

A09
156

Cristiano Ermacora

Sistemi a energia rinnovabile applicati ad un edificio residenziale

Caratterizzazione, modellazione e studio di integrazione
in un esempio pratico di progettazione



Copyright © MMXII
ARACNE editrice S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Raffaele Garofalo, 133/A-B
00173 Roma
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-4567-1

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: febbraio 2012

*A perenne vanto della scienza
sta il fatto che essa,
agendo sulla mente umana,
ha vinto l'insicurezza dell'uomo
di fronte a se stesso e alla natura.*

Albert Einstein

Credo sia doveroso dedicare questo libro a mio padre Franco, per essermi stato accanto e per avermi incoraggiato nei momenti difficili. È proprio grazie al Suo indispensabile aiuto che sono riuscito a procurarmi il materiale e le informazioni necessarie per poter avviare correttamente la stesura del libro e portarlo a termine nel miglior modo possibile.

Ringrazio tantissimo anche mia moglie Piera e mia madre Angela che mi sono state di grande aiuto nello svolgimento di pratiche familiari, consapevoli dei miei numerosi impegni professionali ed accademici.

Un ringraziamento particolare vorrei riservarlo al mio dolce figlioletto Manuel che mi è stato costantemente vicino durante la stesura del libro, dimostrandosi interessato agli argomenti trattati. Grazie a Lui ho trovato la forza interiore di perseguire imperterrito il mio obiettivo finale, lasciandomi travolgere totalmente da quel meraviglioso mondo che è la scienza dei sistemi energetici.

- 9 *Biografia dell'autore*
- 13 *Introduzione*
- 17 *Quadro normativo sulla certificazione energetica*
- 21 *Definizione degli indicatori*
- 29 *Capitolo I*
 - Caratterizzazione energetica di un edificio*
 - 1.1. Descrizione edificio, 29 – 1.2. Consumi termici ad uso riscaldamento, 32 – 1.2.1. Raccolta dati – consumi di gas naturale, 32 – 1.2.2. Definizione modello per caratterizzazione consumi, 35 – 1.2.3. Tecnica CUSUM per monitoraggio consumi, 47 – 1.2.4. Predisposizione carta di controllo per monitoraggio consumi, 69 – 1.2.5. Monitoraggio dei consumi futuri – esempio reale, 70 – 1.3. Consumi termici ad uso A.C.S. e cottura, 78 – 1.3.1. Raccolta dati – consumi di gas naturale, 78 – 1.3.2. Definizione modello per caratterizzazione consumi, 83 – 1.3.3. Tecnica CUSUM per monitoraggio consumi, 83 – 1.3.4. Predisposizione carta di controllo per monitoraggio consumi, 92 – 1.4. Consumi elettrici degli appartamenti, 92 – 1.4.1. Raccolta dati – consumi di energia elettrica, 93 – 1.4.2. Definizione modello per caratterizzazione consumi, 97 – 1.4.3. Caratterizzazione consumi con regressione semplice – driver OB, 98 – 1.4.4. Tentativo di caratterizzazione consumi con regressione multipla – drivers OB e GG, 103 – 1.4.5. Regressione multipla con GG definiti sul periodo convenzionale, 105 – 1.4.6. Regressione multipla con GG definiti su tutto l'anno, 112 – 1.4.7. Tecnica CUSUM per monitoraggio consumi, 115 – 1.4.8. Predisposizione carta di controllo per monitoraggio consumi, 115 – 1.5. Consumi elettrici vano scala ed impianto termico, 116 – 1.5.1. Raccolta dati – consumi di energia elettrica, 117 – 1.5.2. Definizione modello per caratterizzazione consumi, 120 – 1.5.3. Tentativo di caratterizzazione consumi con regressione multipla – drivers OB e GG, 121 – 1.5.4. Tecnica CUSUM per monitoraggio consumi, 132 – 1.5.5. Predisposizione carta di controllo per monitoraggio consumi, 134 – 1.6. Quadro riassuntivo, 137.

