

**POLITECNICO DI MILANO**

Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura

Corso di Laurea Specialistica in Gestione del Costruito



**TERMOGRAFIA E PROCESSO EDILIZIO  
DIAGNOSI ENERGETICA SUL NUOVO E SUL COSTRUITO**

Relatore: Prof. Mario Claudio DEJACO

Tesi di Laurea di:

Marco MILANI

Matricola: 780089

Anno Accademico 2012 – 2013



## **Indice**

1. Premessa
2. Introduzione alle prove non distruttive
3. La termografia: definizione
4. Modalità di applicazione per la rilevazione dei difetti sulle costruzioni recenti
  - 4.1 Esempio applicativo di diagnostica IR su edificio
5. Modalità di applicazione per la rilevazione dei difetti sulla messa in opera degli elementi: i sistemi "a cappotto"
  - 5.1 Prove di laboratorio
  - 5.2 Esempi applicativi di diagnostica IR
6. Diagnosi energetica
  - 6.1 Termografia per il risanamento energetico
  - 6.2 La diagnosi strumentale
    - 6.2.1 Il termoflussimetro
    - 6.2.2 Il Blower-door
  - 6.3 Finalità e scopi della diagnosi
  - 6.4 Esempio applicativo di simulazione di recupero energetico-prestazionale su un edificio esistente costruito intorno agli anni '60 (valutazione delle prestazioni, dei costi e del pay-back time su scenari alternativi)
7. Conclusioni
8. Bibliografia

Allegati: Riferimenti normativi

## 1. Premessa

L'obiettivo di questo studio è sensibilizzare sull'importanza dell'efficienza energetica in edilizia. Vogliamo farlo attraverso uno strumento nuovo, le termografie, che permette di guardare "attraverso" gli edifici per svelare come sono costruiti e gli eventuali problemi di isolamento termico.

Il primo motivo è che gli edifici sono oggi responsabili di una grossa fetta dei consumi energetici italiani.

Secondo le stime del Ministero dello Sviluppo economico, complessivamente il peso degli usi civili rappresenta circa il 50% dei consumi elettrici e il 33% di quelli energetici totali, rendendosi quindi responsabile di una buona parte di gas climalteranti.

Diventa dunque importantissimo intervenire nel settore edilizio se si vuole invertire questa situazione e ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>. L'Unione Europea ha preso molto sul serio questa sfida, a partire dalla Direttiva 2002/91 /CE che ha introdotto precisi obiettivi in termini di rendimento energetico e l'obbligo della certificazione degli edifici nuovi (con le diverse classi di appartenenza, dalla A per la migliore alla G, quella con le peggiori performance) e nelle compravendite degli esistenti. Poi l'UE si è spinta oltre con la nuova Direttiva 31 /2010, che prevede precisi step per una transizione "radicale": dal 1° gennaio 2019, infatti, tutti i nuovi edifici pubblici costruiti in Paesi dell'Unione Europea, e dal 1° gennaio 2021 quelli nuovi privati, dovranno essere "neutrali" da un punto di vista energetico, ossia dovranno garantire prestazioni di rendimento dell'involucro tali da non aver bisogno di apporti per il riscaldamento e il raffrescamento oppure dovranno soddisfarli attraverso l'apporto di fonti rinnovabili. Del resto questa traiettoria è chiaramente inscritta dentro gli obiettivi che l'Unione Europea si è impegnata a raggiungere entro il 2020 per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e lo sviluppo delle fonti rinnovabili con impegni vincolanti per tutti gli Stati membri.

Oggi la certificazione degli edifici è legge obbligatoria in tutta Italia ma si deve dare certezza a questa prospettiva, migliorando progressivamente gli obiettivi e gli

standard energetici in modo da accompagnare la prospettiva prevista per i nuovi edifici al 2020 e migliorare le prestazioni per quelli esistenti.

La seconda ragione è in realtà molto importante.

Attraverso la chiave dell'energia e' possibile riqualificare gli edifici in cui viviamo e lavoriamo per renderli oltre che meno energivori anche più belli, ospitali, salubri. E' una opportunità che va colta fino in fondo, per creare lavoro e puntare proprio in un campo come quello del risparmio energetico e dell'innovazione tecnologica, ad alto tasso di occupazione e con importanti possibilità di ricerca applicata. Ma questa direzione di cambiamento responsabilizza tutti, dalla pubblica amministrazione agli imprenditori edili, dai progettisti ai cittadini.

Da una campagna condotta da Legambiente la fotografia complessiva che emerge a livello nazionale, seppur parziale, mostra come la quasi totalità degli edifici censiti durante lo studio presentino carenze strutturali relative alle dispersioni di calore. Un risultato impietoso che evidenzia quanto poco siano cambiati, negli ultimi trenta anni, materiali, tecnologie e modalità costruttive impiegate per il contenimento degli sprechi energetici. Eppure a confermare quanto il tema dell'efficienza energetica sia strategico per il comfort abitativo (o dei luoghi di lavoro) e per la qualità dell'ambiente urbano: quasi la metà degli idrocarburi policiclici aromatici e circa un quarto del monossido di carbonio sono prodotti infatti dagli impianti di condizionamento del terziario e residenziale.

Gli edifici residenziali analizzati dalle squadre di tecnici di Legambiente sono in larga parte recenti, costruiti negli ultimi 10 anni, ossia in un periodo nel quale la normativa come le conoscenze tecniche dimostravano con chiarezza l'importanza e i vantaggi dell'efficienza energetica. Sottolineiamo che sono case costruite nel momento del boom edilizio, vendute spesso a cifre superiori a 3/4.000 euro a metro quadro. Proprio perchè la differenza di costo di una Casa di Classe A rispetto a una "normale" è del 5-10% rispetto al costo di costruzione che è 1.000 euro a mq mediamente, è evidente che non è certamente un problema di costi a impedire che tutte le case siano in Classe A.

## 2. Introduzione alle prove non distruttive

Le Prove non Distruttive (PnD) sono il complesso di esami, prove e rilievi condotti impiegando metodi che non alterano il materiale e non richiedono la distruzione o l'asportazione di campioni dalla struttura in esame. Da qui la definizione di non Distruttive.

I risultati delle indagini condotte applicando questi metodi sono alla base per la valutazione della qualità di un prodotto, per l'esame dell'integrità strutturale di un componente, per la diagnosi e ricerca delle cause di malfunzionamenti di macchinari. L'innovazione tecnologica ha consentito e consente di mettere a punto tecniche di prova molto avanzate su materiali e strutture e tali da permettere la stesura di un quadro diagnostico del costruito preciso e dettagliato.

Le tecniche utilizzate per le indagini non distruttive in sito sono numerose.

Deve essere ritenuta non distruttiva quella prova che può essere eseguita sull'oggetto da studiare senza danneggiarlo o comprometterne la funzionalità.

Sarà dunque considerata non distruttiva sia una prova termografica su una parete intonacata, quanto una prova con martinetti piatti su una muratura in mattoni priva di intonaco anche se questa prova prevede l'esecuzione di una o due "tasche" con asportazione di malta.

Le prove suddette possono essere suddivise con maggior precisione in:

Prove non invasive: essenzialmente la termografia

Prove leggermente invasive: prove ultrasoniche e soniche che richiedono l'asportazione dell'intonaco solo nei punti in cui la prova viene effettuata o l'endoscopia che richiede che sia praticato un foro di piccolo diametro (da 10 a 20 mm) per consentire il rilievo in murature, solai ecc...

Prove invasive: come i martinetti piatti, singoli e doppi nelle murature, il pull-out nelle strutture in calcestruzzo

E' importante, quindi, prima di effettuare una campagna di prove ed indagini in sito, stilare un programma di lavoro che preveda quali tecniche adottare e quali risultati si vogliono ottenere.

E' opportuno ricordare che molte di queste tecniche possono essere usate in maniera incrociata consentendo così di raggiungere un notevole livello di approfondimento. In questo caso la scelta dei parametri da sottoporre a controllo può essere opportunamente guidata dalle indagini effettuate in precedenza.

Viene riportata una tabella riassuntiva delle principali tecniche di indagine non distruttive applicate in edilizia.

<b>TECNICA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>PRINCIPALI APPLICAZIONI</b>
TERMOGRAFICA	Una speciale apparecchiatura capta l'emissività termica degli oggetti ricostruendo immagini "termiche". La differente capacità di emettere radiazioni I.R. dei vari materiali dipende in gran parte dalla loro natura e densità.	Rilievo di tessiture murarie sotto intonaco. Orditura di solai in legno, ferro o latero-cemento. Disomogeneità (inclusione di materiali diversi). Distribuzione di umidità superficiale nelle murature. Tracciato di impianti idricosanitari e termici.
ENDOSCOPICA	Eseguita con apparecchi rigidi a lenti e prismi (di norma allungabili fino ad alcuni metri) e con apparecchiature a fibre ottiche od ancora con microtelecamere	Gli apparecchi più usati sono gli endoscopi rigidi perché consentono numerose misure geometriche dirette. Sono utilizzati per rilevare le stratigrafie di murature, difetti macroscopici di materiali, natura e geometria di strutture nascoste.
MAGNETOMETRICA	Una sonda crea un campo magnetico orientato. Più essa è vicina a forme metalliche allungate (ferri, tubi), ovvero maggiore è il parallelismo tra ferri e flusso, maggiore è il segnale di	Impiegato per rilevare la geometria dei ferri di armatura o di altri elementi metallici (elettroconduttivi e lo spessore del copriferro). Più complesso è il rilevamento dimensionale dei ferri.

	ritorno. (BS 1881-204) *	
AUSCULTAZIONE SONICA	Un lato della muratura da indagare è colpita con un martello, sull'altra faccia vengono ricevute le onde elastiche provocate dall'impatto Velocità ed attenuazione delle onde elastiche danno informazioni sul materiale	Indagini sullo stato di aggregazione del complesso malta mattone in una muratura. Valutazione sull'efficacia degli interventi di consolidamento delle murature
ULTRASONICA (Bassa Frequenza)	Basata sulla misura del tempo di transito impiegato da un treno d'onde di compressione pulsanti con frequenze $> 20 < 200$ kHz, per attraversare un materiale. La misura può essere eseguita in modo diretto (per trasparenza) indiretto e superficiale. (EN 12504-4)	Ricerca dei difetti (fessure, alveolature) all'interno dei materiali compatti quali, pietre, cotto, legno, calcestruzzo. Se abbinata alla prova Sclerometrica Prova SON REB: valutazione della resistenza del calcestruzzo
MARTINETTO PIATTO SINGOLO	Un martinetto piatto con spessore di 8-10 mm viene inserito in una tasca praticata con un taglio orizzontale in un corso di malta precedentemente delimitato da piccoli capisaldi di riferimento misurabili con strumenti manuali od elettronici. La misura del carico applicato al martinetto per il recupero delle deformazioni causate dalla pressione della muratura nella zona liberata dal taglio	Misura delle tensioni nelle murature verticali e nelle volte in mattoni.



