

Audit energetico: dalla progettazione alla gestione e all'esercizio degli edifici

Negli ultimi anni l'accezione applicativa di "audit energetico" - inteso come processo indipendente, sistematico e documentato di valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici - tende ad estendersi non solo alla fase di progetto, ma anche alla fase di gestione ed esercizio dei beni, puntando all'individuazione dei possibili interventi mirati di riqualificazione ed ottimizzazione delle risorse in un'ottica di energy-saving. In questo ambito, l'attività di studio, ricerca e sperimentazione dell'ITC-CNR ha portato alla definizione e all'applicazione sul campo di processi e modelli metodologico-operativi innovativi che consentono di monitorare efficacemente le prestazioni energetiche e di definire conseguentemente la gamma degli interventi congruenti di "retrofit" da eseguirsi sugli edifici.

Energy audit: from the project phase to the management and working of buildings

Over recent years the applicative meaning of "energy audit" - understood as an independent, systematic and documented process for the assessment of energy performance in buildings - tends to be extended not only to the project phase, but also to the management and working phases of the real estate, aiming at the identification of possible interventions for the upgrading and optimisation of the resources from an energy-saving viewpoint. In this area, the ITC-CNR study, research and experiment activities have led to the definition and application of innovative methodological-operational processes and models in the field, which make it possible to monitor energy performance effectively and consequently to decide on the range of congruent "retrofit" interventions to be used in buildings.

Benedetta Barozzi*
Alice Bellazzi*
Ludovico Danza*
Stefano Galli*

Il quadro normativo di riferimento e le metodologie di approccio

Da alcuni anni l'attività di ricerca e sperimentazione dell'Istituto per le Tecnologie della Costruzione del Consiglio Nazionale delle Ricerche - ITC-CNR, partendo dai riferimenti normativi vigenti e da esperienze acquisite direttamente sul campo, persegue l'obiettivo di ridurre al minimo le variabili che ad oggi ancora influenzano gli output dei processi di "audit energetico" e di definire una procedura standardizzata in grado di portare a risultati univo-

ci indipendentemente dall'operatore o dal programma di calcolo utilizzato.

La Direttiva 2006/32/CE definisce l'audit energetico come "procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di un'attività e/o impianto industriale o di servizi pubblici e privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati".

Ai sensi della norma UNI EN 15603:2008 "Prestazione ener-

Tipologia	Subtipologia	Dati di input			Finalità
		Utilizzo	Clima	Edificio	
Calculated	Design	Standard	Standard	Progetto	Permessi di costruzione
	Standard	Standard	Standard	Reali	Analisi prestazioni energetiche
	Tailored	In funzione dello scopo		Reali	Ottimizzazione, validazione, progetti di retrofit
Measured	Operational	Reali	Reali	Reali	Analisi prestazioni energetiche

Tabella 1 - Audit energetico: tipologia delle metodologie di approccio (norma UNI EN 15603)

Analisi delle prestazioni energetiche	Auditing	Tipo di valutazione
Progettazione nuovi edifici		Calculated Energy Rating
Progettazione retrofit	X	Calculated/Measured Rating
Diagnosi energetica	X	Calculated/Measured Rating
Certificazione energetica	X	Calculated/Measured Rating

Tabella 2 - Approcci metodologici per i diversi tipi di analisi energetica

getica degli edifici - Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica”, sono presenti oggi due metodologie principali di audit energetico:

- “Calculated Energy Rating”;
- “Measured Rating”.

La metodologia “Calculated Energy Rating” si basa sul calcolo del fabbisogno energetico in condizioni di utilizzo standard ed esprime il potenziale intrinseco di un edificio in condizioni climatiche e di gestione dell’ambiente interno standard o di progetto. Ciò implica la definizione di parametri climatici e di profili d’uso standard per quanto attiene a illuminamento, ventilazione, affollamento, ecc., specificatamente stabiliti per le diverse zone termiche interne all’edificio, che invece conserva morfologie e caratteristiche tecnologico- costruttive di progetto o reali.