143 **Capitolo II**

Modellazione edificio

2.1. Descrizione del software applicativo DOCET, 143 – 2.2. Fabbisogno di energia netta, 144 – 2.2.1. *Dati del contesto*, 145 – 2.2.2. *Dati dell'edificio*, 145 – 2.2.3. *Ambienti non riscaldati*, 147 – 2.2.4. *Involucro opaco*, 148 – 2.2.5. *Involucro trasparente*, 149 – 2.2.6. *Calcolo del fabbisogno di energia netta*, 153 – 2.3. Fabbisogno di energia primaria, 156 – 2.3.1. *Sistema di generazione*, 158 – 2.3.2. *Sistema di regolazione*, 160 – 2.3.3. *Sistema di emissione*, 160 – 2.3.4. *Sistema di distribuzione*, 160 – 2.3.5. *Calcolo del fabbisogno di energia primaria ad uso riscaldamento*, 162 – 2.3.6. *Calcolo fattore correttivo dei gradi giorno e numero di ricambi d'aria*, 169 – 2.4. Certificazione energetica, 175 – 2.5. Quadro riassuntivo, 178.

181 **Capitolo III**

Studio di integrazione sistemi ad energia rinnovabile

3.1. La caldaia a condensazione presente nell'edificio, 181 – 3.1.1. *Descrizione e caratteristiche tecniche della caldaia BLUMAX-60*, 181 – 3.1.2. *Schema di impianto della caldaia BLUMAX-60 – sistema di riscaldamento*, 183 – 3.2. La pompa di calore ad assorbimento GAHP-A, 184 – 3.2.1. *Descrizione e vantaggi della tecnologia GAHP-A*, 184 – 3.2.2. *Le versioni LT e HT*, 187 – 3.2.3. *Scelta della versione HT*, 187 – 3.2.4. *Caratteristiche tecniche della pompa di calore ad assorbimento GAHP-A HT*, 189 – 3.3. Integrazione caldaia BLUMAX-60 con assorbitore GAHP-A HT, 189 – 3.3.1. *Criterio seguito durante l'analisi e metodo di calcolo*, 189 – 3.3.2. *Determinazione equazione caratteristica del rendimento della caldaia*, 195 – 3.3.3. *Determinazione equazione caratteristica della percentuale di carico della caldaia*, 197 – 3.3.4. *Calcolo grandezze e parametri di progetto per la caldaia*, 199 – 3.3.5. *Calcolo grandezze e parametri di progetto per l'assorbitore*, 202 – 3.3.6. *Calcolo grandezze e parametri di progetto per integrazione caldaia-assorbitore*, 207 – 3.3.7. *Conclusioni e valutazioni energetiche*, 209 – 3.3.8. *Criteri di installazione e schema dell'impianto di riscaldamento*, 211 – 3.4. Quadro riassuntivo, 213.

217 **Conclusioni**

219 **Bibliografia**

221 **Indice delle figure**

223 **Indice delle tabelle**

Biografia dell'autore

Cristiano Ermacora è nato a Venaria Reale (Torino) il 28 agosto del 1968 e lavora da circa 25 anni.

All'età di 15 anni iniziò a praticare l'hobby degli scacchi seguito dal padre. Dopo circa un anno si affacciò al mondo agonistico, e affascinato da questa misteriosa disciplina decise di progredire orientandosi principalmente verso la ricerca del graduale perfezionamento scacchistico.

Contemporaneamente alla passione per gli scacchi, e dopo aver terminato gli studi professionali nel 1986, Cristiano iniziò la sua carriera lavorativa come operaio addetto alle macchine utensili a controllo numerico, poco prima del compimento dei 18 anni di età. Dopo pochi mesi fu promosso impiegato tecnico con la mansione di disegnatore di stampi in lamiera e, per circa due anni dedicò le sue serate a studi di specializzazione professionale quali: sistemi a CN e CAD/CAM, conseguendo i rispettivi attestati.

Nel dicembre del 1989 Cristiano giunse quarto nel Campionato Italiano Individuale di scacchi tenutosi a Montecatini Terme e, sempre in quel periodo decise di sospendere l'attività scacchistica per dedicarsi a studi serali più gratificanti.

Nel 1992, all'età di 24 anni conseguì il diploma di perito informatico, titolo che gli permise di progredire nella carriera professionale. Infatti, proprio grazie alla sua passione per l'informatica si occupò di ricerca e sviluppo per il settore Automotive, progettando e disegnando prototipi di sedili per auto con sistemi di modellazione C.A.D. sia bidimensionali che tridimensionali. In quel periodo riprese a praticare gli scacchi ed ottenne alcune prestigiose vittorie in vari tornei.