	indica la tensione verticale che insiste in quel punto.	
MARTINETTI PIATTI DOPPI	Viene isolata una porzione di muratura eseguendo due tasche parallele entro cui vengono inseriti due martinetti piatti. La misura delle deformazioni della porzione di muratura( eseguita su appositi capisaldi) in funzione del carico applicato, permette di ottenere il diagramma sforzi – deformazione del campione testato nonché di ricavare il modulo elastico medio.	Misura della resistenza e valutazione del modulo elastico di murature in mattoni e malta.
MISURA DELLA TENSIONE SU CATENE METALLICHE	Viene effettuata l'analisi delle vibrazioni di catene metalliche libere eccitate dinamicamente	Misura del valore di tiro presente nelle catene al fine di valutare la loro efficacia strutturale nei confronti di spinte prodotte da archi e volte.
SCLEROMETRICA UNI EN 12504-2 *	Una massa scagliata da una molla (di costante elastica nota)colpisce un pistone a contatto con la superficie di calcestruzzo rimbalzando in funzione della durezza della superficie stessa. Il valore del rimbalzo viene letto su una apposita scala graduata (indice di rimbalzo). e riportato su curve sperimentali.	Valutazione della resistenza alla compressione del calcestruzzo.
RESISTOGRAFICA	Viene registrata la resistenza alla formazione di un foro	Valuta la densità del legno ed individua difetti localizzati. La

	cilindrico ( Ø 3 mm) prodotto da un utensile che avanza nel legno con velocità costante	registrazione viene effettuata sia in forma digitale che su una striscia di carta che porta in ordinata la resistenza alla penetrazione mentre in ascissa viene riportata la relativa profondità.
PULL-OUT PROVA DI ESTRAZIONE NEL CALCESTRUZZO UNI 10157 * ASTM C 900	Misura la forza necessaria all'estrazione di un apposito tassello inserito perforando il calcestruzzo.	Utilizzando la curva interpretativa si effettua una stima della resistenza a compressione del calcestruzzo
PROVE DI CARICO STATICHE	Su una superficie di un di un solaio, parzialmente o in toto, si applica un carico distribuito aumentandolo di volta in volta fino a raggiungere il valore indicato dal Collaudatore. Ad ogni gradino di carico vengono eseguite delle misure di deformazione lette all'intradosso del solaio. Allo stesso modo si procede durante lo scarico del solaio.	Verifica della capacità portante di una struttura

### **3. La termografia: definizione**

#### **Caratteristiche generali**

La termografia è attualmente la più usata tecnica diagnostica nel campo delle verifiche energetiche nell'edilizia.

Il successo dell'utilizzo di strumenti come la termocamera deriva dalla rapidità con la quale è possibile individuare irregolarità dell'involucro, anomalie degli impianti, ponti termici ecc..

Per termografia s'intende l'utilizzo di una telecamera a infrarossi (o termocamera appunto), al fine di visualizzare e misurare l'energia termica emessa da un oggetto.

L'energia termica o infrarossa consiste in una luce la cui lunghezza d'onda risulta troppo grande per essere individuata dall'occhio umano; si tratta della porzione dello spettro elettromagnetico che viene percepita come calore. A differenza della luce visibile, nel mondo dei raggi infrarossi tutti gli elementi con una temperatura al di sopra dello zero assoluto emettono raggi infrarossi, anche oggetti che hanno una temperatura molto bassa, come i cubetti di ghiaccio, possiedono una data emissività. Più è alta la temperatura dell'oggetto, più quest'ultimo irradierà raggi infrarossi.

Come ha dimostrato il fisico Max Planck nel lontano 1900, esiste una correlazione tra la temperatura di un corpo e l'intensità dei raggi infrarossi che emette.

Le prime apparecchiature termografiche funzionavano con sensori raffreddati ed erano costituite da una telecamera per la ricezione delle radiazioni I.R. e da una centrale di elaborazione dei segnali provenienti dalla telecamera in immagini che apparivano in bianco e nero sullo schermo di un monitor.

Queste immagini potevano essere elaborate e restituite in falso colore dando a ciascun colore un valore di scala termica. I primi termografi erano raffreddati, a gas liquido (azoto -196 °C ) poi con l'evoluzione tecnologica, si è passati al raffreddamento:

- termoelettrico (effetto Peltier -70'C)
- con argon pressurizzato in bombola (Joule Thompson -186'C)
- a ciclo chiuso (Stirling -187"C)

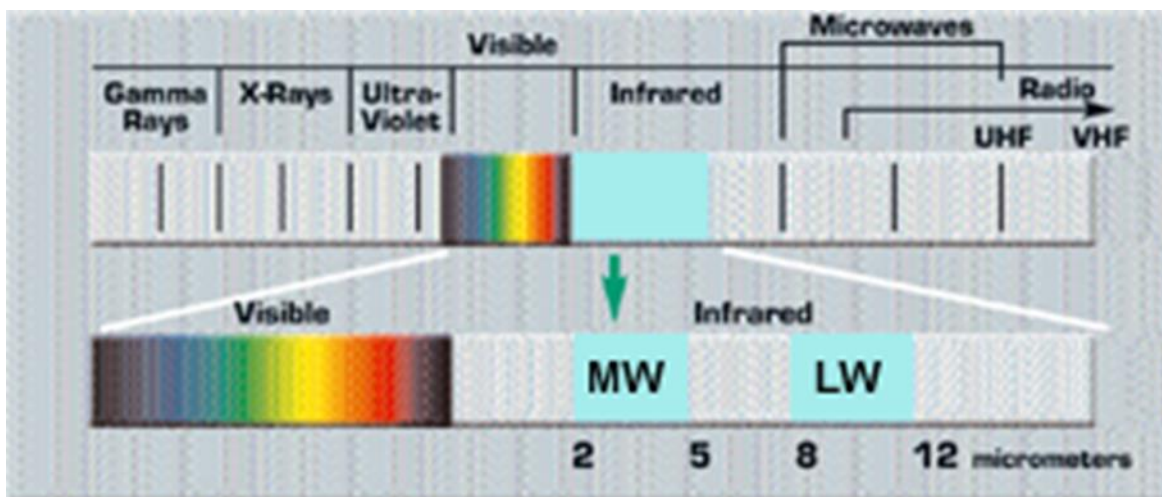
Le apparecchiature con raffreddamento termoelettrico non sono utilizzabili per l'impiego specifico a causa dell'elevato rumore di fondo.

Le termocamere attuali non utilizzano alcun tipo di raffreddamento ma sono di tipo bolometrico e si presentano con un aspetto molto simile alle attuali telecamere per le riprese in luce normale.

Il cuore delle attuali termocamere è rappresentato da dei sensori microbolometrici posti dietro la lente dell'obiettivo. Questi sensori sono ricoperti da un sottile strato di ossido di vanadio la cui resistenza elettrica varia in funzione della energia IR che li colpisce. La variazione dell'energia IR distribuita sulla superficie dei sensori attraverso la lente dell'obiettivo, provoca la relativa variazione di resistenza e quindi dei segnali elettrici che consentono di ricostruire su uno schermo un'immagine termica dell'oggetto ripreso. Anche in questo caso le immagini sono restituite in bianco e nero e solo successivamente possono essere trasformate in falso colore.

La registrazione delle immagini termografiche con queste apparecchiature viene effettuata su nastro magnetico o su dischetto.

L'analisi e l'elaborazione delle mappe termiche possono essere eseguite in forma digitale mediante software dedicato.



Una termocamera misura i raggi infrarossi a onda lunga ricevuti nel suo campo visivo e, in base a questi, calcola la temperatura dell'oggetto da misurare. Il calcolo tiene conto dell'emissività ( $\epsilon$ ) della superficie dell'oggetto di misura, della compensazione della temperatura riflessa ( $RtC = \text{reflected temperature compensation}$ ), e del fattore di trasmissione, variabili che possono essere impostate manualmente nello strumento.

Per la legge di Kirchhoff sulla radiazione sappiamo che i raggi infrarossi rilevati dalla nostra termocamera sono composti dalla radiazione emessa dall'oggetto, dalla riflessione della temperatura ambiente e dalla trasmissione della radiazione da parte dell'oggetto, la cui somma è pari a uno.

$$e+r+t=1$$

dove:

$e$  = l'emissività ovvero la capacità di un materiale di emettere raggi infrarossi; i materiali non metallici hanno un'emissività alta ( $e \approx$  da 0,8 a 0,95), mentre i metalli soprattutto quelli con una superficie lucida hanno una bassa emissività che varia al variare della temperatura;

$r$  = il fattore di riflessione, misura la capacità di un materiale di riflettere i raggi infrarossi, esso dipende dalle proprietà superficiali, dalla temperatura e dal tipo di materiale. Le superfici lisce e lucide riflettono più di quelle opache e ruvide.

Inoltre la temperatura riflessa ( $RtC$ , reflected temperature compensation) può essere inserita manualmente nella termocamera anche se la  $RtC$  in molte applicazioni corrisponde alla temperatura ambiente;

$t$  = il fattore di trasmissione, misura la capacità di un elemento di trasmettere attraverso le superfici i raggi infrarossi, questa capacità dipende dal tipo e dallo spessore del materiale. La maggior parte dei materiali non sono trasmissivi, ovvero non permettono di essere attraversati dai raggi infrarossi a onda lunga. Proprio per tale motivo la legge di Kirchhoff può essere semplificata nella seguente forma:

$$e+r=1$$

Quanto minore è l'emissività, tanto maggiori sono gli errori di misura. Questi errori aumentano se l'impostazione dell'emissività è scorretta. Durante le fasi di rilevamento è quindi indispensabile verificare attentamente alcune condizioni e parametri. È estremamente importante quindi accertarsi del valore di emissività, per questo ci si può aiutare con valori presenti in specifiche tabelle.

Le caratteristiche fondamentali per uno strumento come la termocamera sono riconducibili a due aspetti:

- risoluzione geometrica del sensore;
- risoluzione termica del sensore.

Il primo rappresenta la grandezza del sensore utilizzato nelle macchine termiche ovvero la risoluzione della macchina stessa.

Maggiore è la risoluzione in pixel, migliore sarà il dettaglio che si riesce ad apprezzare e minori saranno le dimensioni minime dell'oggetto da indagare.

Il secondo rappresenta la minima differenza, in termini di gradi, rilevabile all'interno della matrice. ovvero per termocamere molto sensibili è possibile individuare all'interno della stessa immagine punti con una differenza di temperatura di 0,02 °C.

## **Determinazione dell'emissività di un oggetto**

### ***Metodo della termocoppia***

Scegliere un punto di riferimento e misurare la sua temperatura servendosi di una termocoppia. Variare l'emissività finché la temperatura misurata dalla termocoppia corrisponde al valore indicato dalla termocamera.

Questo è il valore di emissività dell'oggetto di riferimento. Per fare ciò è tuttavia necessario che la temperatura dell'oggetto di riferimento non sia troppo vicina alla temperatura ambiente.

Di seguito una breve procedura per determinare sperimentalmente il valore del parametro emissività:

- posizionare la termocamera il più possibile perpendicolare all'oggetto da misurare;
- impostare i parametri "umidità relativa" e "distanza oggetto";
- misurare la temperatura ambiente ed inserire il dato;
- posizionare il termometro sull'oggetto da termografare;
- selezionare con la termocamera una piccola area in corrispondenza del punto di misura del termometro e determinare con lo strumento termografico la temperatura media;

- leggere la temperatura di misura data dal termometro;
- variare il parametro dell'emissività finché la temperatura media rilevata dalla termocamera sia corrispondente alla temperatura misurata dal termometro.

**N.B.:** per le misure di superfici ricoperte di vetro (ad esempio moduli fotovoltaici) bisogna tener presente che si sta misurando la temperatura della superficie del vetro e non del materiale sottostante.