Diversamente, la metodologia “Measured Rating” rappresenta una modalità d’analisi basata sui consumi energetici monitorati e

fotografa il comportamento di un edificio in fase operativa. Tale metodologia evidenzia comportamenti anomali dell’utenza e del sistema edificio-impianto attraverso la cosiddetta “firma energetica” che mette a confronto i consumi energetici con la temperatura esterna.

L’analisi delle prestazioni energetiche di un edificio comporta diverse attività, ognuna con specifici obiettivi, relativi approcci metodologici e strumenti di supporto. Le diverse possibili fasi della valutazione dell’efficienza energetica di un edificio, seppur condotte da soggetti diversi, non devono tuttavia essere eseguite a “compartimenti stagni”, ma viceversa prevedere momenti di confronto e interazione. Un’interpretazione trasversale della metodologia sottolinea come la progettazione del nuovo e degli interventi di gestione e riqualificazione utilizzino le analisi della diagnosi energetica, condotta con ispezioni in opera e simulazioni virtuali. La raccolta e l’elaborazione dei dati sui consumi storici

consente di verificare la corretta realizzazione e gestione dell’edificio, eventualmente suggerendo adeguati interventi per sfruttare a pieno le potenzialità dell’edificio stesso. Inoltre va sottolineato che la progettazione edilizia si confronta con i limiti imposti dalle leggi e, conseguentemente, con la classificazione energetica, che offre un valore aggiunto sia prestazionale che immobiliare all’edificio. Infine la certificazione necessita di “raccomandazioni” volte a diagnosticare i potenziali miglioramenti dell’edificio e informare l’utente.

Gli indicatori di prestazione

In funzione delle prestazioni specifiche richieste all’edificio, esistono differenti set di indicatori di prestazione cui il progettista può fare riferimento negli audit energetici degli edifici. In linea generale, gli indicatori di prestazione possono essere suddivisi in tre macro-famiglie, cui fanno capo specifici riferimenti legislativi e/o normativi che ne identifica-

	Parametri	Principali variabili	Ricadute operative	Riferimenti normativi
INDICATORI ENERGETICI CEN	Fabbisogno Energia Netta Q_H	U-value, orientamento, S/V, ecc.	Qualità scelte edilizie e architettoniche	UNI TS 11300 - parte 1
	Energia Consumata Q_i	Impianti tecnologici installati, h, ecc.	Efficienza "sistema impianti"	UNI TS 11300 - parte 2
	Energia Primaria	Fonte energetica, rendimento rete elettrica	Strategia produzione energia elettrica e tipologia combustibili utilizzati	UNI TS 11300
	Emissioni CO ₂	Fonte energetica	Strategia utilizzo fonti energetiche a basso impatto ambientale	
INDICATORI AMBIENTALI INDOOR	Illuminamento medio	Orientamento, trasmissione luminosa, impianto illuminazione, sistema schermatura	Qualità illuminazione naturale e artificiale	UNI EN ISO 12464-1 UNI EN 15251
	Fattore luce diurna	Orientamento, trasmissione luminosa, sistema schermatura	Qualità illuminazione naturale	UNI 10840
	PMV	Temperatura aria, temperatura media rad., velocità relativa aria, pressione parziale vapore acqua	Valore medio voti per consistente gruppo di persone su scala sensazione termica a 7 punti (da "+ 3 molto caldo" a "- 3 molto freddo")	UNI EN 15251 UNI ISO 7730
	PPD		% persone insoddisfatte di un gruppo numeroso che prova troppo caldo o troppo freddo nello stesso ambiente	UNI EN 15251 UNI ISO 7730
INDICATORI ECONOMICO-FINANZIARI	TIR	Flusso finanziario tempo t	Indice assoluto resa investimento	--
	VAN	Fattore attualizzazione	Convenienza investimento	--
	PBS	Investimento iniziale Risparmio	Tempo di rientro	--
	TRC	Ricavi Capitale investito	Quantificazione rischio	--

Tabella 3 - Schema degli indicatori prestazionali

no unità di misura, equazioni di calcolo, ecc., affinché i risultati ottenuti siano caratterizzati da confrontabilità, ripetibilità e riferibilità; nello specifico:

- indicatori di prestazione energetica;
- indicatori di prestazione ambientale e qualità indoor;
- indicatori di prestazione eco-

nomico-finanziaria.