Nell'ottobre del 1995 la vita gli si impose e costrinse la "mente dello scacco" alla soglia di un'importante decisione: continuare a praticare gli scacchi o migliorare la propria posizione sociale laureandosi? La ragione ebbe la meglio sulla passione, e da quel giorno gli impegni non permisero più a Cristiano di seguire le sue pulsioni più

profonde che lo spingevano a praticare con grande devozione il “Re dei giochi”. Il tempo trascorse rapidamente e terminati gli studi, dopo aver conseguito il diploma di laurea in Ingegneria Informatica ed Automatica presso il Politecnico di Torino, si sposò nell’agosto del 1998. Dopo il matrimonio, riprese l’attività scacchistica manifestando un grandissimo entusiasmo che lo portò a vincere numerosi tornei di una certa rilevanza.

Nel febbraio del 2000 la vita professionale di Cristiano subì una prima svolta che lo costrinse a sospendere nuovamente l’attività scacchistica. L’autore decise di cambiare radicalmente genere di lavoro dopo quattordici lunghi ed intensi anni trascorsi come disegnatore progettista. Si affacciò al mondo dell’informatica e, per circa due anni di continui cambiamenti aziendali, decise infine di piantare le sue radici in un’azienda informatica operante nel settore giuridico, dove attualmente svolge la professione di analista tecnico funzionale, facendo utilizzo delle più sofisticate metodologie dell’ingegneria del software. Nel novembre del 2000 nacque suo figlio Manuel, e Cristiano decise di dedicare ciò che rimaneva del suo tempo libero interamente alla famiglia.

Il 2003 fu l’anno del grande ritorno agli scacchi e delle strabilianti soddisfazioni agonistiche, ma i suoi sogni di gloria durarono ben poco. A febbraio partecipò al Campionato Italiano a squadre in serie C rimanendo imbattuto, e la sua squadra si aggiudicò il secondo posto della classifica finale. Ad agosto invece, dopo il suo esordio in Costa Azzurra (Nizza, Francia), dove vinse il Campionato Internazionale Individuale per categorie, dovette ritirarsi definitivamente dal firmamento scacchistico per motivi familiari.

Nell’ottobre del 2004 Cristiano decise di proseguire gli studi per laurearsi in Ingegneria Informatica, avvalendosi della possibilità di farsi riconoscere il diploma di laurea conseguito quasi otto anni prima. Nel dicembre del 2006 conseguì il meritato e tanto ambito titolo di dottore in Ingegneria dell’Informazione presso il Politecnico di Torino.

L’anno seguente si dedicò al perfezionamento della lingua inglese, e nell’ottobre del 2007 si iscrisse nuovamente al Politecnico con l’intento di conseguire la seconda laurea in Ingegneria Logistica e della Produzione. Il suo sogno si avverò, e nel luglio del 2010 discusse la sua tesi di laurea attinente ad una ricerca scientifica seguita da un progetto sui sistemi energetici. La presentazione della tesi riscosse un

grandissimo successo e questo permise a Cristiano di laurearsi a pieni voti.

Da allora l'autore rimase particolarmente affascinato dal mondo dell'energia, e gli argomenti trattati nella tesi suscitarono in lui l'ispirazione per la stesura di questo suo primo libro.

Introduzione

Nel presente lavoro sono stati trattati tre capitoli contenenti argomenti relativi ai sistemi energetici. Ogni capitolo è seguito da un paragrafo finale in cui è stato riportato un quadro riassuntivo per facilitarne la comprensione.

Nella parte introduttiva sono stati riportati alcuni cenni sul quadro normativo riferito alla certificazione energetica. Successivamente, sono stati definiti alcuni indicatori utilizzati nel corso dello studio, come base di partenza prima di essersi addentrati nei meandri dell'analisi energetica.

Nel *primo capitolo* sono stati proposti dei modelli per caratterizzare dal punto di vista energetico un edificio adibito ad uso residenziale, avendo utilizzato sia i dati relativi ai consumi termici (ad uso riscaldamento e acqua calda sanitaria) che quelli connessi ai consumi elettrici.

