazione energetica reale derivanti dall'analisi statistica di dati relativi ad ampi patrimoni edilizi con caratteristiche confrontabili a quelle dell'edificio/patrimonio di cui si è interessati al confronto della prestazione, contiene quindi indicatori utili al confronto rispetto a dati statistici della prestazione energetica di un edificio/patrimonio finalizzato alla verifica della possibile presenza di "malattie" e consente la valutazione su base statistica degli effetti di alcune possibili "cure" (Assimakopoulos *et al.* 2007).

Il "Catasto Energetico dei Consumi" qui presentato rientra in quest'ultima tipologia di catasti. Si tratta di un catasto energetico che raccoglie gli indicatori di prestazione energetica reale di un ampio patrimonio edilizio a destinazione d'uso residenziale, in particolare di condomini con riscaldamento centralizzato situati per lo più in centri urbani densamente abitati. Nello specifico questo catasto, vista la tipologia di edifici a cui fa riferimento, ha un duplice obiettivo:

- la creazione di benchmark relativi a questa tipologia edilizia molto diffusa in ambito urbano per un loro utilizzo da parte di utenti specializzati oppure per la creazione di una "mappatura energetica" dello stato di fatto da un punto di vista energetico, utilizzabile come strumento di supporto per la scelta di strategie di sviluppo ed incentivazione;
- la sensibilizzazione dell'utente finale, inteso sia come amministratore di condominio che come singolo nucleo familiare, in materia di miglioramento dell'efficienza energetica, risparmio energetico e riduzione delle emissioni climalteranti in ambiente.

Il presente articolo si occupa di illustrare i risultati ottenuti dopo un anno di avvio del progetto.

2. RISULTATI: Analisi dello stato di fatto della prestazione energetica in ambito residenziale/multifamiliare

L'analisi dello stato di fatto della prestazione energetica di patrimoni edilizi prevede lo sviluppo delle fasi schematicamente riportate in Figura 1.

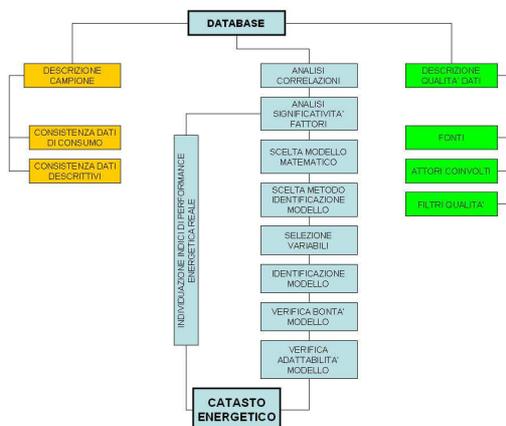


Figura 1 – Schema delle fasi per la creazione di un catasto energetico a partire dai dati contenuti in un database energetico

Per rendere maggiormente chiare le fasi indicate in figura, di seguito si riportano i risultati dell'analisi della prestazione energetica effettuata per gli edifici i cui indicatori sono stati inseriti nel Catasto Energetico dei Consumi. Per questioni di brevità alcuni argomenti vengono trattati meno approfonditamente, per una descrizione approfondita di tutte le fasi si rimanda quindi a (Ariaudo 2010b).

2.1. Individuazione dei possibili fattori in grado di influenzare il consumo energetico

Il consumo reale di un edificio e/o di un gruppo di edifici può essere influenzato da diversi fattori. Il progetto di ricerca ECBCS-Annex 53 “Total Energy Use in Buildings – Analysis and evaluation methods” della International Energy Agency propone la suddivisione in 7 macrocategorie:

- fattori climatici;
- caratteristiche fisiche e geometriche dell'edificio;
- tipologia degli impianti e dei sistemi energetici;
- gestione e manutenzione;
- attività e benessere degli occupanti;
- qualità dell'ambiente interno;
- fattori socio – economici.