Il vetro non lascia passare le lunghezze d'onda misurate dal sensore della termocamera. Il valore dell'emissività da immettere nei parametri è dunque quello del vetro e non quello del materiale sottostante.

### ***Emissività di riferimento***

Ricoprire l'oggetto di riferimento con nastro o con pittura aventi un'emissività già nota. Misurare la temperatura dell'oggetto campione con la termocamera, regolando l'emissività sul valore conosciuto. Annotare la temperatura rilevata. Modificare l'emissività finché, per la superficie dell'oggetto di riferimento (non ricoperto da nastro o vernice), quindi con emissività sconosciuta, viene rilevata la medesima temperatura. A questo punto è possibile leggere il valore di emissività dell'oggetto. Anche in questo caso la temperatura dell'oggetto non deve essere troppo vicina alla temperatura ambiente.

Di seguito viene riportata una tabella con i valori di emissività dei più comuni materiale.

**Tabella 1. Emissività caratteristica**

materiali	emissività	materiali	emissività
bronzo,-poroso,-grezzo	0,55	vetro,-satinato	0,96
bronzo,-lucidato	0,1	oro,-lucidato	0,02
carbone,-purificato	0,8	ghiaccio	0,97
ghisa,-getto-grezzo	0,81	ferro,-laminato-a-caldo	0,77
ghisa,-lucidata	0,21	ferro,-ossidato	0,74
carbone-attivo,-polvere	0,96	ferro,-galvanizzato,-bruni	0,23
cromo,-lucidato	0,1	ferro,-laminato, galvanizzato,-ossidato	0,28
argilla,-cotta	0,91	ferro,-lucido,-satinato	0,16
calcestruzzo	0,54	ferro,-battuto,-lucidato	0,28
rame,-lucidato,	0,01	lacca,-bachelite	0,93
rame,-commerciale-brunito	0,07	lacca,-nera,-opaca	0,97
rame,-ossidato	0,65	lacca,-nera,-lucida	0,87
rame,-ossidato-nero	0,88	lacca,-bianca	0,87
nastro-elettrico, plastica-nera	0,95	nero-fumo	0,96
smalto**	0,9	Piombo,-grigio	0,28
formica	0,93	Piombo,-ossidato	0,63
terreno-gelato	0,93	Piombo,-rosso,-in-polvere	0,93
vetro	0,92	Piombo,-lucido	0,08

materiali	emissività	materiali	emissività
mercurio,-puro	0,1	acciaio,-superficie-grezzo	0,96
nichel,-su-ghisa	0,05	acciaio,-rosso-ruggine	0,69
nichel,-lucidato-puro	0,05	acciaio,-lamiera,-nichelato	0,11
vernice,-placcata- in-argento**	0,31	acciaio,-lamiera,-laminato	0,56
vernice,-olio,-media	0,94	carta-catrata	0,92
carta,-nera,-lucida	0,9	stagno,-brunito	0,05
carta,-nera,-opaca	0,94	tungsteno	0,05
carta,-bianca	0,9	acqua	0,98
Platino,-puro,-lucidato	0,08	zinco,-lamiera	0,2
Porcellana,-smaltata	0,92	gommalacca,-nera,-lucida	0,82
Quarzo	0,93	neve	0,8
gomma	0,93	acciaio,-galvanizzato	0,28
gommalacca,-nera,-opaca	0,91	acciaio,-molto-ossidato	0,88
acciaio,-laminato	0,24		

\* Le emissività di quasi tutti i materiali sono misurate a 0 °C ma non variano significativamente alla temperatura ambiente.

\*\* Vernice, placcata in argento misurata a 25 °C e Vernice, smalto a 27 °C.



## **Rilevamento dell'energia all'infrarosso**

Una termocamera ad infrarossi è un dispositivo senza contatto che rileva l'energia all'infrarosso (calore) emessa da un oggetto e la converte in un segnale elettronico che viene successivamente elaborato per produrre un'immagine termica su un display ed eseguire i calcoli della temperatura.



Il calore rilevato da una termocamera può essere quantificato in modo estremamente preciso, permettendo non solo di monitorare l'andamento termico ma anche di identificare e valutare la gravità relativa ai problemi legati al calore.

## **Recenti innovazioni nell'ambito dell'infrarosso**

Le recenti innovazioni, quali in particolare l'avanzata tecnologia dei detectors di ultima generazione, nuove funzionalità automatiche ed innovative e lo sviluppo di nuovi softwares per l'analisi e reportistica, offrono soluzioni di analisi termografiche migliori e dai costi molto più contenuti.

## **Ambito di applicazione**

Materiali differenti eccitati termicamente hanno radiazioni I.R. (emissività) diverse al punto tale che l'apparecchiatura è in grado di discretizzarle. Ne consegue che strutture di materiali differenti e grosse anomalie nello stesso materiale appaiono riconoscibili sul termogramma.

In ambito edilizio questo strumento risulta assai efficace nell'analisi generale dell'edificio e nella verifica di:

- ponti termici;
- verifica della posa in opera di infissi;
- regimi termoigrometrici della muratura;
- vuoti e cavità nella muratura;
- distacchi di elementi della muratura;

- elementi metallici non visibili;
- disposizione di impianti;
- infiltrazioni di aria;
- difetti dell'isolamento;
- individuazione di particolari caratteristiche materiche nella muratura storica e non.

Risulta quindi di estrema utilità nelle diverse fasi del processo edilizio, dalla progettazione esecutiva per poter quantificare l'intervento sul bene alla fase di collaudo per la verifica della corretta posa in opera dei singoli elementi; nella fase di programmazione manutentiva, nella prevenzione di danni gravi sul bene, nella fase di gestione per la taratura degli impianti installati e nella certificazione energetica per l'individuazione e successiva quantificazione delle dispersioni termiche.

Possiamo inoltre, in via generale, individuare due metodi di indagine termografica; il metodo di indagine passivo e quello attivo.

Nella maggior parte dei casi infatti, soprattutto in ambito edile/architettonico non è essenziale individuare il valore di temperatura assoluta dei singoli corpi, ma piuttosto risulta assai più utile individuare delle irregolarità termiche.

Nella metodologia di indagine passiva, difatti non viene fornita nessuna sollecitazione termica, viene quindi semplicemente rilevata l'energia emessa dall'oggetto indagato: ad esempio in una parete muraria gli obiettivi possono essere quelli di individuare eventuali dispersioni termiche, infiltrazioni, fenomeni di umidità di risalita o condense. Quindi nel caso si verifichi uno dei fenomeni precedentemente indicati, si noteranno differenze di temperatura tra le parti di muratura asciutta e quella bagnata: la muratura imbibita, infatti, durante l'evaporazione per il passaggio di stato sottrae calore all'ambiente circostante, la conseguenza sarà quella di ottenere "un'istantanea" che presenterà gradazioni di colore differenti tanto più sarà accentuata la differenza di temperatura tra un punto e l'altro della superficie.

Nell'approccio termografico attivo viene, invece, fornita una sollecitazione termica.

Questa permette di individuare l'energia emessa dalla muratura sia in fase di raffrescamento che di riscaldamento; il calore per conduzione passa all'interno della muratura e si diffonde nei vari strati. Questi ultimi a secondo delle proprie

caratteristiche termiche trattengono o disperdono il calore, dando, a chi osserva attraverso una strumentazione IR, un'idea della distribuzione materica della muratura oggetto di indagine. gli obiettivi di questo tipo di approccio sono quelli di individuare eventuali distacchi di intonaco o sottostrutture non visibili ad occhio nudo. Nell'ambito del restauro architettonico ad esempio è possibile individuare stratificazioni storiche che un eventuale manufatto ha subito nel corso del tempo; elementi di pregio architettonico come bifore o più semplicemente elementi strutturali come capi-chiave o catene possono facilmente essere individuati senza effettuare dei saggi invasivi.

Un'immagine termica che includa dati accurati di temperatura fornisce ad un esperto importanti informazioni sulle condizioni di isolamento, infiltrazioni di umidità, comparsa di muffa, guasti elettrici, la presenza di ponti termici e le condizioni dei sistemi di climatizzazione (HVAC).

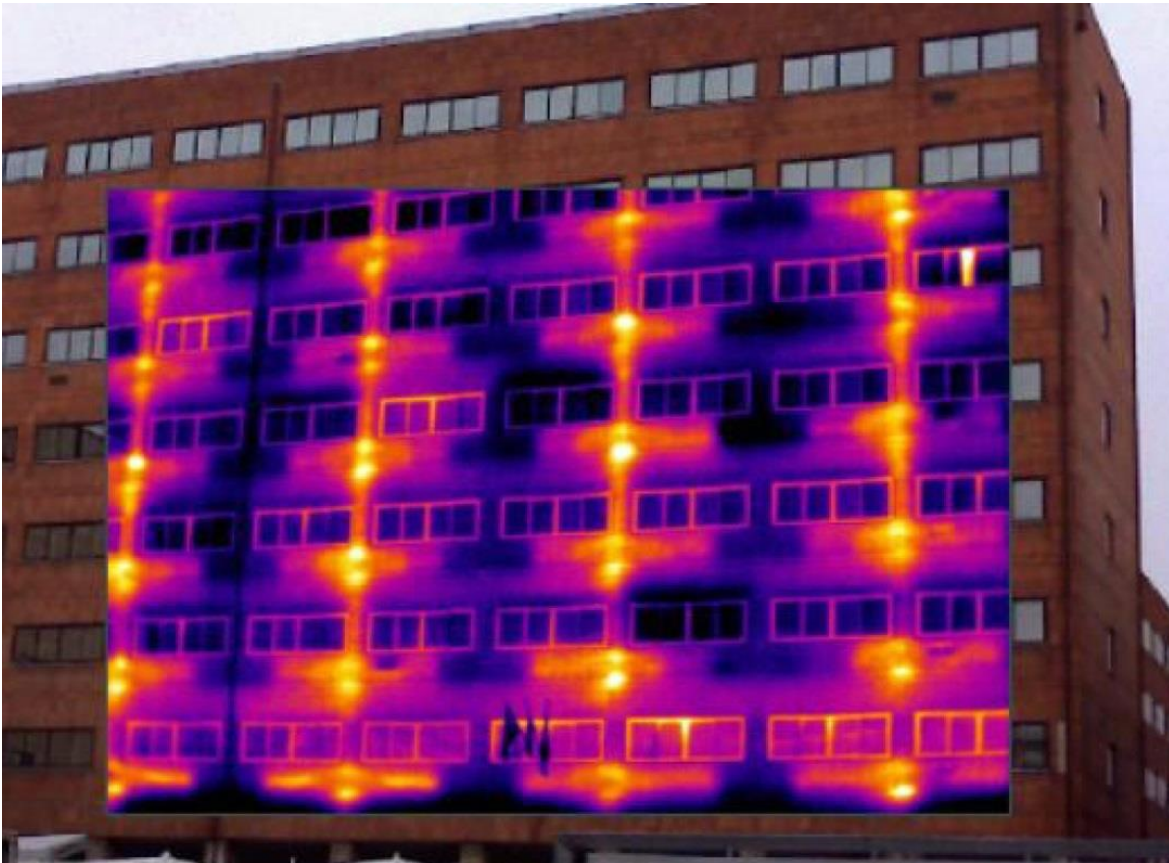
### **Verifica di ponti termici**

Negli edifici contemporanei, l'uso più frequente di IRT (indagine termografica) è per mappare anomalie termiche, per l'analisi delle caratteristiche termiche delle strutture.