Nella prima parte del capitolo è stata inizialmente fornita una breve descrizione dell'edificio, dopodichè è stato dato avvio alla caratterizzazione energetica con il metodo statistico, partendo dai dati relativi ai consumi termici (ad uso riscaldamento) mensili della struttura, e cercando di ricavare una relazione tra tali valori e alcune variabili (chiamate "energy drivers") opportunamente definite.

Dopo aver creato un modello che abbia rispecchiato fedelmente i consumi dell'edificio, si è proseguito nella fase di analisi avendo osservato gli scostamenti tra i dati reali e quelli previsti dalla caratterizzazione e, avendo individuato, mediante un'opportuna analisi statistica, situazioni in cui tali deviazioni sono imputabili a variazioni del sistema esaminato. Questi cambiamenti hanno richiesto ogni volta la formulazione di un diverso modello atto a rispecchiare in modo più accurato la nuova situazione del sistema, fino ad averne individuato uno che, con riferimento al periodo stabile più recente, sarà utilizzato per monitorare la situazione attuale ed individuare in modo tempestivo eventuali guasti non giustificati che causano un consumo anomalo

di energia.

Analogamente ai consumi ad uso riscaldamento, è stata effettuata anche la caratterizzazione energetica dei consumi quadrimestrali di acqua calda sanitaria, e dei consumi elettrici bimestrali dell'edificio.

L'analisi mediante la caratterizzazione energetica si propone quindi come metodologia generale da applicare ad un numero molto vasto di edifici esistenti, in quanto si basa su dati di consumo reali, permette di identificare in modo tempestivo eventuali sprechi o guasti e di individuare all'interno di ogni struttura le attività a più alto consumo di energia.

Nel *secondo capitolo* è stata effettuata una modellazione dell'edificio, trattato nel capitolo precedente, con il software di simulazione DOCET, al fine di poter ottenere una stima approssimativa dei soli consumi annuali ad uso riscaldamento. È stata quindi realizzata un'analisi del fabbisogno di energia termica dell'edificio, suddividendo tale valore nei contributi di dispersione, ventilazione, apporti interni e solari. L'obiettivo principale è stato poi di confrontare la stima ottenuta dal software con la media annuale dei consumi effettivi calcolati per l'intera struttura, grazie all'utilizzo del potere calorifico inferiore del combustibile.

Successivamente, utilizzando la retta di regressione lineare per il monitoraggio dei consumi futuri (definita nel capitolo precedente), è stato possibile calcolare il numero di ricambi d'aria dell'edificio. Per tale calcolo è stato però necessario determinare l'inerzia termica della struttura che, a sua volta ha richiesto il calcolo del fattore correttivo dei gradi giorno.

Si è giunti infine alla definizione della classe energetica dell'edificio, in accordo con le Linee Guida Nazionali per la Certificazione Energetica.

Nel *terzo capitolo* è stato realizzato uno studio di integrazione di sistemi ad energia rinnovabile con l'obiettivo di ridurre il fabbisogno energetico. L'analisi effettuata ha consentito di porre a confronto la caldaia a condensazione, presente all'interno della centrale termica dell'edificio considerato nel capitolo precedente, con una pompa di calore ad assorbimento che utilizza metano. Dal punto di vista energetico a partire dalla fonte primaria, è stata valutata la convenienza derivata dall'integrazione caldaia-assorbitore.

Nella prima parte del capitolo sono state descritte le caratteristiche

tecniche della caldaia a condensazione della ditta ECOFLAM S.p.A. e ne sono stati illustrati gli schemi idraulico e funzionale. Nella seconda parte è stata introdotta e descritta la pompa di calore ad assorbimento della ditta ROBUR S.p.A. di cui è stata scelta appropriatamente la versione idonea al caso studio.

La terza parte riguarda il confronto diretto tra i due sistemi, e lo studio condotto è stato frutto di un buon numero di assunzioni e rilievi sperimentali. La scelta di avere utilizzato la caldaia a condensazione come integrazione alla pompa di calore ad assorbimento è dovuta a vincoli progettuali che hanno impedito la totale sostituzione della caldaia con l'assorbitore ROBUR. Nonostante lo studio sia stato parziale, cioè ridotto ad una tipica giornata invernale, è stato dimostrato che l'integrazione caldaia-assorbitore è pressoché vantaggiosa nei mesi in cui il clima non è troppo rigido, garantendo il 20% in meno di consumo giornaliero di gas naturale.

