

Elena Lucchi

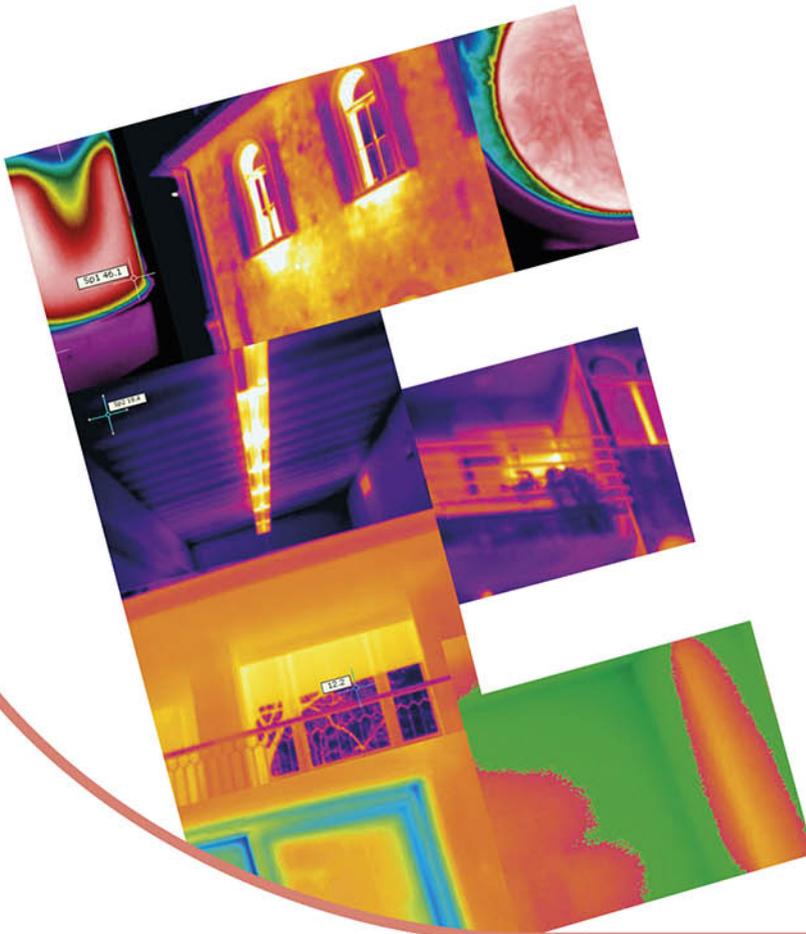


Dario Flaccovio Editore

# Diagnosi energetica strumentale degli edifici

Termografia e analisi non distruttive  
Normativa e procedure operative

[Scheda sul sito >](#)



- Analisi termografica a raggi infrarossi, sonica, termoflussimetrica, Blower Door Test ✓
- Involucro opaco: struttura costruttiva, stratigrafia, isolamento termico ✓
- Involucro trasparente: sistema di vetragezione, chiusure oscuranti ✓
- Impianti di climatizzazione ed elettrici ✓

Elena Lucchi

# **DIAGNOSI ENERGETICA STRUMENTALE DEGLI EDIFICI**

Termografia e analisi non distruttive - Normativa e procedure operative



Dario Flaccovio Editore

Elena Lucchi

DIAGNOSI ENERGETICA STRUMENTALE DEGLI EDIFICI

ISBN 978-88-579-0122-0

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: marzo 2012

Lucchi, Elena <1975->

Diagnosi energetica strumentale degli edifici : termografia e analisi non distruttive, normativa e procedure operative / Elena Lucchi. - Palermo : D. Flaccovio, 2012

ISBN 978-88-579-0122-0

1. Edifici – Impianti termici.

697 CDD-22

SBN Pal0241687

*CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"*

Stampa: Tipografia Priulla, marzo 2012

Il testo è stato sottoposto alla revisione di un Comitato Scientifico internazionale composto da esperti nell'ambito delle tecniche di diagnosi energetica degli edifici

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

## INDICE

### *Premessa*

#### **1. Diagnosi energetica degli edifici**

1.1. Introduzione .....	pag.	11
1.2. Tecniche di diagnosi energetica .....	»	14
1.2.1. Diagnosi ispettiva .....	»	17
1.2.2. Diagnosi standard .....	»	22
1.2.3. Diagnosi di dettaglio .....	»	26
1.2.4. Comparazione tra i diversi livelli diagnostici.....	»	33

#### **2. Strumenti e tecniche di diagnosi energetica**

2.1. Analisi diagnostiche strumentali.....	»	37
2.2. Prove non distruttive .....	»	44
2.2.1. Personale addetto .....	»	48
2.3. Esame visivo .....	»	49
2.3.1. Campi operativi .....	»	53
2.3.2. Personale tecnico .....	»	55
2.3.3. Procedura di analisi .....	»	56
2.4. Analisi termografica a raggi infrarossi.....	»	57
2.4.1. Fondamenti fisici .....	»	57
2.4.1.1. Trasmissione di calore per irraggiamento.....	»	60
2.4.1.2. Irraggiamento emisferico .....	»	61
2.4.1.3. Emissione termica.....	»	66
2.4.1.4. Radiazione di un corpo nero .....	»	67
2.4.1.5. Emissione da superfici reali .....	»	69
2.4.1.6. Legge di Kirchhoff .....	»	75
2.4.1.7. Fattore di vista .....	»	77
2.4.1.8. Applicazione pratica dei principi fisici .....	»	79
2.4.2. Strumentazione tecnica.....	»	86
2.4.2.1. Parametri di selezione .....	»	88
2.4.3. Campi operativi .....	»	93
2.4.4. Personale tecnico .....	»	99
2.4.5. Procedura di analisi .....	»	103
2.5. Blower Door Test .....	»	109
2.5.1. Fondamenti fisici .....	»	111
2.5.2. Strumentazione tecnica.....	»	112
2.5.3. Procedura operativa .....	»	117
2.5.4. Analisi termografica e blower door .....	»	132
2.6. Analisi sonica.....	»	134
2.6.1. Fondamenti fisici .....	»	134
2.6.2. Strumentazione tecnica.....	»	135
2.6.3. Impiego nella diagnosi energetica .....	»	138

2.6.4.	Procedura operativa .....	»	139
2.7.	Calcolo della trasmittanza termica .....	»	142
2.7.1.	Metodo tabellare .....	»	144
2.8.	Analisi termoflussimetrica .....	»	146
2.8.1.	Fondamenti fisici .....	»	146
2.8.2.	Strumentazione tecnica.....	»	149
2.8.3.	Impiego nella diagnosi energetica .....	»	152
2.8.4.	Procedura operativa per l'analisi in opera .....	»	153
2.8.5.	Procedura operativa per l'analisi in laboratorio .....	»	158
2.9.	Endoscopia.....	»	163
2.10.	Carotaggio.....	»	164
2.10.1.	Procedura operativa .....	»	165
<b>3. Monitoraggio ambientale nella diagnosi energetica</b>			
3.1.	Monitoraggio ambientale .....	»	167
3.1.1.	Monitoraggio termoisolometrico .....	»	167
3.1.2.	Monitoraggio luminoso .....	»	177
3.1.3.	Monitoraggio microclimatico.....	»	183
3.2.	Procedure di monitoraggio ambientale .....	»	189
<b>4. Involucro opaco</b>			
4.1.	Struttura costruttiva.....	»	195
4.1.1.	Ponti termici .....	»	195
4.1.2.	Termoforesi .....	»	198
4.2.	Stratigrafia dell'involucro opaco .....	»	200
4.2.1.	Chiusura verticale.....	»	202
4.2.2.	Solai.....	»	206
4.2.3.	Coperture .....	»	208
4.3.	Isolamento termico .....	»	210
4.3.1.	Materiali isolanti.....	»	210
4.3.2.	Sistema cappotto.....	»	214
4.4.	Inerzia termica .....	»	219
4.4.1.	Colore della finitura superficiale .....	»	222
4.4.2.	Ombreggiamento e geometria .....	»	222
4.5.	Rigonfiamento e distacco del rivestimento superficiale .....	»	223
4.5.1.	Esfoliazione e distacco della pellicola di finitura .....	»	223
4.5.2.	Corrugamento della pellicola di finitura.....	»	227
4.5.3.	Contaminazione chimica e biologica della finitura .....	»	228
4.5.4.	Distacco del rivestimento superficiale.....	»	232
4.6.	Tenuta all'aria .....	»	236
4.7.	Tenuta all'acqua .....	»	239
4.7.1.	Risalita capillare .....	»	242
4.7.2.	Condensazione interstiziale e superficiale.....	»	247
4.7.3.	Infiltrazione di acqua meteorica .....	»	251
4.7.4.	Infiltrazione accidentale .....	»	254
4.7.5.	Umidità da costruzione.....	»	256
4.7.6.	Germinazione microbica .....	»	256