2.2. Descrizione del campione analizzato

Il campione analizzato è composto da 266 edifici multifamiliari a destinazione d'uso residenziale (condomini) con riscaldamento centralizzato, situati nella provincia di Torino. Per ogni condominio sono noti i dati relativi ad alcuni possibili fattori influenzanti il consumo energetico per il riscaldamento invernale e sono stati raccolti i dati reali di consumo energetico stagionale per il riscaldamento invernale a partire dal 2003/04 fino ad oggi.

La Figura 2 riporta la distribuzione di frequenza e la frequenza cumulativa del campione in base all'epoca di costruzione: la quasi totalità del campione è stata realizzata prima del 1977, in particolare 89 edifici sono stati costruiti nell'epoca compresa tra il 1961 e il 1976.

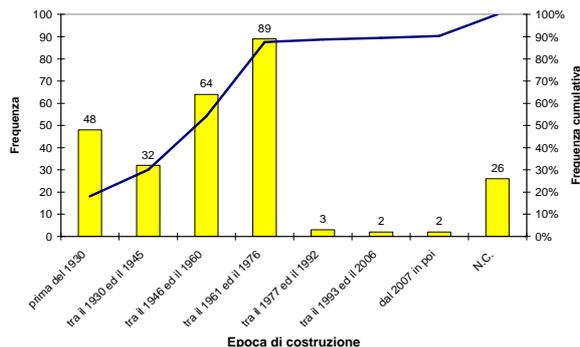


Figura 2 – Distribuzione di frequenza e frequenza cumulativa del campione in base all'epoca di costruzione

La Figura 3 riporta la distribuzione di frequenza e la frequenza cumulativa del campione in base al volume lordo riscaldato: la maggior parte degli edifici presenta una volumetria lorda riscaldata compresa fra 2000 e 4000 m³.

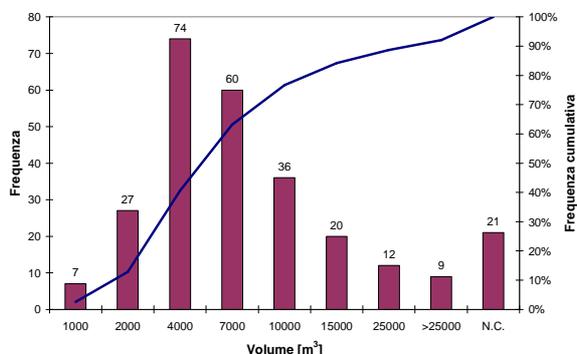


Figura 3 – Distribuzione di frequenza e frequenza cumulativa del campione in base al volume lordo riscaldato

La maggior parte degli impianti di riscaldamento sono alimentati a metano, anche se nelle ultime stagioni la sostituzione di caldaie a combustibile con scambiatori del teleriscaldamento è sempre più frequente.

2.3. Descrizione della qualità dei dati

La descrizione della qualità dei dati è un passaggio fondamentale per la conoscenza di quanto si ha a disposizione per l'utilizzo nelle analisi successive. Le informazioni che danno indicazioni sulla qualità dei dati sono legate alla fonte del dato e alla sua modalità di reperimento e alle figure professionali coinvolte per la sua raccolta. Nel caso del Catasto Energetico dei Consumi, i dati vengono forniti dagli amministratori di condominio e, ove presente, vengono estrapolati dalle diagnosi energetiche. Una prima problematica ricorrente è legata al volume: il dato dichiarato dagli amministratori di condominio risulta essere non di chiara definizione (variabile tra il reale volume lordo e il reale volume netto riscaldato). Inoltre non sono sempre esattamente noti tutti i dati richiesti, come dimostrato ad esempio dalla presenza della barra "N.C." nella maggior parte dei grafici relativi alla descrizione del campione. Altre criticità possono essere legate alla tipologia di bollettazione: in alcuni casi il dato di consumo dichiarato contiene al suo interno delle letture presunte oltre che delle letture reali.