I principali indicatori di prestazione energetica trovano un esaustivo riferimento nei metodi sviluppati in ambito CEN. La loro valutazione fornisce indicazioni complete in merito alle strategie e alle scelte adottate al fine di incrementare l'efficienza energetica di un edificio.

Al riguardo, tuttavia, è importante comprendere come la lettura completa dell'efficacia di un intervento migliorativo in ambito energetico risulta attendibile solo se si verifica anche il benessere degli utenti: in tal senso gli indicatori di prestazione ambientale e di qualità indoor consentono di valutare le soluzioni proposte dal

	Input standardizzati	Input reali
Dati meteo	UNI 10349, parametri climatici ricostruiti su dati rilevati da stazioni meteo prossime	Installazione centralina meteo esterna rilevante dati climatici in tempo reale
Dati geometrici e materici	UNI EN ISO 6946, UNI 10351, UNI 10355, UNI EN 410, UNI EN ISO 10077-1, UNI TS 11300	Documentazione disponibile, dati rilevati in sopralluogo, analisi in situ (termografie, analisi endoscopiche, ecc.)
Dati impiantistici	UNI TS 11300	Documentazione di progetto, sopralluogo
Carichi interni e zone termiche	UNI TS 11300, UNI 10339, UNI 10380	Profili reali di occupazione e funzionamento definiti in sopralluogo

Tabella 4 - Griglia di relazione dati - input

punto di vista del comfort termoisometrico, illuminotecnico, acustico e di qualità dell'aria. Non può essere infine trascurato il parametro relativo alla sostenibilità economica dell'intervento, che può essere valutata attraverso indicatori di prestazione economico-finanziaria: tali indicatori consentono di quantificare il risparmio economico annuo conseguito grazie al miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio e di determinare il tempo di rientro dell'investimento necessario per gli interventi a ciò finalizzati.

Soluzioni strumentali di supporto metodologico-operativo

La valutazione dei suddetti indicatori e, quindi, delle prestazioni energetiche degli edifici può essere eseguita:

- attraverso un monitoraggio energetico-ambientale del comportamento reale dell'edificio;
- e/o attraverso simulazioni energetiche con strumenti analitici. Il monitoraggio energetico-ambientale è applicabile ai soli

edifici esistenti e ha il vantaggio di raccogliere dati reali propri delle zone termiche analizzate; tuttavia presenta le seguenti problematiche:

- intervento invasivo, pur se dipendente dal tipo di sistema di acquisizione impiegato;
- costi elevati;
- tempi lunghi (i dati vanno raccolti per tempi prolungati, in diverse ore della giornata e con varie condizioni climatiche esterne).

L'utilizzo di strumenti di simulazione energetica permette invece di eseguire valutazioni non solo su edifici esistenti, per i quali si registrano tempi di analisi molto più contenuti, ma anche su organismi edilizi in fase di progettazione.

Esistono al riguardo due principali metodi di calcolo:

- metodo "quasi-statico", basato sul calcolo del bilancio termico, tipicamente mensile o annuale, in cui si tiene conto degli effetti dinamici attraverso coefficienti di utilizzazione (l'interfaccia semplificata permette di affiancare nelle fase di progettazione e di analisi anche utenze non

specializzate ed i brevi tempi di calcolo consentono un'agevole ripetibilità delle simulazioni);

- metodo "dinamico", basato su un calcolo del bilancio termico tipicamente orario, in cui si tiene conto dei flussi di calore attraverso l'involucro dell'edificio e della variazione oraria dei carichi interni ed esterni (per tale approccio è richiesta una conoscenza approfondita dell'edificio oggetto di analisi, ai fini di una sua modellizzazione e dell'inserimento di numerosi dati di input).