**5. Involucro trasparente**

5.1. Sistema di vetrazione .....	»	261
5.1.1. Vetri tradizionali .....	»	264
5.1.2. Vetri innovativi .....	»	271
5.1.3. Pellicole .....	»	280
5.2. Telai .....	»	282
5.3. Chiusure oscuranti .....	»	286
5.3.1. Chiusure a pannello .....	»	287
5.3.2. Schermo solare .....	»	287
5.3.3. Persiana avvolgibile .....	»	289
5.3.4. Tende .....	»	291
5.4. Tenuta all'aria .....	»	293
5.5. Tenuta all'acqua .....	»	299

**6. Impianti**

6.1. Impianto di climatizzazione .....	»	309
6.1.1. Sistema di generazione .....	»	309
6.1.2. Sistema di distribuzione .....	»	317
6.1.3. Sistema di emissione .....	»	319
6.1.4. Sistema di regolazione .....	»	326
6.2. Ventilazione meccanica controllata .....	»	328
6.3. Impianti elettrici .....	»	329
6.3.1. Sorgenti luminose .....	»	331
6.3.2. Apparecchi di illuminazione .....	»	337
6.3.3. Circuito elettrico .....	»	340
6.4. Fonti energetiche rinnovabili .....	»	341
6.4.1. Solare termico .....	»	341
6.4.2. Solare fotovoltaico .....	»	344

Bibliografia .....	»	347
Riferimenti .....	»	351
Glossario .....	»	365

## Premessa

Efficienza energetica e comfort microclimatico sono aspetti contrapposti di uno stesso problema, quello della sostenibilità energetica e ambientale del patrimonio costruito. Il comparto edilizio assorbe mediamente il 40% delle fonti energetiche convenzionali (European Commission, 2005) e il problema è maggiore negli edifici esistenti, che in Italia costituiscono l'85% del totale. Diviene necessario, e molte volte obbligatorio, avviare un processo di riqualificazione ambientale, energetica ed economica dell'intero settore, attraverso la scelta di tecnologie costruttive e impiantistiche appropriate dal punto di vista dell'integrazione e della compatibilità con il patrimonio esistente. Per questa ragione, è fondamentale realizzare una precisa anamnesi delle caratteristiche strutturali, materiche e costruttive dei sistemi tecnologici e impiantistici che costituiscono il fabbricato. La diagnosi energetica e strutturale indica un insieme sistematico di attività di rilievo, raccolta e analisi delle prestazioni del sistema edificio-impianto, allo scopo di individuare l'efficienza, le carenze e le cause di eventuali vulnerabilità dell'immobile. Le informazioni necessarie per realizzare questo tipo di analisi riguardano le caratteristiche termofisiche dell'involucro e degli impianti e le modalità di uso e di gestione dell'edificio. Nel patrimonio esistente è particolarmente difficile reperire questi dati poiché, nella maggior parte dei casi, manca il progetto originario oppure sono state effettuate delle modifiche sostanziali rispetto all'assetto iniziale. Nel processo conoscitivo il progettista può essere aiutato dalle tecniche diagnostiche non invasive che, opportunamente integrate, restituiscono un'immagine attendibile delle caratteristiche strutturali e costruttive del fabbricato. Per questa ragione, il libro restituisce una visione completa e aggiornata delle più moderne tecniche di valutazione edilizia, al fine di attuare una riqualificazione mirata dell'immobile. La pubblicazione nasce dall'esperienza professionale e di ricerca svolta dall'autore nell'ultimo decennio presso il Politecnico di Milano, l'Universidad Politècnica de Catalunya di Barcellona e l'Universidad Politècnica de Valencia. Per questa ragione, il testo vuole fornire un supporto fattivo per gli operatori del settore, cercando di analizzare le procedure diagnostiche da un duplice punto di vista. Da un lato vengono approfonditi gli aspetti fisici, normativi e procedurali alla base delle analisi strumentali, cercando di spiegare sperimentalmente e visivamente i principi di fisica dell'edificio. Dall'altro vengono forniti esempi pratici derivanti dalla pratica professionale che illustrano i criteri di scelta degli strumenti, le tecniche di indagine, i trucchi del mestiere e gli errori più comuni di interpretazione delle diverse prove diagnostiche. Il libro è suddiviso in due parti che si riferiscono rispettivamente alle tecniche strumentali di diagnosi e alle metodologie operative di valutazione delle prestazioni del sistema edificio-impianto. In questo modo, la parte pratica si alleggerisce dei contenuti strettamente metodologici, per lasciare spazio a molteplici esempi pratici che possono aiutare il diagnosta nell'interpretazione delle analisi effettuate. La prima parte introduce gli strumenti e le procedure di audit energetico, ponendo particolare

attenzione alle tecniche utilizzabili in edilizia, che comprendono l'esame visivo, la termografia a raggi infrarossi, il *Blower Door Test*, l'analisi sonora, la termoflussimetria, l'endoscopia, il carotaggio e il monitoraggio ambientale. Per ciascuna tecnica sono indicati i principi fisici, gli strumenti di analisi, le normative di riferimento e le procedure operative più indicate per ottenere risultati affidabili. La seconda parte raccoglie una serie di casi pratici di valutazione delle prestazioni dell'involucro, degli impianti e delle fonti energetiche rinnovabili. Per quanto riguarda l'involucro opaco e trasparente, sono presentate le analisi strumentali che permettono di individuare la struttura portante, i ponti termici, la stratigrafia delle pareti, le caratteristiche di emissività superficiale, l'isolamento termico, i distacchi materici, l'umidità interstiziale e superficiale, le infiltrazioni di aria e acqua. Sono mostrate le tecniche di valutazione dell'efficienza e del funzionamento degli impianti termici, elettrici e di ventilazione meccanica controllata. Infine, sono spiegate le procedure di valutazione delle prestazioni, dell'efficienza e del degrado delle fonti energetiche rinnovabili. Completa l'informazione un ricco corredo grafico e fotografico che illustra nel dettaglio le caratteristiche degli strumenti, le modalità operative e gli esempi concreti per ciascun tipo di analisi.

# 1. DIAGNOSI ENERGETICA DEGLI EDIFICI

## 1.1. Introduzione

Le modifiche ambientali legate al surriscaldamento globale, all'aumento sempre più repentino del prezzo del petrolio e del gas naturale e ai dissesti ecologici recenti hanno portato a una maggiore consapevolezza politica verso il tema dell'efficienza energetica. Parallelamente, il concetto di sostenibilità ambientale, enunciato per la prima volta dal Rapporto Brundtland (1987), si è arricchito di significati economici, culturali, politici e sociali. Documento chiave in questo senso è il protocollo di Kyoto (1997) che contiene obiettivi vincolanti e quantificati di limitazione dei gas a effetto serra: ai Paesi aderenti è chiesto di ridurre le emissioni inquinanti in una misura non inferiore al 5,2% nel periodo 2008-2012, rispetto ai livelli del 1990<sup>1</sup>. Gli Stati europei si sono impegnati a limitare le emissioni climalteranti collettive dell'8,0%. Per raggiungere questi obiettivi, il protocollo propone una serie di meccanismi flessibili per l'acquisizione di crediti di emissioni che riguardano principalmente:

- *Clean Development Mechanism (CDM)*: consente alle nazioni industrializzate con un'economia in transizione di realizzare dei progetti sostenibili nei Paesi in via di sviluppo, al fine di produrre benefici ambientali in termini di riduzione delle emissioni di gas serra e di sviluppo economico e sociale. I Paesi che promuovono gli interventi generano crediti di emissione (CER);
- *Joint Implementation (JI)*: consente alle nazioni industrializzate con un'economia