2.4. Analisi della consistenza dei dati

La fase di analisi della consistenza del campione, combinata con quella di descrizione del campione, è di grande utilità per l'utente che si appresta ad analizzare i dati raccolti perché permette di avere un'idea generale sulla quantità dei dati e di conseguenza sulla significatività o meno del campione da un punto di vista statistico. Inoltre quest'analisi preliminare può essere di grande aiuto, combinata con la descrizione della qualità dei dati, per valutare l'adeguatezza del set di dati al livello di dettaglio dell'output desiderato.

2.5. Analisi delle correlazioni presenti fra i fattori d'influenza ed i consumi

Questa fase consiste nella ricerca di correlazioni tra la variabile dipendente (il consumo) e le diverse variabili indipendenti di cui si hanno informazioni. Quest'analisi consente una prima previsione di quali saranno le variabili significativamente in grado di influenzare i consumi.

La Figura 4 riporta l'analisi di correlazione fra le variabili indipendenti di cui è stato possibile raccogliere i dati (tipologia di fonte energetica che alimenta l'impianto di riscaldamento, Gradi Giorno convenzionali, Gradi Giorno reali, volume lordo riscaldato ed epoca di costruzione) e il consumo energetico stagionale per il riscaldamento invernale. Il grafico mette in evidenza la forte correlazione fra il suddetto consumo e il dato geometrico. Le altre variabili analizzate non sembrano presentare correlazioni significative.

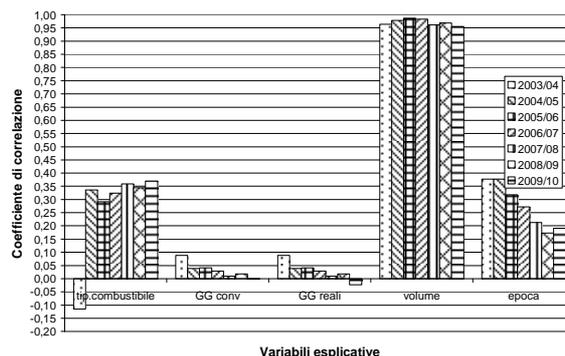


Figura 4 – Analisi di correlazione fra le variabili indipendenti ed il consumo energetico stagionale per il riscaldamento invernale

La Figura 5 riporta i risultati dell'analisi di correlazione, effettuata per ognuno dei 53 edifici di cui sono noti i consumi di sei stagioni consecutive di riscaldamento, tra i Gradi Giorno reali ed il consumo energetico stagionale per il riscaldamento. Come previsto, la correlazione fra l'andamento climatico, rappresentato dai Gradi Giorno reali, e il consumo energetico è alta per la maggior parte degli edifici. Questa tipologia di analisi permette di individuare quegli edifici che presentano delle criticità poiché sono caratterizzati da un coefficiente di correlazione piuttosto basso rispetto alla media (edifici rappresentati dalle barre più scure). La causa di queste criticità può essere legata alla presenza di errate strategie gestionali oppure ad una dubbia qualità dei dati.

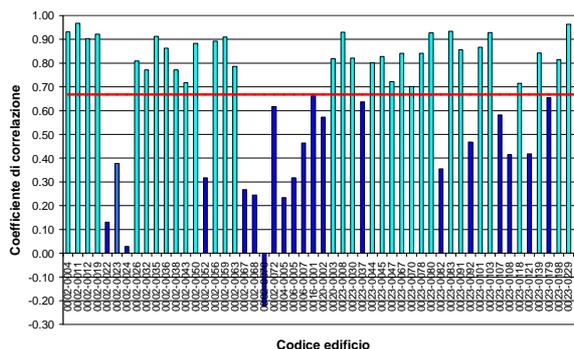


Figura 5 – Analisi di correlazione fra i Gradi Giorno reali ed il consumo energetico stagionale per il riscaldamento invernale per i 53 edifici di cui sono noti i dati di consumo per sei stagioni consecutive

2.6. Analisi di significatività dell'influenza dei fattori sui consumi

Questa analisi consiste nel verificare per mezzo di test statistici se uno o più fattori di cui si conoscono le informazioni siano in grado di influenzare in modo significativo la variazione del consumo.