Il metodo "dinamico" consente di calcolare il bilancio termico dell'edificio su intervalli di tempo anche decisamente brevi: di norma vengono calcolati bilanci orari, anche se alcuni software di simulazione dinamica (come "EnergyPlus") consentono di produrre report con discrezione temporale di frazioni di ora. Esso consente inoltre di simulare il comportamento reale sia dell'involucro (calore effettivamente immagazzinato o rilasciato, dispersioni termiche, infiltrazioni, ecc. in funzione delle condizioni climatiche esterne e degli apporti

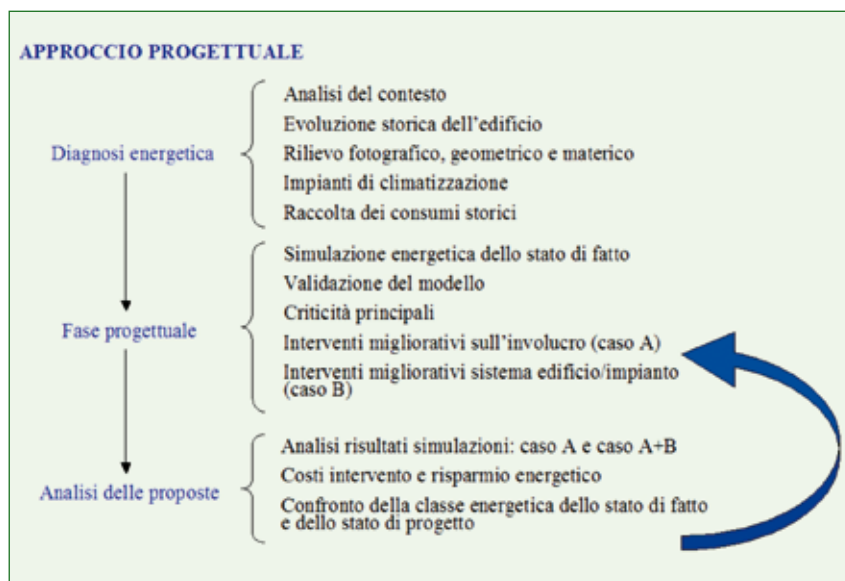


Figura 1 - Quadro delle fasi e sottofasi di articolazione del processo di audit energetico degli edifici

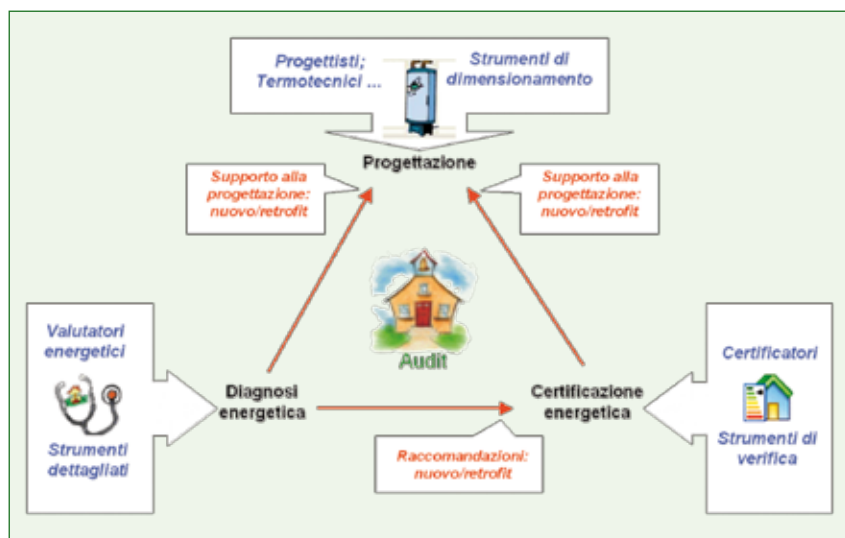


Figura 2 - Operatori del processo di audit energetico degli edifici

di calore dovuti al sole o ai carichi interni), sia degli impianti tenendo conto dei transitori. È possibile scegliere uno dei metodi sopraelencati a seconda della destinazione d'uso dell'edificio (residenziale, terziario, ecc.), della sua complessità, delle caratteristiche degli impianti adottati e del tipo di analisi dell'edificio