<sup>1</sup> Il protocollo di Kyoto è un trattato internazionale in materia ambientale, stipulato a Kyoto, in Giappone, nel dicembre 1997 durante la conferenza COP3 della convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). Il trattato prevede l'obbligo per i Paesi industrializzati di operare nel periodo 2008-2012 una riduzione e una limitazione delle emissioni di gas a effetto serra, quali biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC) e esafluoro di zolfo (SF<sub>6</sub>) in una misura non inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990. La Comunità Europea ha firmato il protocollo il 29 aprile 1998. Sulla base degli accordi del 1997, il protocollo è entrato in vigore il 90° giorno dopo la ratifica di almeno 55 Paesi tra i 194 sottoscrittori originari (purché questi, complessivamente, coprano almeno il 55% delle emissioni globali di gas serra). Dal trattato sono stati esclusi i Paesi in via di sviluppo per evitare di frapporre ulteriori barriere alla loro crescita economica. L'Unione Europea ha ratificato il protocollo di Kyoto il 31 maggio 2002 ed è entrato in vigore il 16 febbraio 2005, dopo la ratifica della Russia. I paesi che hanno ratificato il documento, al fine di raggiungere il loro obiettivo di riduzione, possono avvalersi anche dei cosiddetti *meccanismi flessibili*, ovvero di misure quali *Emission Trading (ET)*, *Clean Development Mechanism (CDM)* e *Joint Implementation (JI)*. Le misure hanno come obiettivo peculiare la minimizzazione delle emissioni climalteranti ottenibili a parità di investimento.

in transizione di realizzare progetti per ridurre le emissioni di gas serra in un altro paese appartenente allo stesso gruppo e di utilizzare i crediti derivanti congiuntamente con lo Stato ospite;

- *Emission Trading* (ET): consente lo scambio di crediti di emissione tra nazioni industrializzate con economia in transizione. Un Paese che ha ridotto le proprie emissioni di gas serra in una quota superiore al proprio obiettivo può cedere i crediti acquisiti a un altro che non è riuscito a rispettare gli impegni ambientali presi.

Il recepimento del protocollo di Kyoto a livello europeo ha portato allo sviluppo di molteplici politiche volte al comparto edilizio che, mediamente, assorbe il 40% delle fonti energetiche convenzionali (European Commission, 2005 e 2010) e, a differenza dei settori industriale e dei trasporti, ha iniziato ad attuare interventi di efficienza energetica solo recentemente. Il problema è maggiore negli edifici esistenti, che in Italia costituiscono l'85% del totale e sono dotati di elevato valore storico-artistico e di scarsa qualità energetica. In particolare, sono state pubblicate due direttive europee con l'intento di aumentare le prestazioni energetiche degli edifici esistenti e di nuova costruzione. La Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia ha imposto l'implementazione del rendimento energetico degli edifici, in funzione del benessere interno e dell'efficacia economica degli interventi. La direttiva ha definito le seguenti azioni per migliorare l'efficienza energetica nel settore edilizio:

- metodologia comune di calcolo del rendimento energetico degli immobili che considera l'intero sistema edificio-impianto, costituito dall'involucro edilizio, dagli impianti di climatizzazione, illuminazione e produzione di acqua calda e dalle fonti energetiche rinnovabili;
- requisiti minimi relativi al rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione ed esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti;
- sistema di certificazione energetica degli edifici ed esposizione degli attestati di rendimento energetico negli immobili di proprietà pubblica. Gli attestati devono essere aggiornati ogni cinque anni e quando sono intervenute delle modifiche della qualità energetica degli edifici;
- ispezione periodica delle caldaie e degli impianti centralizzati di aria condizionata e valutazione degli impianti di riscaldamento dotati di caldaie installate da oltre 15 anni.

La direttiva europea pone ordine su tutte le questioni legate alla valutazione del rendimento energetico degli edifici, introducendo l'obbligatorietà di certificazione e di attestazione energetica degli immobili esistenti e di nuova costruzione. Secondo tale visione, la certificazione energetica deve identificare una procedura trasparente e confrontabile di analisi della qualità energetica degli edifici.

Le misure sono state recepite a livello nazionale e locale dai diversi Paesi membri attraverso l'elaborazione di uno schema di certificazione energetica che considera le specificità costruttive e tecnologiche locali. A livello nazionale è stata sviluppata una procedura di calcolo basata sulla normativa UNI TS 11300:2008/2010, *Prestazioni*

*energetiche degli edifici*<sup>2</sup>. Alcune regioni e province autonome hanno proposto un modello di calcolo più restrittivo rispetto al protocollo nazionale (Lombardia, Valle d'Aosta, Piemonte, Liguria, Emilia Romagna, Puglia e province autonome di Bolzano e di Trento). Nonostante le differenze regionali, la legislazione italiana stabilisce limiti e parametri prestazionali non differenziati per la nuova edificazione e per l'adeguamento dell'esistente. Un approccio così riduttivo è adatto alla certificazione energetica che propone una procedura trasparente e confrontabile di valutazione energetica, ma non alla diagnosi degli immobili esistenti, in quanto perde di vista un calcolo di più ampia portata che comprende i costi, i consumi, il degrado e le procedure legate alla gestione, all'utilizzo e alla manutenzione del bene.

La direttiva è stata rivista con la decisione della Commissione Europea di raggiungere nel 2020 un drastico taglio delle emissioni di gas serra (almeno del 20% rispetto al 1990) e di aumentare al 20% la quota delle fonti rinnovabili sul consumo totale di energia (Direttiva 2010/31/CE sulla prestazione energetica nell'edilizia). Gli interventi propongono una forte accelerazione del processo di miglioramento energetico e sono rivolti indistintamente agli edifici di nuova costruzione e al patrimonio edilizio esistente<sup>3</sup>. Per gli edifici di nuova costruzione è necessario valutare la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi alternativi ad alta efficienza come fonti rinnovabili, cogenerazione, teleriscaldamento, telerinfrescamento urbano o collettivo e pompe di calore. Per gli edifici esistenti è necessario garantire che l'involucro edilizio soddisfi i requisiti minimi di prestazione energetica, laddove le misure sono tecnicamente, funzionalmente ed economicamente realizzabili. Inoltre, nelle ristrutturazioni importanti è opportuno valutare i sistemi alternativi ad alto rendimento energetico. In tutti i casi, gli impianti tecnici devono soddisfare requisiti relativi al rendimento energetico globale, alla corretta installazione, alle dimensioni, alla regolazione e al controllo termico e luminoso. Gli Stati membri devono anche provvedere affinché entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia

<sup>2</sup> La normativa è stata sviluppata nelle seguenti specifiche tecniche:

- UNI TS 11300-1:2008, *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale*;
- UNI TS 11300-2:2008, *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*;
- UNI TS 11300-3:2010, *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva*;
- UNI TS 11300-4 (non ancora pubblicata), *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria*.

<sup>3</sup> Studi recenti dimostrano che agire imponendo limiti di consumo energetico solo alle nuove costruzioni non è sufficiente per conseguire gli obiettivi internazionali imposti dal protocollo di Kyoto. Nel 2007, l'VIII Commissione Ambiente, Territorio e Lavori Pubblici della Camera dei Deputati (2007) ha individuato per il nostro Paese alcune priorità nelle strategie di riduzione delle emissioni climateranti per il settore edilizio, stimando un potenziale superiore al 50%. Tra queste, figurano il risanamento edilizio in chiave energetica e ambientale, l'incremento dell'efficienza degli impianti di riscaldamento e raffrescamento, gli interventi di riduzione delle dispersioni termiche dell'involucro edilizio e l'integrazione dei sistemi impiantistici con tecnologie energetiche rinnovabili.

quasi zero e a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici siano edifici a energia quasi zero.

La Direttiva 2006/32/CE, *L'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici*, invece, obbliga gli enti pubblici a effettuare una diagnosi energetica in caso di interventi di riqualificazione immobiliare. Non è definita una procedura di diagnosi valida a livello europeo, ma viene lasciata la libertà ai diversi Stati di stabilire regole e metodi conformi con la legislazione nazionale, le procedure di certificazione energetica e le tecniche costruttive locali.

Parallelamente, l'evoluzione del mercato energetico e la crescita del settore terziario a discapito dell'industria hanno accentuato l'importanza delle politiche e delle azioni rivolte alla domanda: l'utente finale svolge un ruolo centrale per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di anidride carbonica. L'accresciuta sensibilità da parte dei clienti finali e degli operatori verso i temi dell'energia e dell'ambiente favorisce l'applicazione della normativa nazionale e delle direttive europee, creando le premesse per una crescita importante del mercato.