E' possibile utilizzare differenti metodi per valutare la significatività dell'influenza di variabili dipendenti su variabili indipendenti. Spesso viene utilizzato un metodo che

prevede la valutazione di tale significatività attraverso un inserimento variabile per variabile di tipo stepwise all'interno di un ipotetico modello predittivo di regressione lineare multipla. A questo livello di analisi non interessa identificare i parametri del modello perché essi dovranno tenere conto di ulteriori condizioni al contorno, ma interessa verificare il risultato del test della F di Fisher effettuato ad ogni inserimento. Questa procedura tiene conto anche delle relazioni esistenti fra le variabili indipendenti per cui non risulteranno mai, ad esempio, contemporaneamente significativi fattori quali il volume e la superficie.

2.7. Scelta degli indicatori per la caratterizzazione della performance energetica degli edifici

Gli indicatori di performance energetica vengono scelti fra quelli calcolati come rapporto fra il consumo energetico e il valore di ognuno dei fattori che presentano un'influenza significativa su di esso. Siccome poi questi indicatori servono per il confronto con i benchmark, è fondamentale che siano presenti quegli indicatori che presentano le stesse modalità di calcolo dei benchmark scelti per tale comparazione.

Nel caso oggetto di analisi il dato geometrico e il dato climatico (Gradi Giorno reali) sono risultati gli unici con una significativa influenza sul consumo fra quelli analizzati fin dall'analisi di correlazione. Il consumo specifico, cioè riferito all'unità di volume, e il consumo specifico normalizzato rispetto ai Gradi Giorno, riferito cioè all'unità di volume e riportato al clima standard, sono stati scelti come indicatori di performance per il catasto energetico. Ai fini della semplificazione di lettura degli indicatori sono stati inseriti due ulteriori indicatori con una funzione più che altro di sensibilizzazione degli utenti finali: l'indice di tendenza e la classe di consumo energetico. Il primo indica lo scostamento percentuale del consumo di una stagione rispetto alla precedente, il secondo indica, attraverso una scala numerica da 1 a 5 e una corrispondenza cromatica, la posizione dell'edificio all'interno del campione al fine di dare un giudizio sulla sua prestazione energetica.

2.8. Identificazione di modelli predittivi

Se la quantità e qualità dei dati lo permette è possibile ricercare la formulazione di un modello matematico in grado di predire il consumo energetico di singoli edifici o dell'intero campione. Un modello matematico è una descrizione del comportamento di un sistema (ASHRAE 2005). Il passo più importante nella scelta di un metodo per l'analisi energetica è l'accoppiamento delle capacità di risposta del metodo ai requisiti del progetto. Il metodo deve essere in grado di valutare tutte le opzioni di progetto con sufficiente precisione da permettere di effettuare scelte corrette per il miglioramento dell'efficienza energetica. Una volta scelto il modello maggiormente adatto alle proprie esigenze, è necessario scegliere il metodo attraverso cui identificare i parametri del modello. Una volta scelto il metodo di identificazione dei parametri del modello è possibile, utilizzando il set di dati reali relativo alla variabile dipendente e alle variabili indipendenti ad essa legate, identificare i parametri del modello. Una volta identificato il modello, o uno o più modelli utilizzando diversi metodi per l'identificazione o diversi gruppi di variabili indipendenti, è necessario verificare la bontà del modello, cioè la sua

capacità di stimare in modo affidabile il valore della variabile dipendente e di prevedere in modo altrettanto affidabile tale valore futuro.