Modelli matematici vengono utilmente applicati per studiare il trasferimento di calore attraverso le strutture ed il loro comportamento.

## Verifica di difetti dell'involucro

IRT approccio passivo, localizzazione delle zone critiche attorno alle finestre

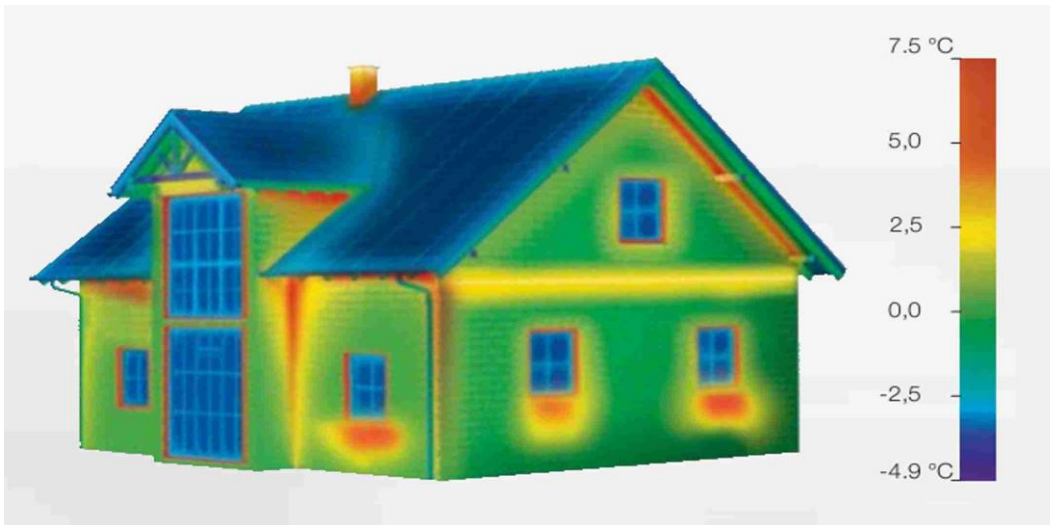


Il confronto tra la temperatura raggiunta nei punti critici e nelle zone a regime permette di quantificare la perdita di calore.

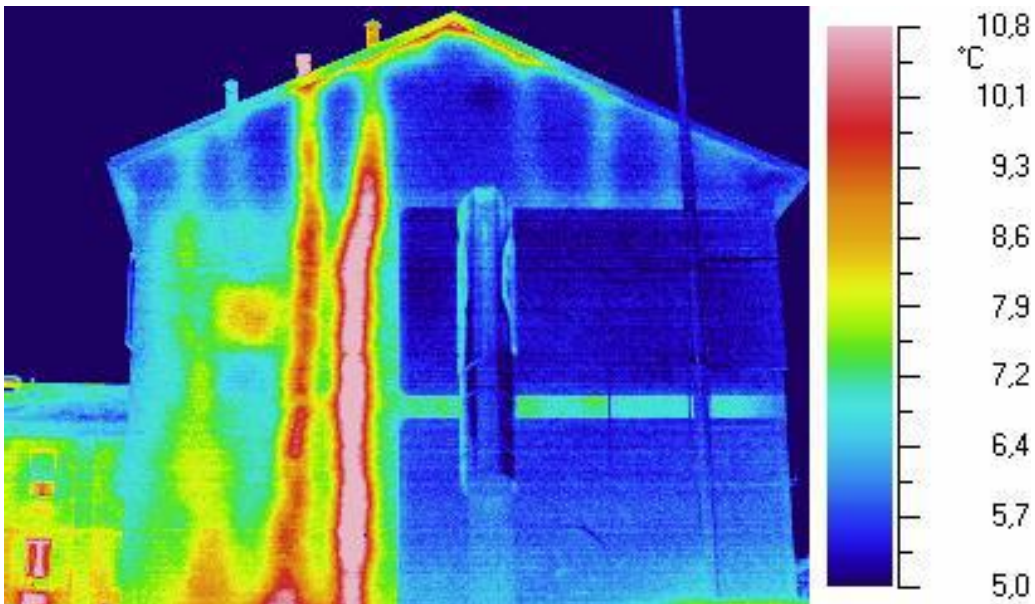
IRT, monitoraggio T e UR consente di localizzare dispersioni termiche e difetti nell'involucro, quantificare le perdite energetiche e i costi.

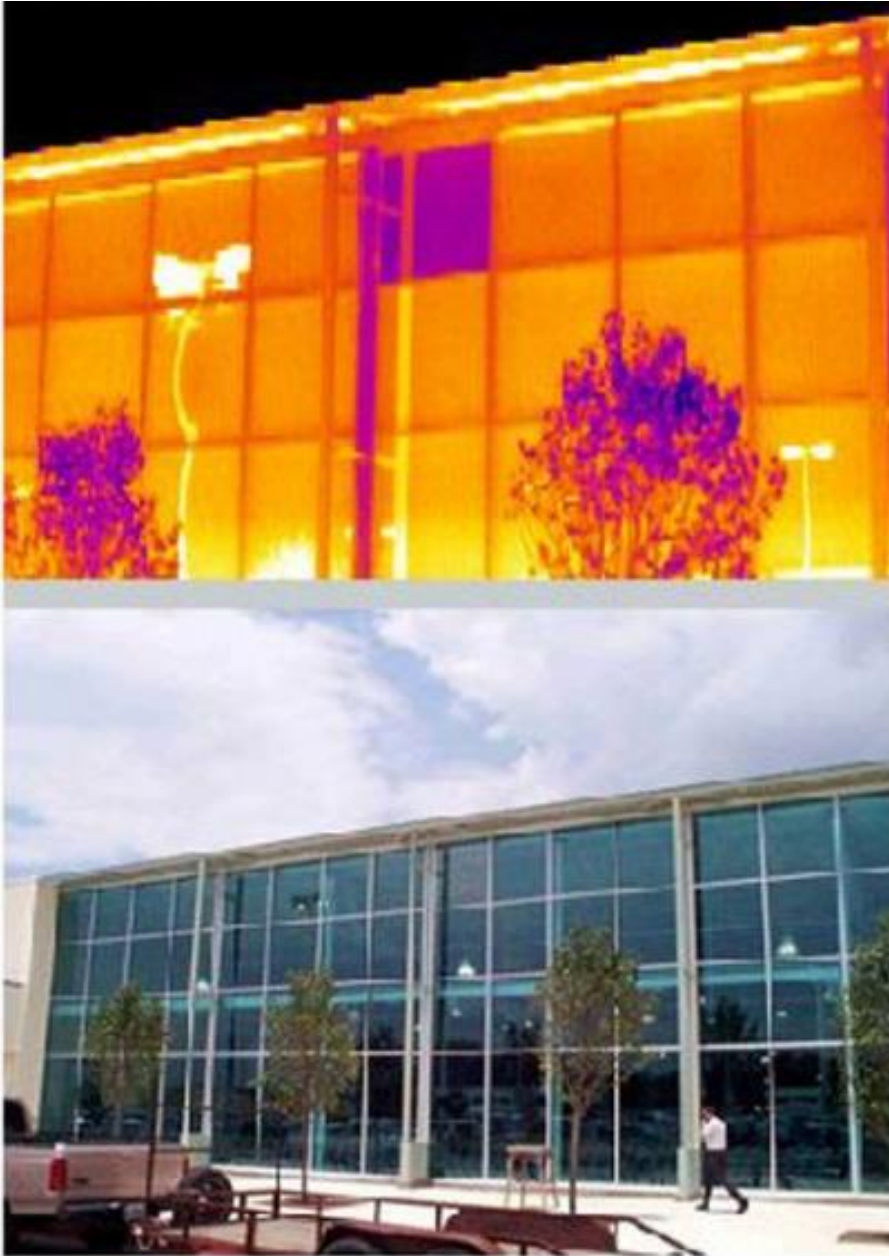
## Verifica di dispersioni termiche

In tempo reale viene rilasciato un primo livello di informazione

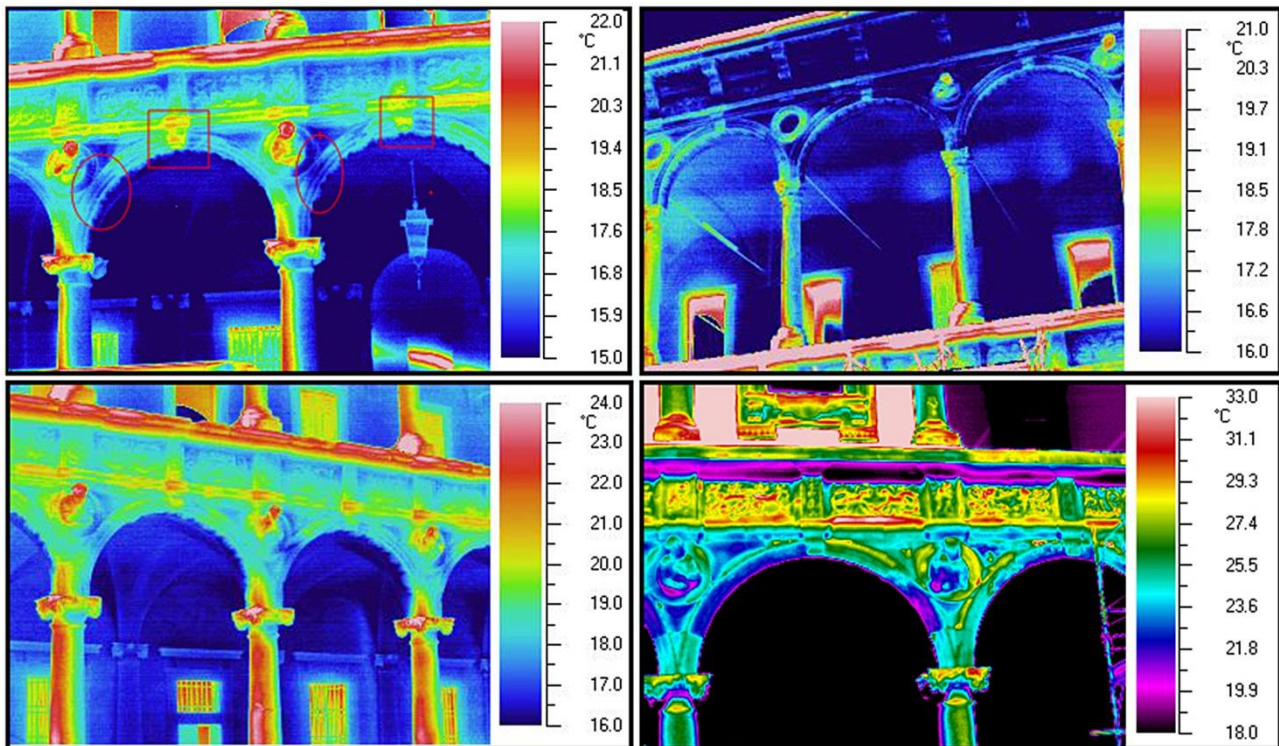


**Verifica dell'efficacia della coibentazione o della conformità dei materiali utilizzati.**





## Applicazioni agli edifici storici



Gli edifici storici hanno caratteristiche molto "individuali", e le procedure IRT debbono essere adattate caso per caso:

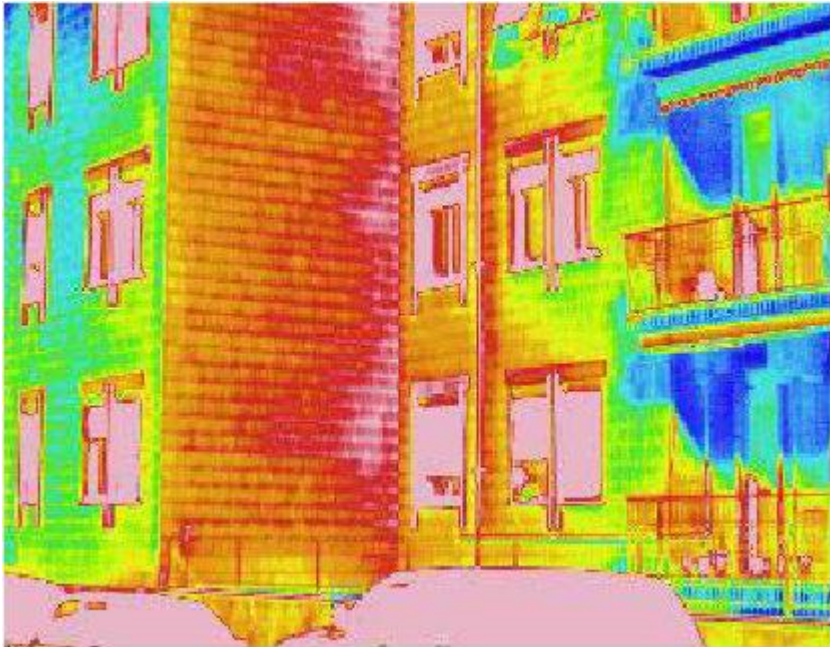
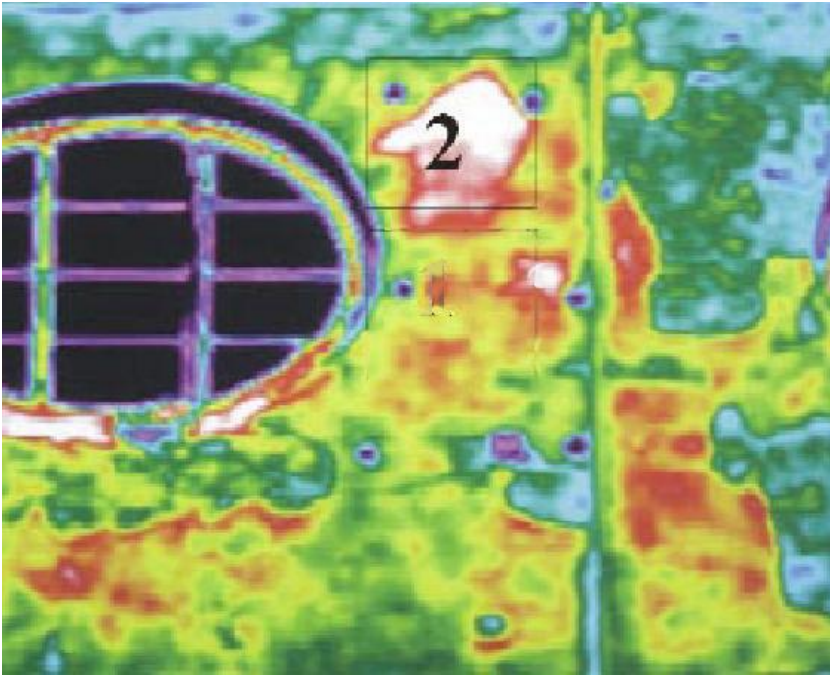
**Progetto:** è indispensabile acquisire tutte le informazioni già disponibili su materiali, tecniche ed evoluzione storica, ambiente e storia del degrado

**Lab post processing:** filtraggio via software e confronto multispettrale per evitare falsi allarmi

### Obiettivi:

- Scoprire/valutare anomalie termiche corrispondenti ai difetti (degrado) e gli elementi nascosti
- Determinare l'esistenza, posizione, sagoma e dimensioni di elementi strutturali, tessitura della muratura sotto l'intonaco
- Caratterizzare differenti materiali che appaiono indistinguibili a vista
- Monitorare le condizioni termoigrometriche della superficie

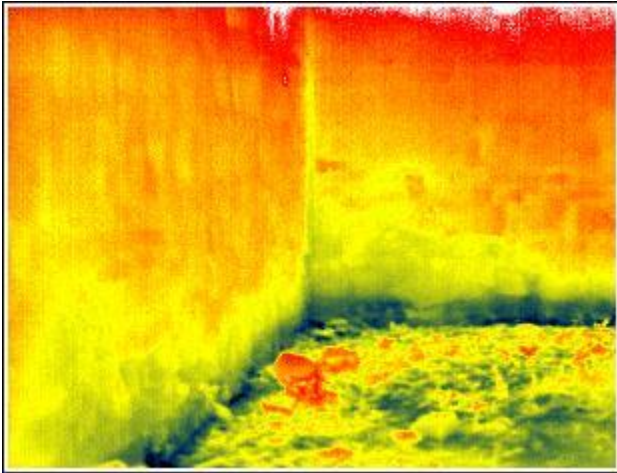
**Mappatura dei distacchi della finitura**





## Mappatura dell'umidità

L'obiettivo dell'indagine sull'umidità è individuare le fonti di adduzione d'acqua e progettare il corretto intervento per asciugare la struttura preservando le superfici



## Funzionamento impianti

Nella verifica di impianti fotovoltaici l'immagine termografica può aiutarci a individuare surriscaldamento o danneggiamento dei moduli.



## **4. Modalità di applicazione per la rilevazione dei difetti sulle costruzioni recenti**

### **4.1 Esempio applicativo di diagnostica IR su un edificio**

La termografia può essere utilizzata come rilevatore di difetti su costruzioni recenti o in fase di collaudo per le nuove costruzioni.

Porteremo adesso un esempio di una indagine effettuata da me e un mio collega, mediante apparecchiatura termografica, relativa alle prestazioni termiche di un edificio di recente realizzazione.

La problematica maggiormente riscontrata è l'insorgenza di muffa localizzata:

- sul lato interno delle pareti perimetrali esterne di alcuni appartamenti
- sul lato interno delle pareti prospicienti il vano scala
- lungo il perimetro dei serramenti esterni, portoncino blindato compreso, di tutti gli appartamenti.

La termografia è stata eseguita con lo scopo di verificare i ponti termici presenti, il grado di continuità dell'isolamento all'interno delle pareti prospicienti l'esterno e ambienti non riscaldati ed eventuali errori sia nella progettazione, sia nella realizzazione degli elementi costituenti l'involucro edilizio.

#### *Descrizione edificio e contesto ambientale*

Le opere di realizzazione della palazzina sono iniziate nel 2009 e terminate verso la metà del 2010.

Il fabbricato si sviluppa su n. 2 piani fuori terra ospitanti unità abitative, un piano interrato ove sono ubicati box e cantine e un piano sottotetto riscaldato.

La struttura portante è in Cemento Armato (travi e pilastri in C.A.).

Le stratigrafie degli elementi sono:

- tamponamenti esterni: muratura a cassa vuota con isolamento in intercapedine

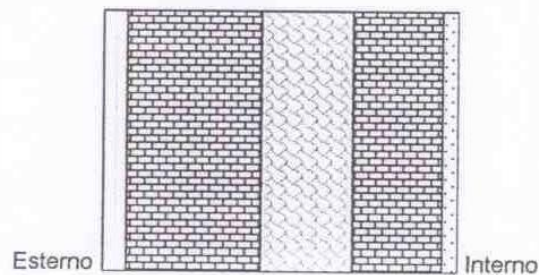
**Codice struttura:** \_STR14    **Nome:** parete perimetrale con intercapedine  
**Descrizione:** muratura a cassa vuota

**Proprietà dei materiali componenti la struttura.**

Dall'esterno verso l'interno

Descrizione	$\lambda$ W/(m·K)	R m <sup>2</sup> ·K/W	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	C J/K	$\mu$	d m
Malta di calce o di calce e cemento	0,900	0,022	1.800,0	840	27,0	0,020
Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	0,360	0,333	600,0	840	7,0	0,120
Poliuretano espanso in discontinuo in lastre	0,033	2,424	35,0	1300	140,0	0,080
Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	0,300	0,267	800,0	840	7,0	0,080
Intonaco di calce e gesso	0,700	0,021	1.400,0	840	11,0	0,015
<b>Totale resistenze materiali</b>		<b>3,068</b>				

	$R_{si}$ m <sup>2</sup> ·K/W	R m <sup>2</sup> ·K/W	$R_{se}$ m <sup>2</sup> ·K/W	$R_{tot}$ m <sup>2</sup> ·K/W	U W/(m <sup>2</sup> ·K)
Trasmittanza U (UNI EN ISO 13788)	0,250	3,068	0,040	3,358	0,298
Trasmittanza U Termica	0,130	3,068	0,040	3,238	0,309



--- parete su vano scala: parete in cls coibentata

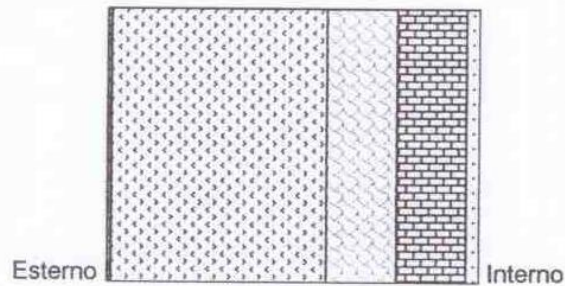
Codice struttura: \_STR13      Nome: Parete in cls  
 Descrizione: parete in cls

**Proprietà dei materiali componenti la struttura.**

Dall'esterno verso l'interno

Descrizione	$\lambda$ W/(m·K)	R m <sup>2</sup> ·K/W	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	C J/K	$\mu$	d m
guaina	0,170	0,029	1.100,0	1000	50000,0	0,005
Pannello prefabbricato in cls	1,580	0,158	2.000,0	880	60,0	0,250
Poliuretano espanso in continuo in lastre	0,032	2,500	30,0	1300	140,0	0,080
Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	0,300	0,267	800,0	840	7,0	0,080
Intonaco di calce e sabbia	0,800	0,019	1.600,0	1000	6,0	0,015
<b>Totale resistenze materiali</b>		<b>2,973</b>				

	$R_{si}$ m <sup>2</sup> ·K/W	R m <sup>2</sup> ·K/W	$R_{se}$ m <sup>2</sup> ·K/W	$R_{tot}$ m <sup>2</sup> ·K/W	U W/(m <sup>2</sup> ·K)
Trasmittanza U (UNI EN ISO 13788)	0,250	2,973	0,040	3,263	0,306
Trasmittanza U Termica	0,130	2,973	0,040	3,143	0,318



--- pavimento su cantine/box: struttura in cls armato (predalles) con coibentazione