## 1.2. Tecniche di diagnosi energetica

La diagnosi energetica è stata definita a livello europeo nella Direttiva 2006/32/CE come una "procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo di un edificio, di un gruppo di edifici, di un'attività, di un impianto industriale o di un servizio pubblico o privato, a individuare e a quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati". Secondo la direttiva, la certificazione si considera equivalente a una diagnosi quando individua misure di miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici. La definizione di *audit energetico* è ripresa a livello nazionale nel Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115, *Attuazione della Direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza energetica negli usi finali*, che ne ribadisce i contenuti e gli aspetti peculiari. Secondo quanto previsto dal provvedimento, gli obblighi della pubblica amministrazione prevedono:

- il ricorso, anche in presenza di esternalizzazione di competenze, agli strumenti finanziari per il risparmio energetico e per la realizzazione di interventi di riqualificazione, compresi i contratti di rendimento energetico che prevedono una riduzione dei consumi di energia misurabile e predeterminata;
- le diagnosi energetiche degli edifici pubblici o a uso pubblico, in caso di interventi di ristrutturazione degli impianti termici, compresa la sostituzione dei generatori, o di riqualificazioni edilizie che riguardino almeno il 15% della superficie esterna dell'involucro edilizio che racchiude il volume lordo riscaldato;
- la certificazione energetica degli edifici pubblici o a uso pubblico nel caso in cui la metratura utile totale superi 1.000 metri quadrati e l'affissione dell'attestato di certificazione in un luogo facilmente accessibile dell'edificio, secondo quanto previsto dal Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e successive modifiche.

Analogamente a quanto stabilito dalla Direttiva Europea 2006/32/CE, la certificazione

energetica si considera equivalente a una diagnosi quando individua misure di miglioramento dell'efficienza degli immobili esistenti. La metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti si basa sulla normativa UNI TS 11300:2008/2010. La norma, oltre a definire una procedura di calcolo per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici, individua tre tipologie di analisi energetica (tabella 1.1).

**Tabella 1.1. Tipologie di valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici (fonte: elaborazione dalla norma UNI TS 11300:2008)**

Tipo di valutazione energetica	Dati d'ingresso			Scopo della valutazione
	Uso	Clima	Edificio	
Di progetto ( <i>design rating</i> )	Standard	Standard	Progetto	Permesso di costruire
Standard ( <i>asset rating</i> )	Standard	Standard	Reale	Certificazione energetica
Adattata all'utenza ( <i>tailored rating</i> ) <sup>*</sup>	In funzione dello scopo		Reale	Ottimizzazione, validazione, diagnosi e programmazione degli interventi di riqualificazione

Note:

<sup>\*</sup> La diagnosi energetica degli edifici appartiene a questa categoria di valutazione.

Operativamente, l'audit energetico indica un insieme sistematico di attività di rilievo, raccolta e analisi delle prestazioni e dei consumi energetici del sistema edificio-impianto, allo scopo di individuare le cause degli sprechi e la presenza di eventuali malfunzionamenti. Una volta evidenziate le carenze e le inefficienze del sistema, propone gli interventi per riqualificare ambientalmente, energeticamente ed economicamente l'immobile. Gli obiettivi primari della diagnosi energetica riguardano:

- definizione del fabbisogno energetico dell'edificio;
- definizione di una serie di indicatori di prestazione dell'involucro e degli impianti per pesare il fabbisogno energetico stimato sui reali consumi dell'edificio;
- individuazione della presenza di situazioni di degrado dell'immobile o di malfunzionamento degli impianti;
- definizione degli interventi di riqualificazione tecnologica più appropriati per l'immobile;
- valutazione della fattibilità tecnica ed economica di ciascuna azione di riqualificazione;
- miglioramento delle condizioni di comfort e di sicurezza degli utenti;
- riduzione delle spese di gestione dell'immobile.

Parallelamente, attraverso la realizzazione di una diagnosi energetica è possibile raggiungere i seguenti obiettivi secondari:

- conoscenza degli aspetti geometrici e dimensionali dell'edificio, effettuando, dove necessario, il rilievo geometrico dell'immobile e aggiornando le cartografie;
- individuazione degli aspetti tecnologici dell'involucro dell'edificio;
- individuazione degli aspetti impiantistici dell'edificio e controllo della corretta gestione e funzionamento;

## Diagnosi energetica strumentale degli edifici

- ricostruzione di un'immagine globale aggiornata dello stato di manutenzione;
- valorizzazione economica dell'immobile attraverso il miglioramento della classe energetica di appartenenza e la riqualificazione delle caratteristiche architettoniche;
- informazione dell'utente sul migliore utilizzo dell'edificio;
- informazione dell'utente e del committente sugli incentivi finanziari disponibili per effettuare gli interventi di riqualificazione dell'immobile.

Thumann e Younger (2003), nel testo che ha dato origine a tutta la teoria relativa alla diagnosi energetica degli edifici, hanno definito tre livelli di analisi (tabella 1.2):

- diagnosi ispettiva: effettua una valutazione semplificata dell'efficienza energetica del sistema edificio-impianto;
- diagnosi standard: mira a quantificare i consumi e l'efficienza energetica dei singoli componenti edilizi e impiantistici;
- diagnosi di dettaglio: realizza un'analisi complessa delle prestazioni del sistema edificio-impianto attraverso l'elaborazione di un modello di calcolo statico o dinamico volto a quantificare le prestazioni energetiche dell'edificio nelle effettive condizioni d'uso.

**Tabella 1.2. Caratteristiche delle diagnosi energetiche di tipo ispettivo, standard e di dettaglio (fonte: elaborazione da AA.VV., 2007 e da Thumann e Younger, 2003)**

Livello di analisi	Caratteristiche
Diagnosi ispettiva	Effettua una valutazione semplificata dell'efficienza energetica del sistema edificio-impianto attraverso l'ausilio di check-list di base che verificano le prestazioni energetiche, il funzionamento e l'efficienza dei componenti edilizi e impiantistici. Al termine dell'analisi si stabilisce se è necessario approfondire le indagini effettuando una diagnosi standard
Diagnosi standard	Effettua una valutazione dettagliata delle prestazioni energetiche dei singoli componenti edilizi e impiantistici, al fine di identificare con precisione le cause degli sprechi. Si rivolge alle parti di edificio in cui sono state localizzate delle vulnerabilità o dei malfunzionamenti. Successivamente, si individuano le azioni di retrofit e i potenziali risparmi energetici ottenibili per ogni componente, mediante l'ausilio di specifici strumenti e tools di valutazione delle prestazioni energetiche
Diagnosi di dettaglio	Ha l'obiettivo di quantificare i consumi e l'efficienza energetica dell'intero sistema edificio-impianto attraverso la simulazione statica e dinamica del comportamento energetico e ambientale. In seguito a quest'analisi, si individuano le azioni di retrofit più opportune, i risparmi energetici ottenibili, i costi e i tempi di ritorno economico degli interventi proposti

In linea di massima i tre livelli di diagnosi energetica si compongono di quattro fasi principali che riguardano:

- raccolta delle informazioni relative agli aspetti edilizi (caratteristiche geometriche e fisiche dell'edificio, caratteristiche termofisiche dell'involucro opaco e trasparente), impiantistici (prestazioni di impianti di climatizzazione invernale, climatizzazione estiva, ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione, elettrico, ecc.) e gestionali (orari di accensione e giorni di attivazione degli impianti, temperature di funzionamento, dati di consumo delle utenze elettriche, termiche, frigorifere e di acqua calda sanitaria);

- individuazione del modello energetico dell'edificio e valutazione puntuale dei reali flussi di energia;
- individuazione degli interventi migliorativi più opportuni per ridurre le dispersioni termiche e le spese energetiche, per migliorare il comfort ambientale degli utenti e la classe energetica dell'edificio;
- valutazione tecnica ed economica della fattibilità degli interventi proposti.

Ciascun livello diagnostico è supportato da tecniche, *tools* e strumenti specifici, che permettono di raggiungere un particolare grado di approfondimento analitico. In figura 1.1, per ciascun livello diagnostico sono indicate le modalità operative di diagnosi energetica del patrimonio edilizio.