Se parliamo di modelli indiretti, cioè che non si basano o si basano solo in parte su formulazioni fisiche del fenomeno oggetto di analisi, può essere scelto un modello regressivo per la previsione del consumo energetico per riscaldamento invernale a partire da dati relativi al clima esterno e alla geometria dell'edificio, per esempio. E' possibile quindi individuare i parametri del modello, cioè la sua formula matematica, attraverso l'utilizzo di dati reali e la minimizzazione degli errori tra il modello e il dato reale con sistemi quali il metodo dei minimi quadrati. A questo punto è necessario verificare la bontà del modello testandolo su un set di dati reali non utilizzato per l'identificazione dei parametri, verificando l'entità dello scarto fra i dati previsti dal modello e i dati reali.

2.9. Benchmarking energetico

Nel campo energetico il benchmark di consumo è un valore costruito in modo da essere rappresentativo, standard, oggettivo e replicabile e viene utilizzato come valore di riferimento (traduzione letterale del termine inglese benchmark) per la comparazione / valutazione delle prestazioni di un patrimonio edilizio / singolo edificio con caratteristiche analoghe a quelle dell'oggetto o degli oggetti in base ai quali è stato costruito (Capehart 2004, Capehart e Capehart 2005, Chung *et al.* 2006).

La Figura 6 riporta l'andamento dei Gradi Giorno reali per la città di Torino e il consumo specifico (per unità di volume) medio di un sottocampione di 51 edifici di cui sono noti i consumi di tutte e sei le stagioni analizzate.

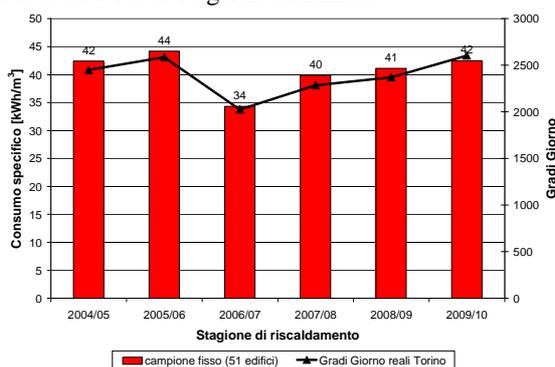


Figura 6 – Consumo medio specifico del sottocampione composto da 51 edifici e andamento dei Gradi Giorno reali per le sei stagioni di riscaldamento oggetto di analisi

La variazione del consumo medio specifico segue fedelmente l'andamento dei Gradi Giorno reali, si propone quindi una normalizzazione rispetto a tale grandezza e i risultati di tale azione sono riportati in Figura 7.

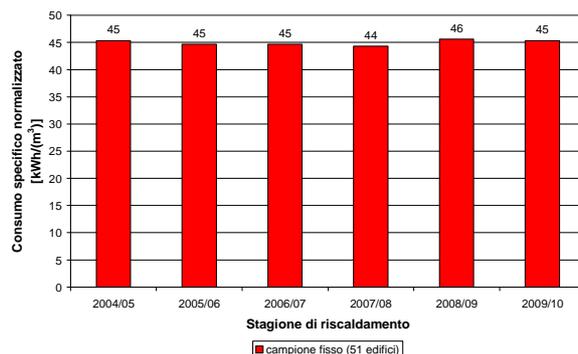


Figura 7 – Consumo medio specifico del sottocampione composto da 51 edifici normalizzato rispetto ai Gradi Giorno

Il valore di consumo specifico pari a 45 kWh/m³ può quindi essere considerato un valore di benchmark poiché costante nel tempo.

E' possibile dettagliare ulteriormente il benchmark analizzando in base all'epoca di costruzione l'andamento del consumo specifico normalizzato rispetto ai Gradi Giorno, come riportato in Figura 8.