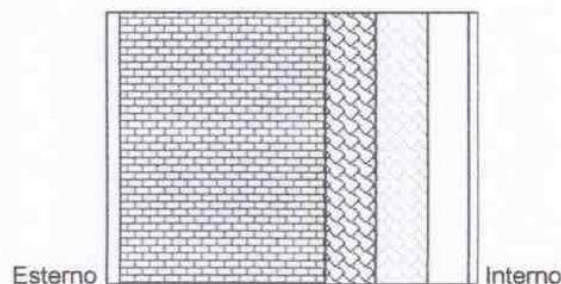
Codice struttura: \_PAV 02 Nome: pavimento su cantina  
 Descrizione: pavim predalles

**Proprietà dei materiali componenti la struttura.**

Dall'esterno verso l'interno

Descrizione	$\lambda$ W/(m·K)	R m <sup>2</sup> ·K/W	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	C J/K	$\mu$	d m
Malta di calce o di calce e cemento	0,900	0,017	1.800,0	840	27,0	0,015
Pavimento tipo predalles cm 24	0,000	0,300	1.479,0	840	9,0	0,240
Polistirolo espanso sfuso (um. 3%)	0,054	1,111	15,0	1250	3,0	0,060
Polistirene espanso, estruso senza pelle	0,041	1,463	30,0	1250	100,0	0,060
Sottofondo di cemento magro	0,700	0,071	1.600,0	880	20,0	0,050
Piastrelle in cotto	0,720	0,014	1.800,0	840	7,0	0,010
<b>Totale resistenze materiali</b>		<b>2,977</b>				

	$R_{si}$ m <sup>2</sup> ·K/W	R m <sup>2</sup> ·K/W	$R_{se}$ m <sup>2</sup> ·K/W	$R_{tot}$ m <sup>2</sup> ·K/W	U W/(m <sup>2</sup> ·K)
Trasmittanza U (UNI EN ISO 13788)	0,250	2,977	0,040	3,267	0,306
Trasmittanza U Termica	0,130	2,977	0,040	3,147	0,318



--- copertura: struttura legno con coibentazione esterna

L'impianto di riscaldamento è costituito da una caldaia multistadio modulante (non a condensazione) per ogni appartamento (termoautonomo) con sottosistema:

--- emissione a pavimento

--- regolazione mediante termostato zona unica

## INDAGINE:

Sono stati individuati ponti termici "tipo" dovuti alla modalità costruttiva scelta per la realizzazione delle componenti opache costituenti l'involucro dell'edificio oggetto di perizia.

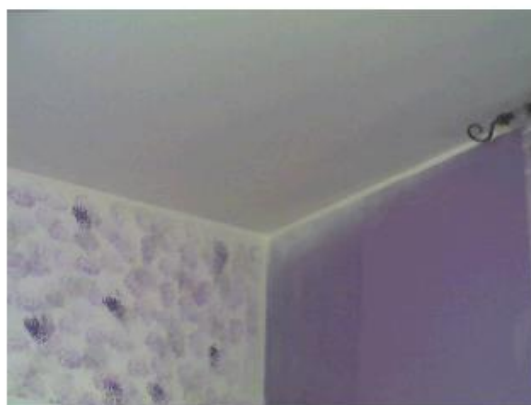
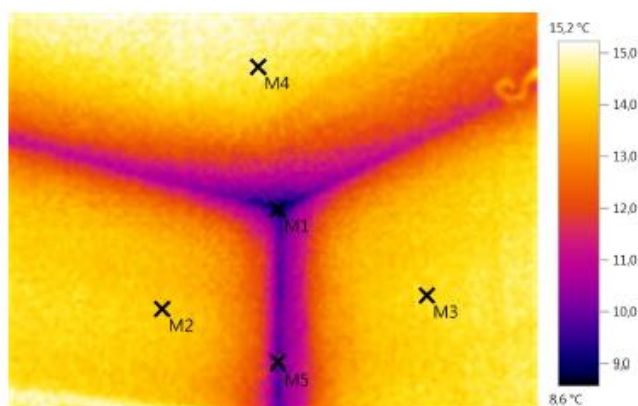
Nella fattispecie le situazioni "peggiori", ove vi è una differenza maggiore fra le temperature superficiali sono state individuate in prossimità di:

- spigolo Nord/Est interno ad un appartamento a Piano terreno, locale camera matrimoniale ove si è verificato maggiormente il fenomeno di condensa superficiale seguito dall'insorgenza di muffa.

**File:**  
IV\_01662.BMT

**Data:**  
16/02/2012

**Orario di misurazione:**  
19:14:28

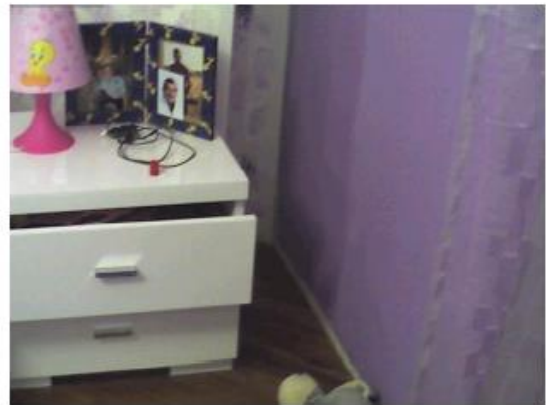
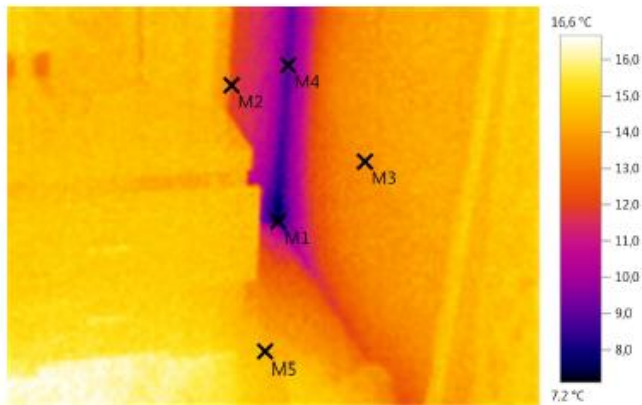


### Parametri dell'immagine:

**Grado di emissione:** 0,93  
**Temp. riflessa [°C]:** 18,0

### Marcature immagine:

Oggetti da misurare	Temp. [°C]	Emiss.	Temp. riflessa [°C]	Note
Punto di misura 1	8,5	0,93	19,7	-
Punto di misura 2	13,7	0,93	19,7	-
Punto di misura 3	14,0	0,93	19,7	-
Punto di misura 4	14,4	0,93	19,7	-
Punto di misura 5	9,6	0,93	19,7	-



**Parametri dell'immagine:**

Grado di emissione: 0,93  
Temp. riflessa [°C]: 18,0

**Marcature immagine:**

Oggetti da misurare	Temp. [°C]	Emiss.	Temp. riflessa [°C]	Note
Punto di misura 1	7,0	0,93	19,7	-
Punto di misura 2	11,9	0,93	19,7	-
Punto di misura 3	13,4	0,93	19,7	-
Punto di misura 4	9,0	0,93	19,7	-
Punto di misura 5	14,3	0,93	19,7	-

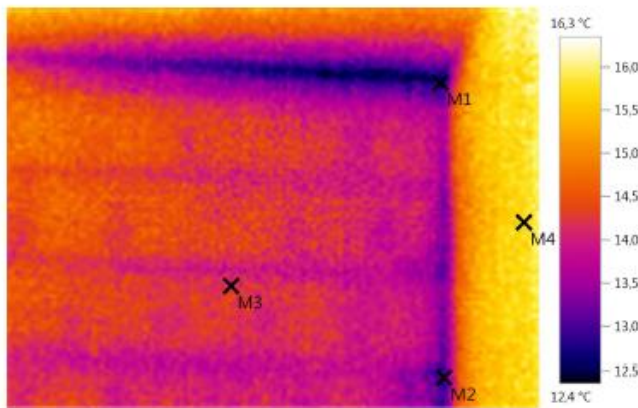
Spigolo tra parete esterna e parete vano scala appartamento piano terreno locale camera singola.

Anche su queste partizioni si sono verificati fenomeni di condensa e successiva insorgenza di muffa.

**File:**  
IV\_01668.BMT

**Data:**  
16/02/2012

**Ora di misurazione:**  
19:16:58



**Parametri dell'immagine:**

**Grado di emissione:** 0,93  
**Temp. riflessa [°C]:** 18,0

**Marcature immagine:**

Oggetti da misurare	Temp. [°C]	Emiss.	Temp. riflessa [°C]	Note
Punto di misura 1	12,6	0,93	19,7	-
Punto di misura 2	12,8	0,93	19,7	-
Punto di misura 3	14,1	0,93	19,7	-
Punto di misura 4	15,6	0,93	19,7	-

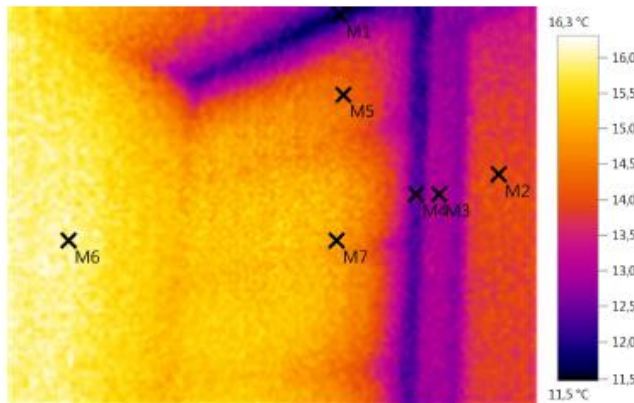


- giunzione tra soletta, parete perimetrale esterna e serramento appartamento piano terreno locale camera singola. In questa porzione si sono verificati fenomeni di condensa e successiva insorgenza di muffa lungo il perimetro del serramento.