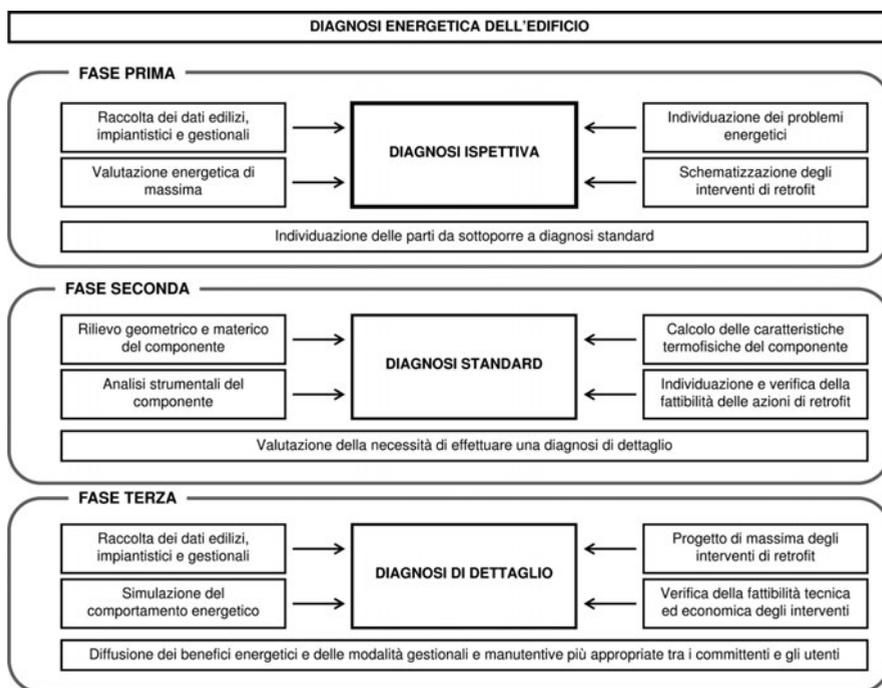


Figura 1.1. Fasi di diagnosi energetica dell'edificio

### 1.2.1. Diagnosi ispettiva

La diagnosi ispettiva effettua una valutazione semplificata dell'efficienza energetica del sistema edificio-impianto attraverso l'ausilio di *check-list* di base che verificano le prestazioni energetiche, il funzionamento e l'efficienza dei componenti edilizi e impiantistici.

Al termine dell'analisi si stabilisce se è necessario approfondire le indagini, effettuando una diagnosi più approfondita rivolta ai componenti sui quali sono stati rilevati dei problemi (standard) o all'intero edificio (diagnosi di dettaglio).

Lo studio si compone di tre fasi principali:

- acquisizione delle informazioni relative alla struttura edilizia, al funzionamento impiantistico e alle modalità di gestione dell'immobile;
- valutazione energetica dell'edificio;
- stesura di una relazione che descriva le prestazioni energetiche e ambientali dell'edificio ed, eventualmente, individui la necessità di ulteriori approfondimenti diagnostici.

Prima di iniziare la diagnosi, è necessario raccogliere la documentazione tecnica dell'edificio e individuare le problematiche logistiche principali che possono influire sull'analisi energetica e dello stato di manutenzione dell'immobile. Questa prima fase è necessaria per confrontarsi con il committente e per stabilire gli obiettivi dell'analisi. I dati da raccogliere preventivamente comprendono le informazioni localizzative, energetiche e dimensionali dell'edificio. In particolare, devono essere individuate le seguenti informazioni:

- informazioni di localizzazione relative alla località, al committente, all'anno di costruzione e di eventuale riqualificazione;
- rilievo fotografico dell'edificio;
- planimetrie di massima dell'edificio;
- relazioni ed elaborati tecnici descrittivi dell'edificio;
- schema impiantistico e dati di funzionamento dell'impianto termico;

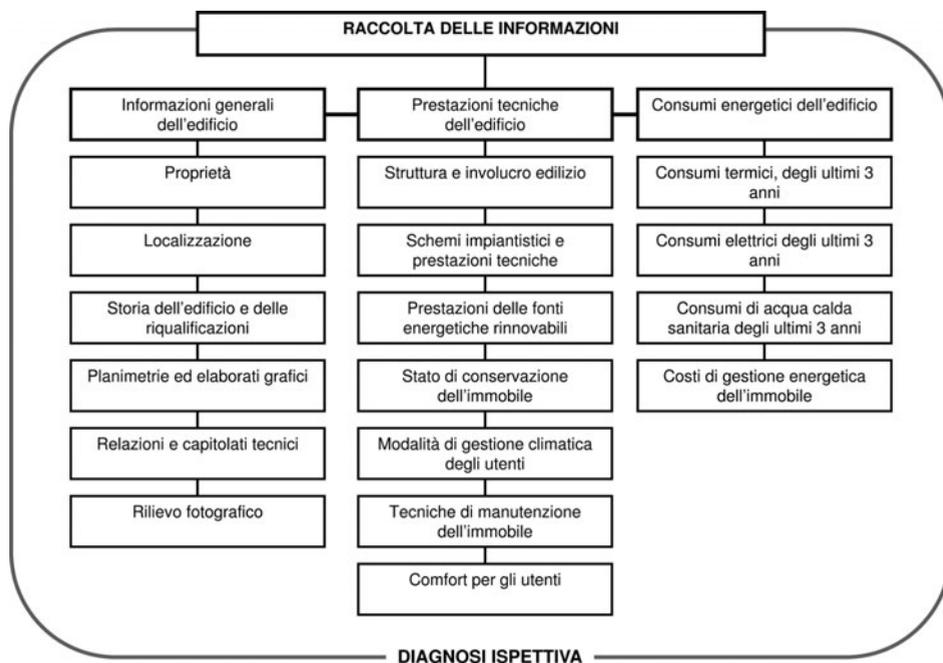


Figura 1.2. Informazioni necessarie per effettuare la diagnosi energetica ispettiva dell'edificio

- storico dei consumi termici, elettrici e di acqua calda sanitaria degli ultimi anni (da 3 a 5 anni);
- dati gestionali dell'edificio relativi all'età, al numero, alla tipologia e alla sussistenza di condizioni di mancata sicurezza o di malessere per gli occupanti;
- stato di conservazione dell'involucro e di funzionamento degli impianti.

In figura 1.2 sono schematizzate le informazioni necessarie per effettuare la diagnosi energetica ispettiva degli edifici. Nel caso in cui non siano presenti gli elaborati grafici (piane, prospetti e sezioni) e descrittivi (capitolato prestazionale e computo metrico estimativo) del progetto, le informazioni devono essere integrate con rilievi geometrici sommari delle dimensioni dell'edificio, delle superfici disperdenti, dei volumi interni e dello schema impiantistico. Il tempo medio di visita è di un giorno per un edificio residenziale e di due o tre giorni per un edificio più complesso. I rilievi geometrici e morfologici da effettuare *in situ* comprendono:

- geometria della struttura;
- stratigrafia delle sezioni murarie, utilizzando scassi già esistenti o piccoli saggi che permettano di ricostruire facilmente l'integrità della muratura;
- caratteristiche tecnologiche e costruttive dei diversi componenti edilizi, quali struttura portante, murature, coperture, solette e serramenti;
- prestazioni e schema degli impianti di climatizzazione;
- tipologia dei terminali scaldanti;
- impianti di produzione di acqua calda sanitaria;
- dimensioni degli apparecchi e tipologia delle sorgenti luminose;
- caratteristiche e consumi di apparecchi elettrici ed elettrodomestici;
- prestazioni delle fonti energetiche rinnovabili;
- presenza di sistemi di controllo e di tecniche di gestione energetica;
- patologie di degrado e di malfunzionamento.

Il rilievo geometrico è essenziale nelle operazioni diagnostiche, in quanto fornisce i dettagli strutturali e identifica gli elementi sui quali concentrare indagini più approfondite. Questa fase deve essere accompagnata da un'analisi documentaria dell'evoluzione storica della struttura, atta a giustificare la presenza di determinate tecnologie, materiali, modalità di posa in opera, disomogeneità e danneggiamenti. In particolare, sugli edifici storici, è fondamentale confrontare le informazioni rinvenute dall'analisi documentaria con la manualistica storica, al fine di contestualizzare l'edificio nell'epoca di appartenenza e di individuare le tecniche costruttive utilizzate. Le informazioni relative alla gestione, allo stato di conservazione, al funzionamento impiantistico e alla presenza di eventuali degradi possono essere ottenute mediante un esame visivo. Questo tipo di analisi può essere supportata dai seguenti strumenti:

- blocco per scrivere;
- computer portatile;
- calcolatrice;
- strumenti di misura geometrica di tipo lineare (metro, distanziometro, bindella e spessivetro);

- mini *data-logger*;
- macchina fotografica digitale;
- cacciaviti;
- *check-list* semplificate, che sono un utile supporto per raccogliere i dati in modo rapido e ordinato.

Le informazioni possono essere raccolte tramite documentazione grafica e fotografica, illustrando le tecnologie edilizie e impiantistiche presenti, i problemi gestionali rinvenuti e le patologie di degrado dei singoli componenti. Il monitoraggio ambientale di tipo puntuale, effettuato con mini *data-logger* dotati di sonde termoigrometriche, può fornire informazioni oggettive sulle reali modalità di utilizzo dell'edificio da parte degli utenti, specie per quanto riguarda le temperature operanti e il funzionamento degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva.

I problemi o le necessità di approfondimento con studi supplementari possono essere annotati sulle piante, sui prospetti oppure su uno schema grafico dell'immobile realizzato direttamente *in situ*. In questo modo, grazie al riscontro diretto tra il difetto e la sua localizzazione, si restituisce un'immagine chiara e ordinata dell'edificio.