(requisiti di prestazione energetica, certificazione energetica, raccomandazioni, ecc.). Maggiore è il livello di dettaglio dello strumento, maggiore sarà la competenza necessaria per l'utilizzo e la potenziale accuratezza del risultato, così come anche il tempo e, quindi, il costo della simulazione energetica. Non

bisogna dimenticare però che gli strumenti di calcolo forniscono solo un'interpretazione e una rappresentazione numerica della realtà fisica.

Il processo ed i modelli operativi dell'ITC-CNR

L'approccio progettuale definito e sperimentato dall'ITC-CNR in interventi di diagnosi e di riqualificazione energetica si articola principalmente in tre macro-fasi, a loro volta suddivise in sottofasi:

- fase di diagnosi energetica (rilievo geometrico e materico dell'edificio, rilievo fotografico, raccolta dei consumi storici, raccolta dei dati tecnici degli impianti);
- fase di progetto (realizzazione di un modello di simulazione dinamica dello stato di fatto, validazione del modello attraverso il confronto con i consumi storici, individuazione delle criticità principali, individuazione dei possibili interventi migliorativi, simulazione dinamica per verificarne l'efficacia);
- fase di analisi delle proposte di gestione e riqualificazione (analisi e confronto dei risultati delle simulazioni, analisi costi/benefici, certificazione energetica).

Sulla base delle informazioni raccolte nell'ambito del rilievo dell'edificio, si utilizzano strumenti di simulazione dinamica in grado di rappresentare il comportamento dell'edificio stesso. Di seguito sono descritte alcune esperienze significative condotte in questo ambito dall'ITC-CNR.

“Calculated Energy Rating - Design”

Le strategie principali di valutazione energetica di cui tratta



Figura 3 - “Calculated Energy Rating - Design”: render e modello di simulazione dinamica dello studio energetico ITC-CNR per la realizzazione e la gestione di una nuova piscina con copertura in materiale innovativo ETFE

esaurientemente la norma UNI EN 15603 affondano le proprie radici in corrispondenti modalità di classificazione energetica degli edifici che, nel periodo antecedente all'introduzione delle classi energetiche, erano state codificate dal progetto di norma CEN prEN 15203:2005, con i nomi “Asset Rating” (per il calcolo del fabbisogno energetico in condizioni di utilizzo standard) e “Operational Rating” (basato sui consumi energetici misurati). Una delle prime esperienze applicative dell'ITC-CNR del metodo valutativo basato sull'“Asset Rating” risale al 2005 nell'ambito del concorso di idee per la realizzazione di un nuovo centro uffici terziario dirigenziale a Milano. In tale occasione, l'ITC-CNR era chiamato a fornire una valutazione energetico-ambientale dei dieci progetti concorrenti. Per quanto attiene alla valutazione energetica, l'ITC-CNR si è avvalso dell'approccio di “Calculated Energy Rating - Design” per assolvere ad una duplice funzione: definire la scala prestazionale di riferimento per la valutazione del consumo di energia primaria per unità di superficie dei progetti (attraverso la definizione di due livelli prestazionali di riferimento - “benchmark”) e

calcolare il fabbisogno energetico di ciascuno degli edifici in gara. L'utilizzo di profili d'uso, parametri climatici e caratteristiche degli edifici standard ha consentito di definire un terreno comune rispetto a cui confrontare il potenziale intrinseco di ciascun progetto concorrente rispetto agli altri e, al contempo, rispetto alla scala prestazionale costruita ad hoc per la tipologia edilizia in esame.