**File:**  
IV\_01672.BMT

**Data:**  
16/02/2012

**Ora di misurazione:**  
19:18:57



**Parametri dell'immagine:**

**Grado di emissione:** 0,93  
**Temp. riflessa [°C]:** 18,0

**Marcature immagine:**

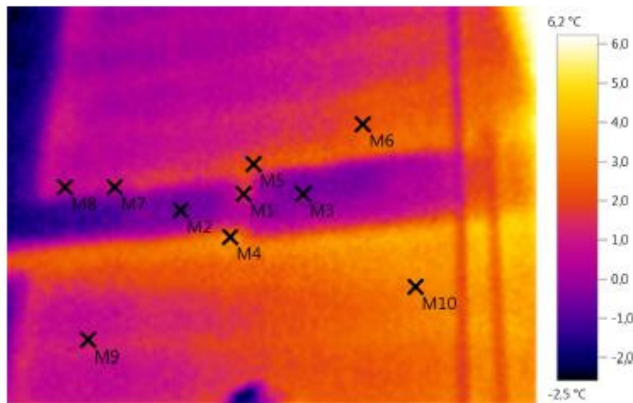
Oggetti da misurare	Temp. [°C]	Emiss.	Temp. riflessa [°C]	Note
Punto di misura 1	11,5	0,93	19,7	-
Punto di misura 2	13,8	0,93	19,7	-
Punto di misura 3	12,9	0,93	19,7	-
Punto di misura 4	12,0	0,93	19,7	-
Punto di misura 5	14,1	0,93	19,7	-
Punto di misura 6	15,8	0,93	19,7	-
Punto di misura 7	14,7	0,93	19,7	-

- porzione di parete Est appartamento piano terreno ove è evidente la posizione della soletta che divide il piano terra dal piano primo grazie al ponte termico e dove è altrettanto evidente il mal posizionamento del materiale coibente sulla correa (discontinuità fascia viola/blu ad indicare la posizione della soletta)

**File:**  
IV\_01685.BMT

**Data:**  
16/02/2012

**Ora di misurazione:**  
19:23:18



**Parametri dell'immagine:**

**Grado di emissione:** 0,93  
**Temp. riflessa [°C]:** 19,7

**Marcature immagine:**

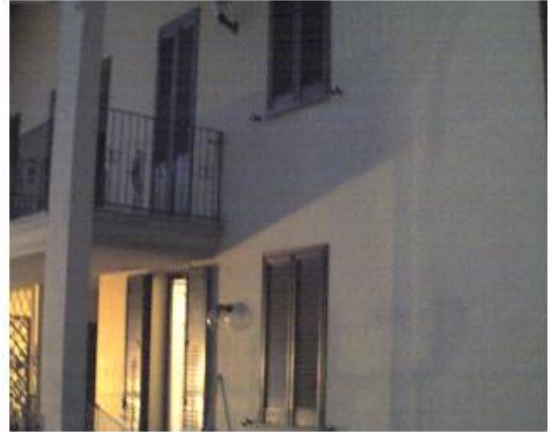
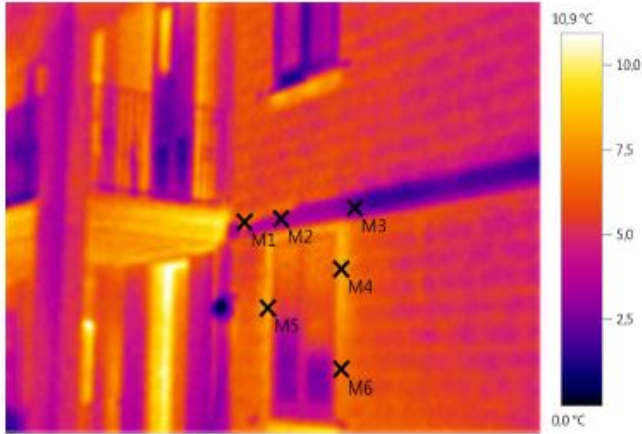
Oggetti da misurare	Temp. [°C]	Emiss.	Temp. riflessa [°C]	Note
Punto di misura 1	1,8	0,93	19,7	-
Punto di misura 2	-0,8	0,93	19,7	-
Punto di misura 3	-0,6	0,93	19,7	-
Punto di misura 4	3,2	0,93	19,7	-
Punto di misura 5	2,2	0,93	19,7	-
Punto di misura 6	2,2	0,93	19,7	-
Punto di misura 7	0,9	0,93	19,7	-
Punto di misura 8	0,5	0,93	19,7	-
Punto di misura 9	1,1	0,93	19,7	-
Punto di misura 10	3,2	0,93	19,7	-

- porzione di facciata Sud appartamento piano terreno: si denota la linea marcapiano generata dal ponte termico tra soletta e pareti esterne

**File:**  
IV\_01689.BMT

**Data:**  
16/02/2012

**Ora di misurazione:**  
19:24:28



**Parametri dell'immagine:**

**Grado di emissione:** 0,93  
**Temp. riflessa [°C]:** 19,7

**Marcature immagine:**

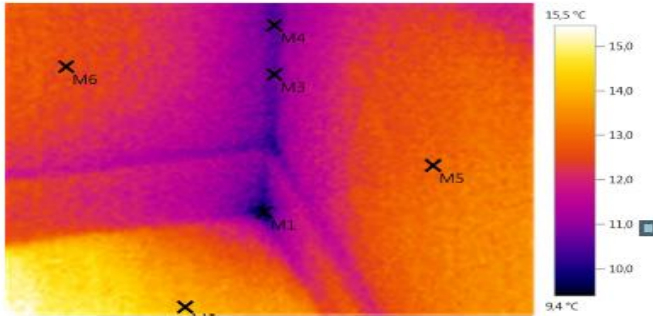
Oggetti da misurare	Temp. [°C]	Emiss.	Temp. riflessa [°C]	Note
Punto di misura 1	7,0	0,93	19,7	-
Punto di misura 2	3,7	0,93	19,7	-
Punto di misura 3	2,4	0,93	19,7	-
Punto di misura 4	8,1	0,93	19,7	-
Punto di misura 5	8,2	0,93	19,7	-
Punto di misura 6	6,8	0,93	19,7	-

- spigolo Nord/Est interno appartamento piano primo locale camera matrimoniale soprastante medesimo locale dell'appartamento a piano terreno ove si sono verificati fenomeni di condensa e successiva formazione di muffa

**File:**  
IV\_01710.BMT

**Data:**  
16/02/2012

**Ora di misurazione:**  
20:03:20

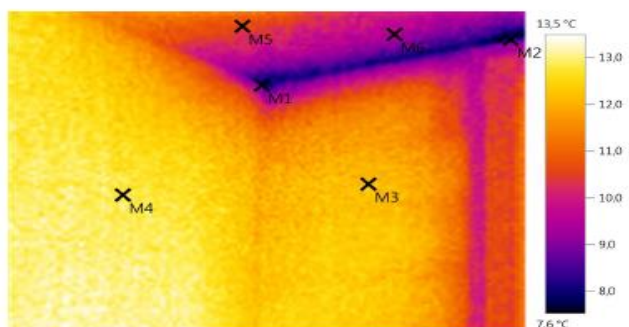


**Parametri dell'immagine:**

**Grado di emissione:** 0,93  
**Temp. riflessa [°C]:** 19,7

**Marcature immagine:**

Oggetti da misurare	Temp. [°C]	Emiss.	Temp. riflessa [°C]	Note
Punto di misura 1	9,6	0,93	19,7	-
Punto di misura 2	14,2	0,93	19,7	-
Punto di misura 3	10,4	0,93	19,7	-
Punto di misura 4	10,3	0,93	19,7	-
Punto di misura 5	12,7	0,93	19,7	-
Punto di misura 6	12,7	0,93	19,7	-



**Parametri dell'immagine:**

Grado di emissione: 0,93  
Temp. riflessa [°C]: 19,7

**Marcature immagine:**

Oggetti da misurare	Temp. [°C]	Emiss.	Temp. riflessa [°C]	Note
Punto di misura 1	8,5	0,93	19,7	-
Punto di misura 2	8,1	0,93	19,7	-
Punto di misura 3	12,4	0,93	19,7	-
Punto di misura 4	12,7	0,93	19,7	-
Punto di misura 5	10,8	0,93	19,7	-
Punto di misura 6	9,6	0,93	19,7	-

Da un punto di vista igro-termico, si è consapevoli che la tipologia costruttiva utilizzata per la realizzazione dei componenti opachi costituenti l'involucro edilizio (stratigrafie pareti), rende lo stesso più soggetto alla formazione di condensa, e quindi all'insorgenza di muffa, dovuti a ponti termici.

Questi sono causati dalla mancanza di continuità dell'isolante, all'interno delle pareti perimetrali, che si interrompe ad ogni intersezione con pilastri e solette.

Per questo motivo, in fase costruttiva, si dovrebbe prestare la massima cura ed attenzione (regola d'arte) nella realizzazione delle giunzioni tra pareti esterne e pilastri, tra pareti esterne e solette, tra parete esterna e parete esterna (spigoli) etc. Ciò significa che, con una tipologia costruttiva di edificio come quella in questione, andrebbero applicati accorgimenti atti a limitare le dispersioni termiche sopra descritte.

Si riportano alcuni esempi di accortezze per meglio comprendere quanto esposto:

- rivestimento per tutto il suo perimetro dei pilastri con materiale isolante ben giuntato con quello delle pareti in aderenza
- applicazione di pannelli isolanti sulla porzione di facciata lungo la quale si evidenzia la soletta di interpiano/correa collegata alle pareti esterne,
- isolante ben giuntato e continuo in prossimità degli spigoli generati tra le pareti esterne

Per quanto riguarda invece lo stabile in questione, dall'indagine effettuata e dalle immagini termografiche precedentemente illustrate si evince che i ponti termici non si ripetono uniformemente sull'involucro dell'edificio. Non sono quindi dettati solamente dalla tipologia costruttiva scelta, ma anche dalla mancata attenzione e cura nell'applicazione degli accorgimenti precedentemente descritti. In fase di realizzazione quindi, non sono state prestate le dovute cure ed attenzioni nell'applicazione degli accorgimenti atti a ridurre i ponti termici:

- tra pareti e pilastri
- tra pareti esterne e solette
- tra pareti esterne e pareti esterne (spigoli e/o giunzioni)
- tra pareti esterne e serramenti esterni

## 5. Modalità di applicazione per la rilevazione dei difetti sulla messa in opera degli elementi: i sistemi “a cappotto”



Un'altra possibilità d'impiego è l'utilizzo della termografia ai fini della corretta posa del sistema di isolamento a cappotto per quanto riguarda la posa dei tasselli e i relativi ponti termici per il problema energetico e per il problema estetico.

Negli ultimi anni il sistema a cappotto è uno dei metodi più diffusi per l'isolamento termico degli edifici di nuova costruzione (50%) e per quelli esistenti e purtroppo le regole di buona posa non sono state sempre seguite da tutti gli operatori – installatori; è opportuno quindi soffermarsi sul problema del riconoscimento di anomalie del sistema e sulla possibilità di verificare la corretta posa del sistema.

Si sono prodotti i casi di studio di sistemi a cappotto da analizzare con indagini termografiche per mezzo di una campagna di misure che ha portato ad esempi positivi e negativi e rappresentativi delle diverse problematiche che si sono sviluppate nel corso degli anni.

Per poter analizzare adeguatamente cosa accade nei vari casi indicati dalle indagini termografiche e per poter capire se sono anomalie o meno dal punto di vista della

posa, è necessario soffermarsi su alcuni cenni relativi alla trasmissione del calore in regime variabile sulla superficie del cappotto.

### Cenni alla trasmissione del calore in regime variabile

Il parametro per valutare l'attitudine di un materiale a lasciarsi penetrare dall'energia termica è la diffusività termica  $a$  che può rappresentare la "velocità di riempimento" del materiale in termini di calore.

La diffusività termica  $a$  [ $m^2/10^6s$ ] è valutata come:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

Oltre al concetto di diffusività termica è opportuno affrontare anche il concetto di l'effusività termica  $b$  che è un indice della "facilità" di assorbimento energetico di una superficie e si valuta come:

$$b = (\lambda \cdot \rho \cdot c)^{0.5}$$

Minore il valore di effusività, maggiore la rapidità di assorbimento di energia tenuto conto della conducibilità termica del materiale e della sua capacità termica.