Al termine dell'analisi è necessario realizzare un *report* di diagnosi che comprende le seguenti informazioni:

- sommario della relazione;
- informazioni di localizzazione, comprendenti il luogo, i dati identificativi del committente, l'anno di costruzione e di riqualificazione, l'orientamento dell'edificio rispetto ai punti cardinali, ecc.;
- caratteristiche termofisiche dell'edificio, relative alla struttura portante, alla stratigrafia presunta dell'involucro opaco, alle caratteristiche dell'involucro trasparente e di eventuali serre, patii o altri elementi;
- caratteristiche dell'impianto di climatizzazione invernale ed estivo, del tipo di vettore termico e della tipologia dei terminali scaldanti;
- caratteristiche dell'impianto elettrico e degli apparecchi di illuminazione;
- modalità gestionali e manutentive;
- inefficienze del sistema edilizio;
- inefficienza del sistema impiantistico;
- inefficienze gestionali;
- individuazione dei problemi energetici;
- schematizzazione dei più convenienti interventi di risparmio energetico da attuare sull'involucro, sull'impianto e sulle modalità gestionali dell'edificio;
- appendici con documentazione grafica e fotografica raccolta;
- individuazione delle parti dell'edificio che richiedono una diagnosi energetica standard.

L'analisi ispettiva è particolarmente utile ai fini diagnostici perché permette di conoscere la situazione energetica globale dell'edificio e di individuare le parti che richiedono un approfondimento diagnostico strumentale. Questo tipo di analisi richiede poche opere per la raccolta delle informazioni e qualche giorno per la realizzazione del *report*. Il costo dell'analisi, pertanto, è abbastanza contenuto (tabella 1.3).

Tabella 1.3. Caratteristiche dell'analisi diagnostica di tipo ispettivo

Tecniche e strumenti	Elemento da realizzare	Obbligatorietà
Raccolta della documentazione	Planimetrie di massima	■ ■
	Piante, prospetti e sezioni dell'edificio	■
	Capitolato prestazionale e descrittivo	■
	Computo metrico estimativo	■
Rilievo delle caratteristiche dimensionali	Dimensioni di massima	■
Rilievo delle caratteristiche costruttive	Struttura costruttiva	■
	Involucro opaco	■
	Involucro trasparente	■
	Stato di conservazione	■
Analisi documentaria	Analisi dei documenti storici	-
Rilievo delle caratteristiche impiantistiche	Schema termico	■
	Sistemi di emissione	■
	Impianto di acqua calda sanitaria	■
	Impianto elettrico e di illuminazione	■
	Fonti energetiche rinnovabili	■
Analisi dei dati sui consumi energetici	Storico dei consumi degli ultimi 36 mesi	■
Analisi delle modalità di gestione	Esame visivo	■
	Rilievo termoigrometrico	■
Analisi del comfort	Questionari	-
	Post Occupancy Evaluation	-
Modulistica di supporto	Check-list di base	■ ■
Strumenti di calcolo	Fogli di calcolo	■
	Modelli di calcolo semplificati	-
	Simulazione statica e dinamica dei singoli componenti	-
	Simulazione statica dell'edificio	-
	Simulazione dinamica dell'edificio	-
Misure da effettuare	Temperatura dell'aria	-
	Temperatura superficiale	-
	Temperatura radiante	-
	Umidità relativa dell'aria	-
	Velocità dell'aria	-
	Livello di illuminamento	-
	Esame visivo	■ ■
Analisi strumentali	Analisi fotografica	■ ■
	Rilievo geometrico	■
	Analisi termografica a raggi infrarossi	-
	Analisi termografica con <i>blower door</i>	-
	Indagine sonora	-
	Analisi termoflussimetrica	-
	Endoscopia	-
	Carotaggio	-
	Monitoraggio microclimatico	■
	Analizzatore di rete elettrica	-
Eventuali altre analisi specialistiche di fessurazioni, prove penetrometriche, georadar	-	

segue

## Diagnosi energetica strumentale degli edifici

segue

Tecniche e strumenti	Elemento da realizzare	Obbligatorietà
Sistemi di monitoraggio da utilizzare	Report sintetico con individuazione delle inefficienze edilizie, impiantistiche e gestionali, indicazioni sulle opportunità di approfondire l'indagine	■ ■
Risultati attesi	Pochi giorni	-
Tempi medi previsti	Limitato	-
Costo	Limitato	-

Note:  
 ■ ■ = Misura obbligatoria; ■ = Misura non obbligatoria; - = Misura non richiesta

**DA RICORDARE**

La diagnosi energetica ispettiva effettua una valutazione semplificata delle prestazioni energetiche, del funzionamento e dell'efficienza dei componenti edilizi e impiantistici. Al termine dell'analisi si stabilisce se è necessario approfondire le indagini effettuando una diagnosi rivolta ai componenti sui quali sono stati rilevati dei problemi (standard) o all'intero edificio (di dettaglio).

**1.2.2. Diagnosi standard**

La diagnosi standard si rivolge alle parti di edificio in cui sono stati localizzati dei malfunzionamenti e delle inefficienze, al fine di quantificare i consumi energetici e di identificare con precisione le cause degli sprechi dei singoli componenti edilizi e impiantistici. Successivamente, si individuano le azioni di *retrofit* e i potenziali risparmi energetici ottenibili per ogni componente, mediante l'ausilio di specifici strumenti e *tools* di valutazione delle prestazioni energetiche. L'analisi è strutturata nelle seguenti fasi operative:

- analisi strumentale dei componenti edilizi e dei sistemi impiantistici che necessitano di un intervento di riqualificazione energetica;
- calcolo delle prestazioni termiche dei singoli sub-sistemi;
- stima del costo e del tempo di ritorno economico dei diversi interventi proposti.

Le analisi strumentali sono costituite da tecniche diagnostiche non distruttive, quali la termografia a raggi infrarossi (paragrafo 2.4), il *Blower Door Test* (paragrafo 2.2.5), l'analisi sonica e ultrasonica (paragrafo 2.6), l'analisi termoflussimetrica (paragrafo 2.8) e il monitoraggio energetico e ambientale (paragrafi 3.1 e 3.2). Lo studio deve essere supportato dalla misura delle caratteristiche geometriche dei diversi componenti edilizi, attraverso il rilievo di spessori, altezze, dimensioni e superfici disperdenti.

A questo scopo esistono vari strumenti di analisi lineare, come il metro lineare, lo spessivetro, la bindella, il distanziometro, il calibro, il truschino graduato, la livella e l'estensimetro, e areica, come il laser a scansione (o laser scanner). L'integrazione tra queste analisi permette di conoscere in modo sufficientemente dettagliato le proprietà termofisiche di una struttura costruttiva.

In particolare, è possibile conoscere la struttura costruttiva, le caratteristiche fisiche dei materiali utilizzati, la stratigrafia dell'involucro opaco (paragrafo 4.2), la densità della muratura, la presenza di materiale isolante (paragrafo 4.3), lo stato di conservazione dei diversi elementi, le tecniche di posa, la presenza di infiltrazioni d'aria

(paragrafo 4.6), di acqua (paragrafo 4.7), di germinazioni microbiche, di umidità interstiziale, di distacchi superficiali o materici.

Nello studio dei serramenti, la maggior parte delle informazioni può essere ricavata attraverso il semplice esame visivo, che evidenzia i materiali utilizzati per il vetro e per il telaio (paragrafi 5.1 e 5.2), la presenza di infiltrazioni di aria (paragrafo 5.5) e di acqua (paragrafo 5.6), il rispetto dei rapporti aero-illuminanti previsti dalla normativa e le modalità di posa dei componenti.

Le tecniche strumentali, in modo particolare la termografia a raggi infrarossi, il *Blower Door Test* e l'analisi termoflussimetrica possono fornire informazioni qualitative e quantitative più approfondite, relative alle prestazioni termiche dei vetri e dei telai, all'emissività dei vetri o delle pellicole applicate, alla corretta posa delle pellicole basso-emissive o selettive, alla presenza di infiltrazioni d'aria e di acqua non ancora visibili superficialmente.