Il “Calculated Energy Rating” può essere impiegato non solo per la valutazione preliminare delle prestazioni energetiche di un edificio, ma anche per la verifica di soluzioni tecnologiche a supporto di una scelta progettuale: questo è l'approccio seguito dall'ITC-CNR anche per lo studio della copertura di una piscina realizzata con il nuovo materiale ETFE (Etilene-TetrafluoroEtilene), in termini di incidenza sul fabbisogno energetico per la climatizzazione, sul benessere termoisometrico degli occupanti e sulle temperature superficiali. L'approccio metodologico si è confrontato con la difficoltà di ricostruire attraverso il modello di calcolo la geometria complessa dell'edificio e di descrivere le proprietà fisiche (termiche e visive) del materiale innovativo

di copertura, che si differenziava in una soluzione standard trasparente e in una opaca isolata acusticamente. Era inoltre fondamentale riuscire a riprodurre il carico latente dovuto all'elevato indice di affollamento nei diversi ambienti e alla presenza delle vasche d'acqua a diversa temperatura in funzione della stagione dell'anno e dell'attività che vi era prevista. Oltre al fabbisogno energetico estivo ed invernale, calcolato al fine di permettere al committente un corretto dimensionamento degli impianti, è stata verificata l'assenza di fenomeni di surriscaldamento estivo (temperatura e umidità relativa nei giorni più critici) e sono state controllate le temperature superficiali in prossimità delle due tipologie di pannelli di copertura in ETFE.

“Calculated Energy Rating-Standard”

Il progetto di riqualificazione energetica di un edificio esistente ad uso terziario ubicato in Roma è un esempio di “Calculated Energy Rating- Standard”, in cui il modello matematico è stato realizzato con profili d'uso e dati climatici standard ma dati geometrici reali. Il progetto è esemplificativo delle difficoltà di



Figura 4 - “Calculated Energy Rating - Standard”: modelli di intervento dello studio energetico ITC-CNR per la riqualificazione e la gestione di un edificio per il terziario (soluzioni facciata continua e copertura fotovoltaica)

intervento su un edificio in funzione, realizzato nei primi anni del 1900, in cui le informazioni sull’involucro e sugli impianti sono state ricavate da documentazioni esistenti e sopralluoghi non invasivi.

Il confronto tra i calcoli analitici e i consumi storici ha permesso di validare la rispondenza del modello matematico.

Successivamente ad interventi migliorativi tradizionali per ridurre le dispersioni attraverso gli elementi di involucro nel periodo invernale e gli apporti solari nel periodo estivo, sono state proposte soluzioni tecnologiche innovative per risolvere problematiche specifiche: gli eccessivi apporti gratuiti di calore sono stati ridotti grazie a interventi in facciata con materiali a cambiamento di fase e sistemi di schermatura fotovoltaica; la cattiva gestione impiantistica e l’eccessivo consumo elettrico delle apparecchiature illuminanti sono stati risolti con sistemi di controllo domotico e condotti per il trasporto della luce natu-

rale; la ridotta efficienza degli impianti ha portato all’ipotesi di un sistema di trigenerazione abbinato a “solar cooling” e fotovoltaico. Un processo continuo di valutazione attraverso analisi energetiche, tecnico-economiche e di integrazione architettonica ha permesso di selezionare le strategie tecnologiche più idonee, in grado di garantire una riduzione del consumo di energia primaria per i fabbisogni di riscaldamento, climatizzazione estiva e di elettricità del 55% ed una riduzione della spesa annua di gestione pari al 60%.

“Calculated Energy Rating - Tailored”

Nel caso di edifici reali, anche di recente costruzione, l’utilizzo di modelli di simulazione costituisce uno strumento strategico per la valutazione nel tempo delle prestazioni in esercizio finalizzata alla previsione di possibili interventi di ottimizzazione impiantistica o domotico-gestionale.