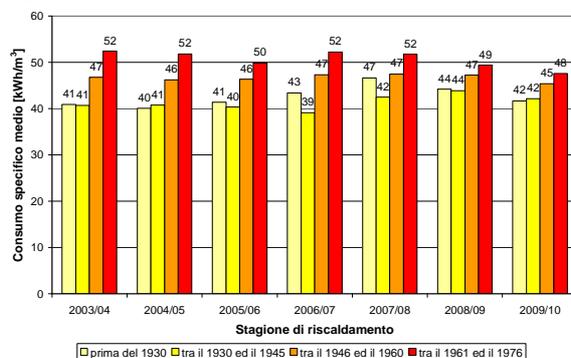


Figura 8 – Consumo medio specifico normalizzato rispetto ai Gradi Giorno in base all'epoca di costruzione

Il valore di consumo specifico normalizzato rispetto ai Gradi Giorno è massimo negli edifici costruiti tra il 1961 e il 1976 ed è minimo negli edifici costruiti prima del 1945.

3. RISULTATI: Programmazione degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio analizzato

L'utilizzo del catasto energetico come strumento di programmazione degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio analizzato può variare a seconda della tipologia di catasto energetico utilizzata e a seconda del fruitore di tale catasto. In questo articolo vengono presentate due tipologie di utilizzo del catasto a supporto della programmazione di interventi: il cosiddetto "metodo dei

quadranti” (Ariaudo *et al.* 2009) e due applicativi per la consultazione personalizzata degli indicatori da parte di utenti non specializzati.

Il metodo dei quadranti consiste nella rappresentazione grafica della posizione di ogni edificio all'interno del patrimonio edilizio analizzato, in termini di consumo e consumo specifico.

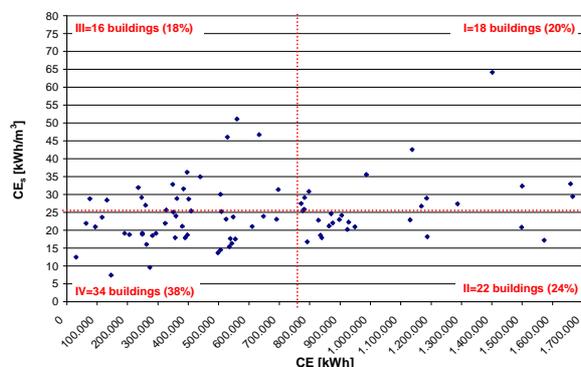


Figura 9 – Esempio di “metodo dei quadranti”

Il grafico della Figura 9 è costruito in modo che in ascissa siano riportati i valori di consumo annuale totale e in ordinata i valori di consumo annuale specifico per ogni edificio. Il punto rappresentativo di ogni edificio presenta quindi come coordinate il valore di consumo energetico totale annuale e il valore di consumo energetico specifico annuale. Sull'asse delle ordinate è quindi possibile riportare l'indicatore di performance energetica scelto come maggiormente rappresentativo per il campione oggetto di analisi. Le linee tratteggiate presenti nella figura rappresentano le soglie di prestazione energetica, ad esempio, in questo caso, rappresentano il benchmark assunto pari al valore medio del campione analizzato rispettivamente per la linea orizzontale e verticale. Tali linee suddividono in quattro quadranti l'area del grafico. Questi valori possono essere scelti in base alle proprie esigenze rendendo così tale strumento molto flessibile. Poiché ogni rombo presente nel grafico rappresenta la posizione all'interno di un edificio del patrimonio edilizio in esame, è possibile stabilire quali edifici necessitano in via prioritaria di interventi di riqualificazione energetica. Infatti, tutti gli edifici che si trovano nel “I quadrante”, quello in alto a destra, presentano elevata priorità poiché i loro consumi totali e specifici sono entrambi superiori rispetto al valore limite imposto. Si tratta quindi di edifici il cui consumo ha un elevato peso sul consumo complessivo del patrimonio edilizio e che sono gestiti in modo inefficiente da un punto di vista energetico. Il fatto che tali edifici contribuiscano in modo sostanziale al consumo complessivo del patrimonio edilizio è legato alla loro posizione alla destra della linea verticale, cioè alla destra di quella linea che rappresenta il valore medio di consumo energetico annuale dell'intero campione. Il fatto invece che siano gestiti in modo poco efficiente è dimostrato dalla loro posizione nel grafico che risulta essere nella parte superiore a quella delimitata dalla linea orizzontale, cioè quella linea che rappresenta il valore di benchmark di consumo energetico scelto. Tipicamente questi edifici sono anche di dimensioni maggiori rispetto a quelli contenuti nel “IV quadrante”. Il “IV quadrante”, situato in basso a sinistra, è quello in cui gli edifici presenti non necessitano