Quadro normativo sulla certificazione energetica

Con il Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 26 giugno 2009 sono state poste le “*Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*”. Questo provvedimento definisce un sistema di certificazione energetica degli edifici in grado di fornire informazioni chiare sulla qualità energetica degli immobili e strumenti che consentono di valutare la convenienza economica a realizzare interventi di riqualificazione energetica sulle abitazioni, oltre che tenere conto della prestazione energetica degli edifici nelle operazioni di acquisto e di locazione di immobili.

Le linee guida hanno l’obiettivo di contribuire ad una applicazione omogenea della certificazione energetica degli edifici a livello nazionale, coerente con la direttiva 2002/91/CE¹ e con i principi desumibili dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192².

Il provvedimento contiene importanti chiarimenti sull’attestato di certificazione energetica (ACE) del quale dovranno essere dotati tutti gli edifici oggetto di compravendita, gli edifici di nuova costruzione e quelli soggetti a ristrutturazione.

1. Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio “sul rendimento energetico nell’edilizia”, emanata il 16 dicembre 2002, che prevede l’istituzione di: a) una metodologia comune di calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici; b) requisiti minimi sul rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione e degli edifici già esistenti sottoposti a importanti ristrutturazioni; c) sistemi di certificazione degli edifici di nuova costruzione ed esistenti e l’esposizione negli edifici pubblici degli attestati di rendimento energetico e di altre informazioni pertinenti. Gli attestati devono essere stati rilasciati nel corso degli ultimi cinque anni; d) ispezione periodica delle caldaie e degli impianti centralizzati di aria condizionata negli edifici e la valutazione degli impianti di riscaldamento dotati di caldaie installate da oltre 15 anni.

2. Il decreto si pone come obiettivo l’attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia. Esso stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l’integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, per contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto e per promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico.

Il decreto dispone che:

- a) l'attestato ha una validità temporale massima di dieci anni e tale validità non viene inficiata dall'emanazione di provvedimenti di aggiornamento del decreto e/o introduttivi della certificazione energetica di ulteriori servizi quali, a titolo esemplificativo, la climatizzazione estiva e l'illuminazione;
- b) la validità massima dell'attestato di certificazione di un edificio è confermata soltanto se sono rispettate le prescrizioni normative vigenti per le operazioni di controllo di efficienza energetica, comprese le eventuali conseguenze di adeguamento degli impianti di climatizzazione asserviti agli edifici. In caso di mancato rispetto delle predette disposizioni, l'attestato di certificazione decade il 31 dicembre dell'anno successivo a quello in cui è prevista la prima scadenza non rispettata per le predette operazioni di controllo di efficienza energetica;
- c) all'attestato di certificazione energetica vanno allegati i libretti di impianto o di centrale in originale o in copia.

Il decreto stabilisce l'obbligo di aggiornare l'attestato di certificazione energetica ad ogni intervento di ristrutturazione, edilizio e impiantistico, che modifica la prestazione energetica dell'edificio nei termini seguenti:

- a) ad ogni intervento migliorativo della prestazione energetica a seguito di interventi di riqualificazione che riguardino almeno il 25% della superficie esterna dell'immobile;
- b) ad ogni intervento migliorativo della prestazione energetica a seguito di interventi di riqualificazione degli impianti di climatizzazione e di produzione di acqua calda sanitaria che prevedono l'installazione di sistemi di produzione con rendimenti più alti di almeno 5 punti percentuali rispetto ai sistemi preesistenti;
- c) ad ogni intervento di ristrutturazione impiantistica o di sostituzione di componenti o apparecchi che, fermo restando il rispetto delle norme vigenti, possa ridurre la prestazione energetica dell'edificio.

Le informazioni richieste dall'attestato di certificazione energetica

riguardano in totale 17 distinte voci relative all'edificio, all'efficienza energetica, agli interventi, ai sopralluoghi e al certificatore.