Le analisi strumentali consentono anche di conoscere le prestazioni degli impianti di climatizzazione, elettrico e di illuminazione. Per quanto riguarda la climatizzazione invernale, la lettura del "libretto di centrale" consente di ricavare informazioni molto dettagliate relative al modello di caldaia, all'anno di installazione, alla potenza, al rendimento, al tipo di fluido termovettore e allo schema di funzionamento impiantistico. Le prove strumentali, invece, permettono di verificare il corretto funzionamento del generatore di calore, la distribuzione dell'isolamento termico nell'impianto e nel sistema di distribuzione, le perdite dei fumi, l'omogeneità della temperatura del sistema di emissione, la temperatura di funzionamento di radiatori e *fan-coil*, la presenza di perdite d'acqua o di guasti. Nella climatizzazione estiva, allo stesso modo, è possibile verificare il corretto funzionamento degli impianti, l'omogeneità di distribuzione termica e la presenza di malfunzionamenti o di perdite idriche. Negli impianti elettrici e di illuminazione è possibile verificare il funzionamento delle sorgenti luminose, la presenza di contatti o di corrosione nella rete elettrica, la distribuzione dei cavi elettrici e l'esistenza di infiltrazioni d'aria dalle prese o dagli apparecchi illuminanti. Il monitoraggio ambientale permette di indagare le tecniche di gestione dell'immobile, specialmente per quanto riguarda la ventilazione dei locali, le temperature interne, gli orari di funzionamento degli impianti termici, il livello di illuminamento interno e la sussistenza di condizioni di benessere termoigrometrico e luminoso. Infine, l'analisi termografica è utile anche nel monitoraggio delle prestazioni e del rendimento delle fonti energetiche rinnovabili, in quanto evidenzia il corretto funzionamento dell'intero componente o dei singoli moduli, i collegamenti tra le diverse celle fotovoltaiche e lo stato di pulizia, di manutenzione e di efficienza dei pannelli.

La diagnosi standard deve essere supportata da specifici *tools*, ovvero da *check-lists*, modelli di calcolo e di simulazione del comportamento energetico dei componenti analizzati. In particolare, i software di simulazione sono particolarmente utili per comprendere il funzionamento energetico e ambientale dei componenti edilizi. I programmi individuano il comportamento del sistema edificio-impianto attraverso l'impiego di procedure analitiche e numeriche che modellano i flussi termici, elettri-

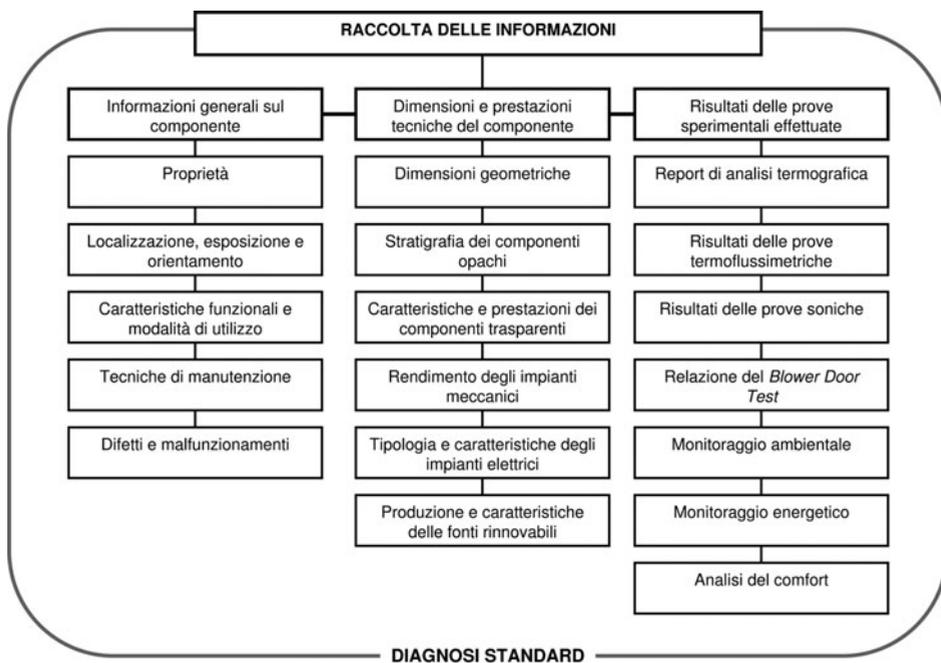


Figura 1.3. Informazioni necessarie per effettuare la diagnosi energetica standard dell'edificio

ci, luminosi, acustici e ventilativi. In figura 1.3 sono schematizzate le informazioni necessarie per effettuare la diagnosi energetica standard degli edifici.

Anche in questo caso, al termine dell'analisi è necessario realizzare un *report* di diagnosi per ciascun componente edilizio e impiantistico analizzato. Il rapporto deve contenere le seguenti informazioni:

- sommario della relazione;
- informazioni di localizzazione dell'edificio, comprendenti il luogo, i dati identificativi del committente, l'anno di costruzione e di riqualificazione, l'orientamento dell'edificio rispetto ai punti cardinali, ecc.;
- descrizione del componente edilizio e impiantistico analizzato, per quel che concerne le sue caratteristiche termofisiche, funzionali, manutentive, fruibili e di sicurezza;
- localizzazione grafica del componente rispetto all'edificio;
- descrizione delle prove effettuate: per ciascun esame è necessario indicare le caratteristiche tecniche dello strumento, la conformità dell'analisi rispetto alle normative vigenti, le condizioni climatiche di ripresa e i risultati dell'analisi;
- identificazione dei difetti o delle inefficienze del componente analizzato, specificando le cause del problema;
- interventi di riqualificazione energetica da attuare sul componente edilizio o impiantistico: per ciascuna misura proposta deve essere descritto l'intervento, il costo stimato e il risparmio conseguibile (*simple payback period*);
- appendici con documentazione grafica e fotografica raccolta.

L'analisi standard permette di analizzare nel dettaglio le caratteristiche termofisiche di ogni componente edilizio e impiantistico, al fine di ipotizzare gli interventi di riqualificazione più opportuni e compatibili con le caratteristiche materiche e conservative dell'elemento tecnico (tabella 1.4).

**Tabella 1.4. Caratteristiche dell'analisi diagnostica di tipo standard**

Tecniche e strumenti	Elemento da realizzare	Obbligatorietà
Raccolta della documentazione	Planimetrie di dettaglio	■ ■
	Piante, prospetti e sezioni dell'edificio	■ ■
	Capitolato prestazionale e descrittivo	■
	Computo metrico estimativo	■
Rilievo delle caratteristiche dimensionali	Dimensioni di massima	■ ■
Rilievo delle caratteristiche costruttive	Struttura costruttiva	■
	Involucro opaco	■
	Involucro trasparente	■
	Stato di conservazione	■
Analisi documentaria	Analisi dei documenti storici	■
Rilievo delle caratteristiche impiantistiche	Schema termico	■ ■
	Sistemi di emissione	■
	Impianto di acqua calda sanitaria	■
	Impianto elettrico e di illuminazione	■
	Fonti energetiche rinnovabili	■
Analisi dei dati sui consumi energetici	Storico dei consumi degli ultimi 24 mesi	■ ■
Analisi delle modalità di gestione	Esame visivo	■ ■
	Rilievo termoigrometrico	■
Analisi del comfort	Questionari	-
	Post occupancy evaluation	-
Modulistica di supporto	Check-list di analisi dei singoli componenti	■
	Tools di valutazione energetica	■ ■
Strumenti di calcolo	Fogli di calcolo	-
	Modelli di calcolo semplificati	■
	Simulazione statica e dinamica dei singoli componenti	■ ■
	Simulazione statica dell'edificio	-
	Simulazione dinamica dell'edificio	-
Misure da effettuare	Temperatura dell'aria	■
	Umidità relativa dell'aria	■
	Temperatura superficiale	-
	Temperatura radiante	-
	Velocità dell'aria	-
	Livello di illuminamento	-
	Esame visivo	■ ■

## Diagnosi energetica strumentale degli edifici

segue

Tecniche e strumenti	Elemento da realizzare	Obbligatorietà
Analisi strumentali	Analisi fotografica	■ ■
	Rilievo geometrico	■ ■
	Analisi termografica a raggi infrarossi	■
	Analisi termografica con <i>blower door</i>	■
	Indagine sonica	■
	Analisi termoflussimetrica	■
	Endoscopia	■
	Carotaggio	■
	Eventuali altre analisi specialistiche di fessurazioni, prove penetrometriche, georadar	-
	Analizzatore di rete elettrica	-
Monitoraggio microclimatico	-	
Sistemi di monitoraggio da utilizzare	<i>Report</i> esteso con descrizione dello stato di fatto (strutture e impianti), individuazione delle inefficienze strutturali, impiantistiche e gestionali, definizione e descrizione degli interventi da attuare per i singoli componenti	■ ■
Risultati attesi	Poche settimane	-
Tempi medi previsti	Medio	-
Costo	Medio	-

Note:  
 ■ ■ = Misura obbligatoria; ■ = Misura non obbligatoria; - = Misura non richiesta

**DA RICORDARE**

La diagnosi energetica standard si rivolge alle parti di edificio in cui sono stati localizzati dei malfunzionamenti e delle inefficienze, al fine di quantificare i consumi energetici e di identificare le cause degli sprechi. Successivamente, si individuano le azioni di *retrofit* e i potenziali risparmi energetici ottenibili per ogni componente.