di alcun tipo di intervento poiché i loro consumi totale e specifico sono inferiori alle soglie stabilite e il miglioramento dell'efficienza di questi edifici si può rivelare dispendioso, in quanto già efficientemente gestiti, e il risparmio complessivo sull'intero patrimonio potrà non essere significativo vista la loro bassa incidenza sul totale.

Per l'utente non specializzato questo metodo potrebbe risultare di più difficile comprensione rispetto ad un utente specializzato (Iyer *et al.* 2006). A questo proposito sono stati messi a punto degli strumenti di consultazione personalizzata che permettono la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici, o si un sottoinsieme di edifici, appartenenti al patrimonio analizzato attraverso la visualizzazione dei suddetti indici di tendenza e delle classi di consumo.

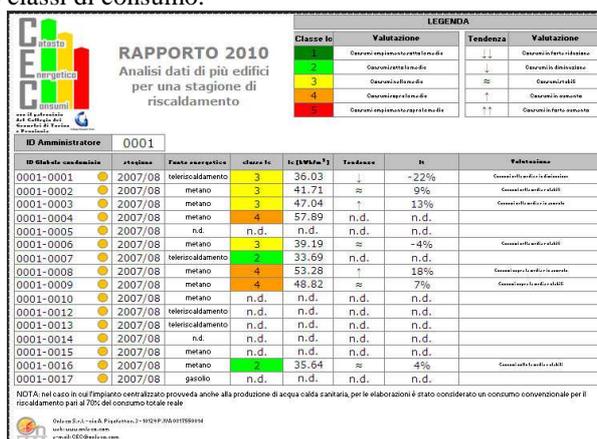


Figura 10 – Esempio di output del tool di consultazione personalizzata per utenti non specializzati

La Figura 10 riporta un esempio di output del tool di consultazione personalizzata: per ogni edificio, codificato per tutelare la privacy, vengono riportate alcune informazioni di base, gli indici di tendenza e di consumo e una valutazione sintetica del comportamento rispetto all'anno precedente e rispetto all'intero patrimonio. In questo modo gli edifici critici sono facilmente individuabili anche solo in base al colore della classe di consumo.

Il tool di consultazione dell'analisi interventi, di cui si riporta un esempio di output nella Figura 11, consente agli utenti non specializzati di conoscere la riduzione percentuale media di consumo relativa alla realizzazione degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica più diffusi (Balaras *et al.* 2007), dati derivanti da elaborazioni statistiche effettuate su valori reali di consumo di edifici appartenenti al patrimonio edilizio del Catasto Energetico dei Consumi.



Figura 11 – Esempio di output del tool di analisi degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica per utenti non specializzati

CONCLUSIONI

Nel presente articolo sono stati illustrati alcuni dei risultati ottenuti dall'analisi di dati reali di consumo energetico per il riscaldamento invernale in edifici esistenti a destinazione d'uso residenziale, resa possibile grazie al Progetto C.E.C. (Catasto Energetico dei Consumi). Sono state inoltre presentate alcune delle possibilità di utilizzo di catasti energetici a supporto della programmazione degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio esistente, sia per utenti specializzati, sia per utenti non specializzati in materia.