L’applicazione del “Calculated

Energy Rating-Tailored” rappresenta lo schema logico-analitico più idoneo alla necessità in quanto, basandosi su dati reali e monitorati relativi a parametri meteo, profili d’uso e caratteristiche tecnologico-costruttive del sistema edificio-impianto, consente di “ricostruire” un modello di calcolo fedele dell’edificio e di formulare in maniera previsionale corretti schemi di gestione che validino o ottimizzino gli schemi reali di fruizione da parte dell’utenza. È quanto è stato studiato dall’ITC-CNR nel caso di un centro commerciale in fase di esercizio sito in provincia di Firenze per il quale è stata richiesta una valutazione del livello di sostenibilità ambientale. In tale quadro, è stato simulato l’edificio riproponendo geometria e tipologia costruttiva reali, profili di utilizzo rilevati secondo lo schema di gestione ed esercizio dell’edificio e parametro climatico ricostruito sulle condizioni meteo realmente verificatesi nel periodo corrispondente al monitoraggio effettuato. Il modello

ITC-CNR: dalla ricerca alla formazione

L'Istituto per le Tecnologie della Costruzione - ITC del CNR (www.itc.cnr.it) svolge attività di ricerca applicata, di certificazione tecnica, di trasferimento tecnologico e di formazione nell'ambito delle costruzioni, con focus di approfondimento in particolare sulle seguenti tematiche:

- materiali nuovi o tradizionali, utilizzati in modo innovativo e nuove soluzioni tecnologiche;
- nuove metodologie e strumenti per la valutazione prestazionale dei componenti, dei sistemi e delle opere di costruzione;
- valutazione e miglioramento della fruizione, della sicurezza e della qualità dell'ambiente costruito e

delle infrastrutture;

- condizionamento dell'aria, riscaldamento, refrigerazione ed impianti tecnologici per la costruzione; metodi e strumenti informatici innovativi, destinati a supportare le



fasi di progettazione, esecuzione e gestione delle opere;

- sistemi di gestione e diffusione di informazione scientifica e tecnica per il settore;
- attività di ricerca e servizi ad alto contenuto scientifico e tecnologi-

co con organismi e reti tecnico-scientifiche nazionali ed internazionali. Attraverso le complementari competenze di cui dispone nelle diverse sedi e la costante presenza nei più importanti ambiti scientifici ed istituzionali nazionali, europei ed internazionali, rappresenta un qualificato riferimento per l'imprenditoria avanzata del settore delle costruzioni.

L'ITC sviluppa inoltre strumenti multimediali e cura la formazione per la comunicazione e la diffusione di buone pratiche nel settore, anche di concerto con i principali Ministeri di riferimento per quanto concerne le Direttive Comunitarie di specifica competenza.

così costituito ha consentito una validazione diretta rispetto ai dati di monitoraggio dell'edificio, così come una verifica degli schemi gestionali e di funzionamento ed uno studio di benchmarking simile a quello precedentemente descritto.

Metodi e strumenti di validazione dei modelli

L'utilizzo di un modello di simulazione dinamica - come quelli sopra descritti - è necessariamente subordinato ad una procedura di validazione: a tal fine possono essere applicate differenti metodologie, in relazione all'uso che si intende fare del modello e ai dati reali disponibili.

Un impiego del modello a fini dell'analisi di uno specifico componente d'involucro o di impianto (situazione possibile in alcuni casi di "Calculated Energy Rating-Tailored") richiede una

validazione di tipo statistico, confrontando i dati reali e simulati e calcolando indici quali l'errore medio normalizzato e il coefficiente di varianza dell'errore quadratico medio: ciò comporta l'installazione di un sistema di monitoraggio per rendere disponibile un sufficiente numero di dati sperimentali.

Nel caso di un calcolo del fabbisogno energetico con dettaglio mensile (caso tipico di "Calculated Energy Rating-Standard"), è invece possibile effettuare una validazione semplificata, confrontando i consumi calcolati con i dati medi di consumo da bolletta registrati negli ultimi anni. Le differenze legate al parametro climatico utilizzato nei calcoli matematici rispetto alle condizioni climatiche reali di uno specifico anno vengono eliminate calcolando i consumi cumulati e i gradi-ora cumulati, definiti come differenza tra temperatura di

riferimento interna e temperatura media esterna (confrontando il coefficiente angolare dei consumi cumulati in funzione dei gradi-ora si stabilisce se il modello matematico è confrontabile con l'edificio reale).

* Ricercatori ITC-CNR