**1.2.3. Diagnosi di dettaglio**

La diagnosi di dettaglio mira a quantificare i consumi e l'efficienza energetica dell'intero sistema edificio-impianto attraverso l'ausilio di *check-lists* e di modelli di simulazione statica e dinamica. Successivamente, si individuano le azioni di *retrofit* più opportune, i risparmi energetici ottenibili, i costi e i tempi di ritorno economico degli interventi proposti. Il modello di diagnosi di dettaglio è stato sviluppato a livello americano (Thumann e Younger, 2003) e adattato al contesto europeo con il documento CEN/CLC/JWG 1, *Energy Audit Standard* (2010), che definisce i caratteri dell'*energy auditor*, le tecniche di diagnosi e le informazioni da raccogliere per effettuare un corretto bilancio energetico dell'edificio. Il "diagnosta energetico" deve essere un tecnico qualificato, dotato di un'adeguata esperienza, capace anche di valutare gli effetti delle analisi effettuate e degli interventi di riqualificazione proposti su salute, sicurezza e protezione ambientale. La diagnosi energetica, per avere un valore generale e attendibile, deve essere condotta in condizioni tipiche di utilizzo (ad esempio in condizioni di lavoro), in modo da non inficiare i dati relativi alla

gestione dell'immobile, e in condizioni climatiche appropriate (ad esempio quando sono previsti particolari guadagni termici), in modo da evidenziare le problematiche di comfort e gli sprechi energetici nelle diverse stagioni dell'anno. È necessario anche informare la committenza su tutte le difficoltà inattese che possono essere incontrate nella diagnosi. In questo modo, infatti, è possibile ricostruire un'immagine energetica e ambientale reale dell'edificio, capace di evidenziare le caratteristiche costruttive e impiantistiche e al contempo le modalità di gestione dell'edificio. In molti casi, infatti, soprattutto nell'edilizia terziaria e scolastica, sono proprio queste ultime le cause dei maggiori sprechi energetici.

La diagnosi di dettaglio prevede le seguenti fasi:

- raccolta delle informazioni relative agli aspetti edilizi, impiantistici e gestionali;
- calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio nelle condizioni reali di utilizzo mediante l'impiego di un modello di simulazione del sistema edificio-impianto;
- stima della distribuzione dei consumi energetici dell'immobile;
- individuazione delle azioni di *retrofit* più opportune e compatibili con l'edificio esistente;
- valutazione della fattibilità tecnica ed economica degli interventi.

L'attività iniziale riguarda la raccolta di informazioni relative agli aspetti tecnologici (caratteristiche geometriche dell'edificio e prestazioni termofisiche dell'involucro opaco e trasparente), impiantistici (prestazioni degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva, ventilazione meccanica controllata, produzione di acqua calda

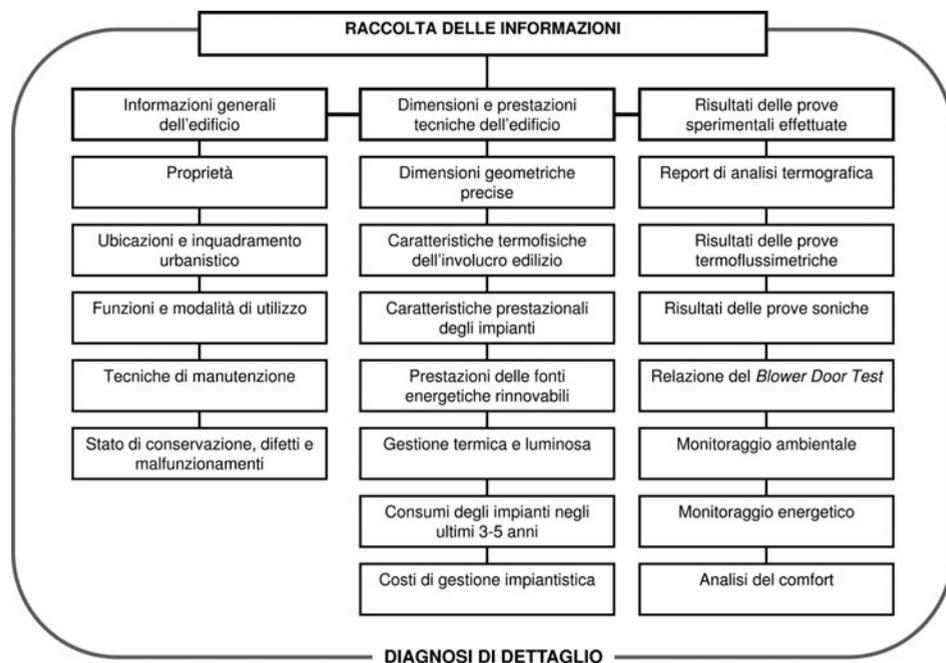


Figura 1.4. Informazioni necessarie per effettuare la diagnosi energetica di dettaglio dell'edificio

sanitaria, illuminazione artificiale, sistema elettrico) e gestionali (orari e giorni di attivazione degli impianti, temperature di funzionamento) dell'immobile. Le informazioni necessarie per elaborare il calcolo sono molto più approfondite rispetto all'analisi ispettiva e comprendono:

- ubicazione e inquadramento urbanistico dell'edificio;
- dimensioni dell'immobile;
- caratteristiche termofisiche dell'involucro edilizio;
- caratteristiche prestazionali e gestionali del sistema impiantistico;
- modalità di utilizzo;
- andamento delle variabili ambientali all'interno e all'esterno dell'edificio;
- consumi energetici di tipo termico ed elettrico;
- consumi di acqua calda sanitaria.

In figura 1.4 sono schematizzate le informazioni necessarie per effettuare la diagnosi energetica di dettaglio degli edifici.

In primo luogo, è necessario effettuare un rilievo geometrico dell'edificio e dei suoi componenti principali al fine di definire il volume e le aree lorde e nette, le superfici disperdenti, le zone termiche, le altezze degli ambienti, la posizione di finestre, aggetti e altri elementi che possono influenzare il calcolo energetico.

In secondo luogo, è necessario raccogliere i dati riguardanti le caratteristiche strutturali, dell'involucro edilizio e del sistema impiantistico. Il modo più semplice prevede la raccolta di elaborati grafici relativi alla conformazione e alla struttura edilizia (pianche, prospetti, sezioni, dettagli costruttivi), di elaborati relativi alle caratteristiche tecniche degli impianti (schemi funzionali dell'impianto termico e dell'impianto elettrico, ubicazione della centrale termica, ecc.), di relazioni (ai sensi della Legge 373/76, Legge 10/91 o Legge 192/05) e della documentazione tecnica obbligatoria (libretti di centrale, NOP, ecc.). È necessario verificare la veridicità delle informazioni e completare i dati mancanti effettuando alcuni sopralluoghi sul campo. In particolare, è opportuno controllare la corrispondenza tra gli elaborati grafici e le effettive caratteristiche localizzative, dimensionali e geometriche dell'edificio e dei componenti edilizi.

I rilievi effettuati in campo devono verificare lo stato di manutenzione (o di degrado) dei componenti edilizi e impiantistici e l'opportunità di prevedere interventi di riqualificazione tecnologica abbinati al *retrofit* energetico. Le analisi si concentrano sui componenti rilevati nella diagnosi standard e sono volte ad approfondire le tecniche e gli elementi di giunzione tra i diversi componenti. A livello edilizio si devono osservare, pertanto, i ponti termici che si formano tra la struttura costruttiva e le pareti perimetrali, tra la struttura di copertura e i solai e tra l'involucro opaco e le finestre, le dispersioni maggiorate legate al basamento e alla copertura, le infiltrazioni d'aria attribuibili alle giunzioni strutturali, all'inserimento di serramenti, di contro-soffitti attrezzati, di prese elettriche o di apparecchi di illuminazione. A livello impiantistico è necessario evidenziare la presenza di anomalie o di malfunzionamenti nel sistema di distribuzione dell'impianto termico, dell'acqua calda sanitaria e dei cavi elettrici. Può essere utile anche calcolare le perdite dell'impianto di generazione di calore, individuando gli elementi maggiormente disperdenti.