Uno degli sviluppi futuri del progetto è legato all'estensione del catasto agli indicatori di prestazione energetica globale, che tengono cioè conto anche del consumo di energia elettrica oltre che del consumo di energia per il riscaldamento ambientale.

Il Progetto C.E.C. si inserisce nel quadro dei progetti di ricerca con obiettivo comune quello di individuare servizi e strumenti utili ad un miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio esistente, come richiesto dalla normativa europea (UE 2010), anche attraverso la sensibilizzazione dell'utente finale per una gestione maggiormente efficiente da un punto di vista energetico (Chauhan *et al.* 2006), basata sulla disseminazione di dati reali di consumo energetico (operational rating).

RICONOSCIMENTI

Le attività in atto in questo ambito sono inserite all'interno del Progetto Lagrange finanziato dalla Fondazione CRT. Si ringrazia inoltre il Collegio dei Geometri della Provincia di Torino in qualità di partner fondatore del Progetto C.E.C.

BIBLIOGRAFIA

Alajmi, A.F., Mahmoud, M.A., 2010. "Quantitative assessment of energy conservation due to public awareness campaigns using neural networks", in *Applied energy*, n.87, pag. 220-228.

Ariaudo, F., Celozzi, G., Corgnati, S.P., Filippi, M., Gerbo, R., Zanon, P., 2009. "Risparmiare in banca - Metodologia diagnostica per lo studio dei consumi energetici di grandi patrimoni edilizi del terziario", in *CDA*, n.4, pag. 36-43.

Ariaudo, F., 2010a. "Il catasto energetico", in Corgnati, S.P., Nuvoli, G. (a cura di), "La procedura di certificazione energetica degli edifici in Piemonte. Guida pratica", CELID.

Ariaudo, F., 2010b. "L'uso dell'energia in edifici esistenti a destinazione d'uso residenziale, scolastica e per uffici", Tesi di Dottorato di ricerca in "Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito" – curriculum Fisica Tecnica Ambientale, Dipartimento di Energetica, SCUola di Dottorato, Politecnico di Torino, tutor: prof. Filippi, M., prof. Corgnati, S.P.

ASHRAE 2005. *2005 ASHRAE Handbook-fundamentals*, cap.32. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

Assimakopoulos, M.N., Doukas, P., Gaitani, N., Geros, V., Michalakakou, G., Mitoula, R., Papaglastra, M., Patagias, P., Pavlou, C., Primikiri, E., Santamouris, M., Sfakianaki, K., Zeferos, S., 2007. "Using intelligent clustering techniques to classify the energy performance of school buildings", in *Energy and buildings*, vol.1, n.39, pag. 45-51.

Balaras, C.A., Galia, A.G., Georgopoulou, E., Lalas, D.P., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., 2007. "European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings", in *Building and environment*, n.42, pag. 1298-1314.

Capehart, B.L., 2004. "Information Technology for Energy Managers", The Fairmont Press, Inc., Lilburn, Georgia.

Capehart, B.L., Capehart L.C., 2005. "Web Based Energy Information and Control Systems: Case Studies and applications", The Fairmont Press, Inc., Lilburn, Georgia.

Chauhan, N.S., Mohapatra, P.K.J., Pandey, K.P., 2006. "Improving energy productivity in paddy production through benchmarking – an application of data envelopment analysis", in *Energy conversion and management*, n.47, pag. 1063-1085.

Chung, W., Hui, H.V., Miu Lam, Y., 2006. "Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings", in *Applied energy*, n.83, pag.1-14.

Iyer, M., Kempton, W., Payne, C., 2006. "Comparison groups on bills: Automated, personalized energy information", in *Energy and buildings*, n.38, pag. 988-996.

UE, 2010. Direttiva Europea 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea* L 153/13 del 18 giugno 2010.