Confrontando i valori di diffusività  $a$  e di effusività  $b$  per i materiali presenti in superficie ad un cappotto dell'esempio riportato si ottiene:

Materiale	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Calore specifico [J/kgK]	Capacità termica volumetrica [kJ/m <sup>3</sup> K]	Conducibilità termica [W/mK]	Diffusività termica [m <sup>2</sup> /Ms]	Effusività termica [J/m <sup>2</sup> s <sup>1/2</sup> K]
Colla rasante	1400	837	1172	0.70	0.60	820
EPS additivato con grafite	15	1450	22	0.034	1.56	0.7
PVC (del tassello)	1400	1255	1757	0.16	0.09	281

Analizzando le caratteristiche dei materiali posti in superficie ad un cappotto, evidenziati in tabella, si può comprendere il diverso comportamento che essi avranno



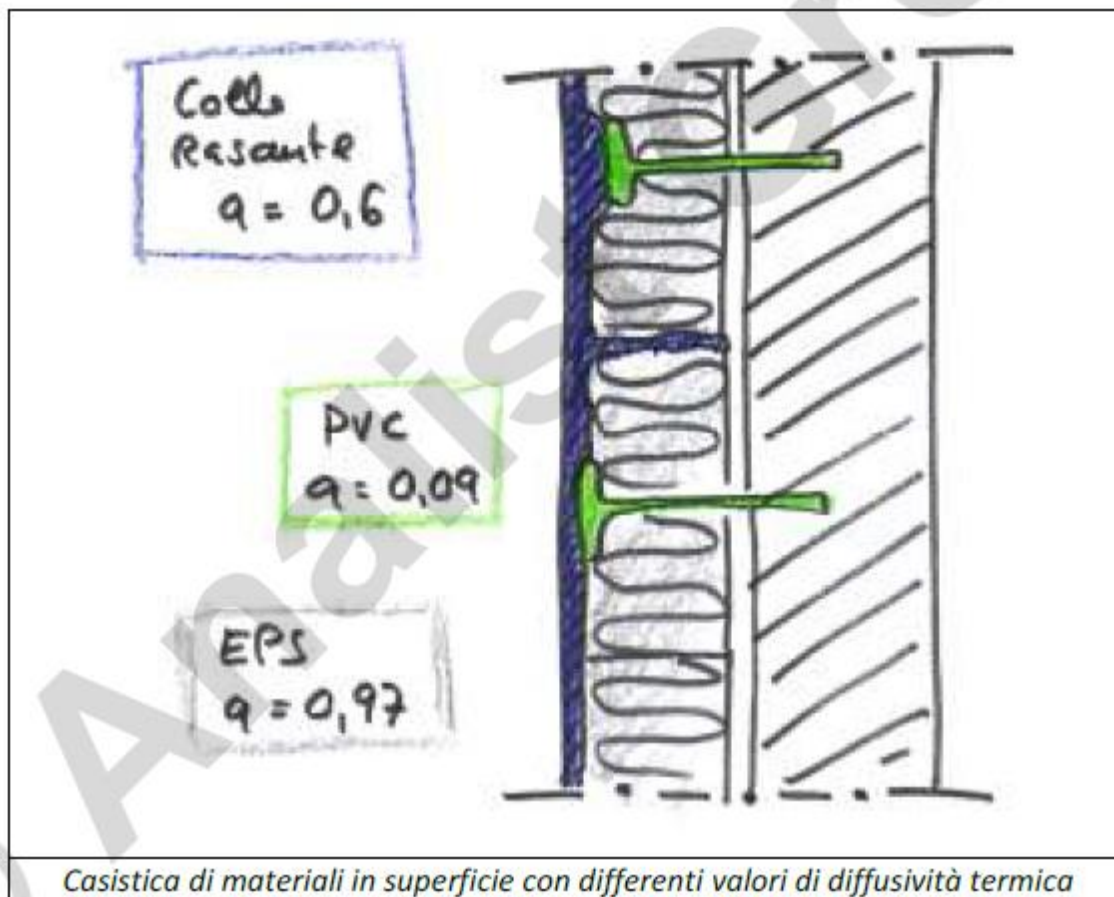
nei confronti del caricamento energetico dovuto all'irraggiamento e dello scaricamento dovuto all'ombreggiamento.

Il pvc e la colla rasante hanno valori di diffusività  $a$  e di effusività  $b$  molto differenti rispetto all'EPS e quindi reagiscono in maniera differente rispetto alla sollecitazione:

a) in caso di irraggiamento la sollecitazione tende a scaldare la superficie e quindi il pvc e la colla rasante, avendo un valore di effusività molto maggiore, saranno inizialmente più freddi rispetto all'EPS poiché l'energia assorbita viene convogliata più rapidamente verso l'interno e necessitano di maggiore quantità di energia per scaldarsi; l'EPS al contrario ha un valore di effusività ridotto: l'energia penetra con maggiore difficoltà e serve per scaldare il materiale in superficie che ha poca capacità termica;

b) in caso di ombreggiamento la sollecitazione è di raffreddamento e quindi il pvc e la colla rasante, avendo una maggiore capacità termica volumetrica (e maggiore di due ordini di grandezza) avranno accumulato maggiore quantità di energia e quindi saranno inizialmente più caldi rispetto all'EPS.

Le valutazioni compiute sono valide solo per i primi strati di materiale investiti dall'irraggiamento solare ma non sono così estendibili all'intera struttura che in tal caso è da studiare in accordo con la norma UNI EN 13786 e i parametri di sfasamento temporale, attenuazione e trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$ .

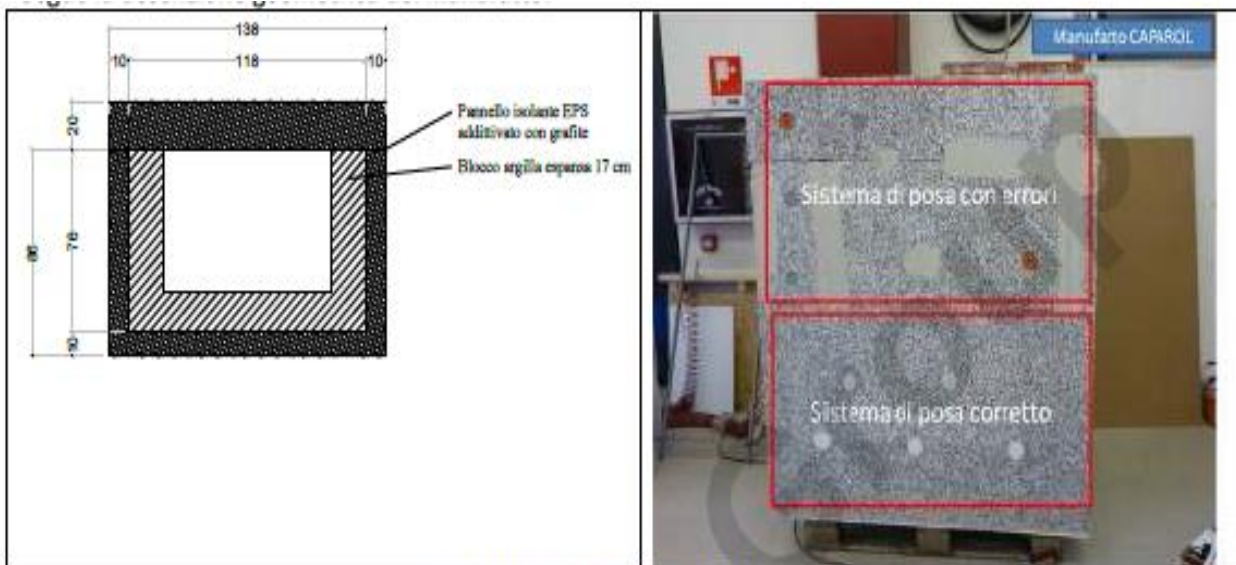


## 5.1 Prove di laboratorio

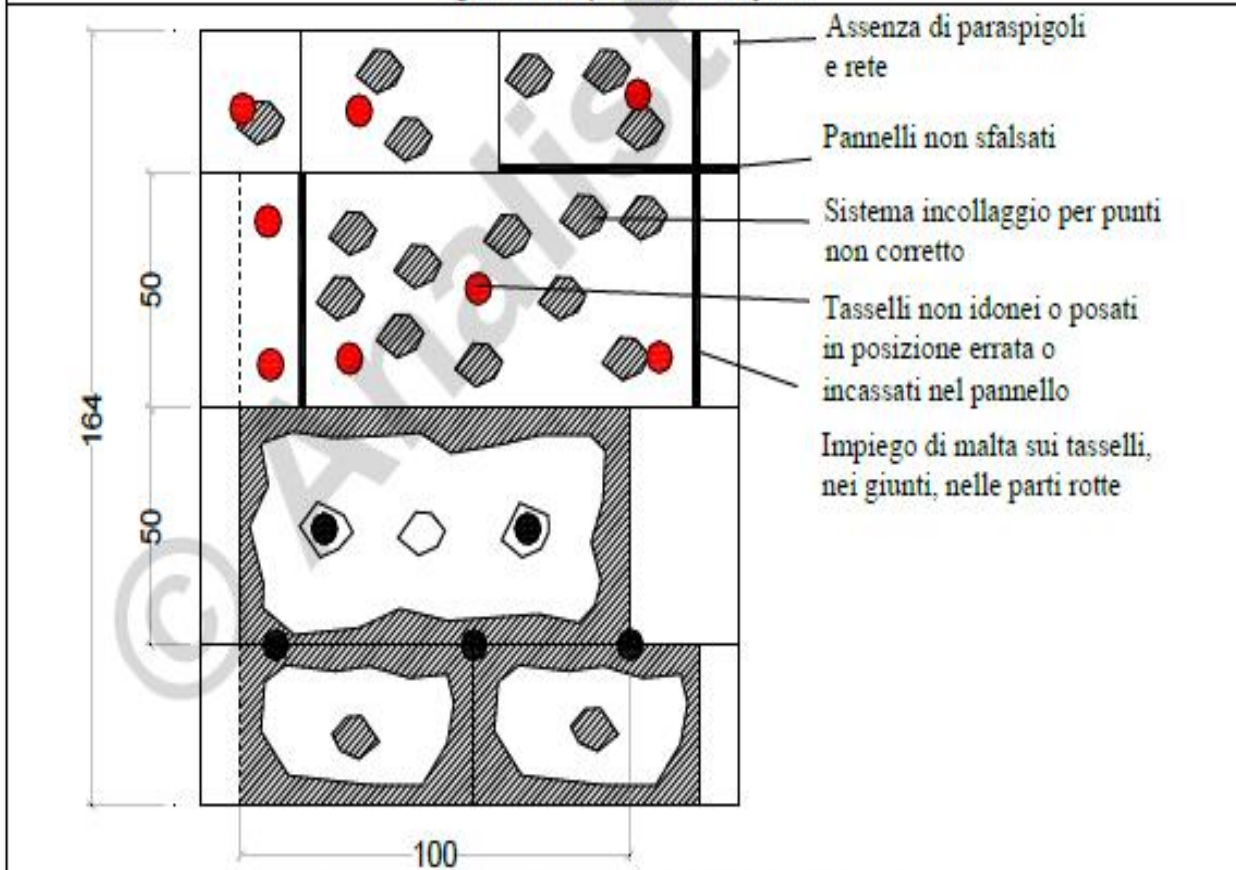
### Descrizione geometrica del manufatto realizzato

Per poter studiare i fenomeni termici caratterizzanti il sistema di posa a cappotto si è realizzato un manufatto rivestito su tre lati con cappotto in EPS additivato con grafite con la parte superiore delle superfici opache caratterizzata da comuni errori di posa e con la parte inferiore caratterizzata da una posa a regola d'arte con rondelle in EPS e senza. La posa è stata eseguita dagli istruttori di Caparol Akademie.

Segue la descrizione geometrica del manufatto.



*Ingombri della pianta del manufatto*

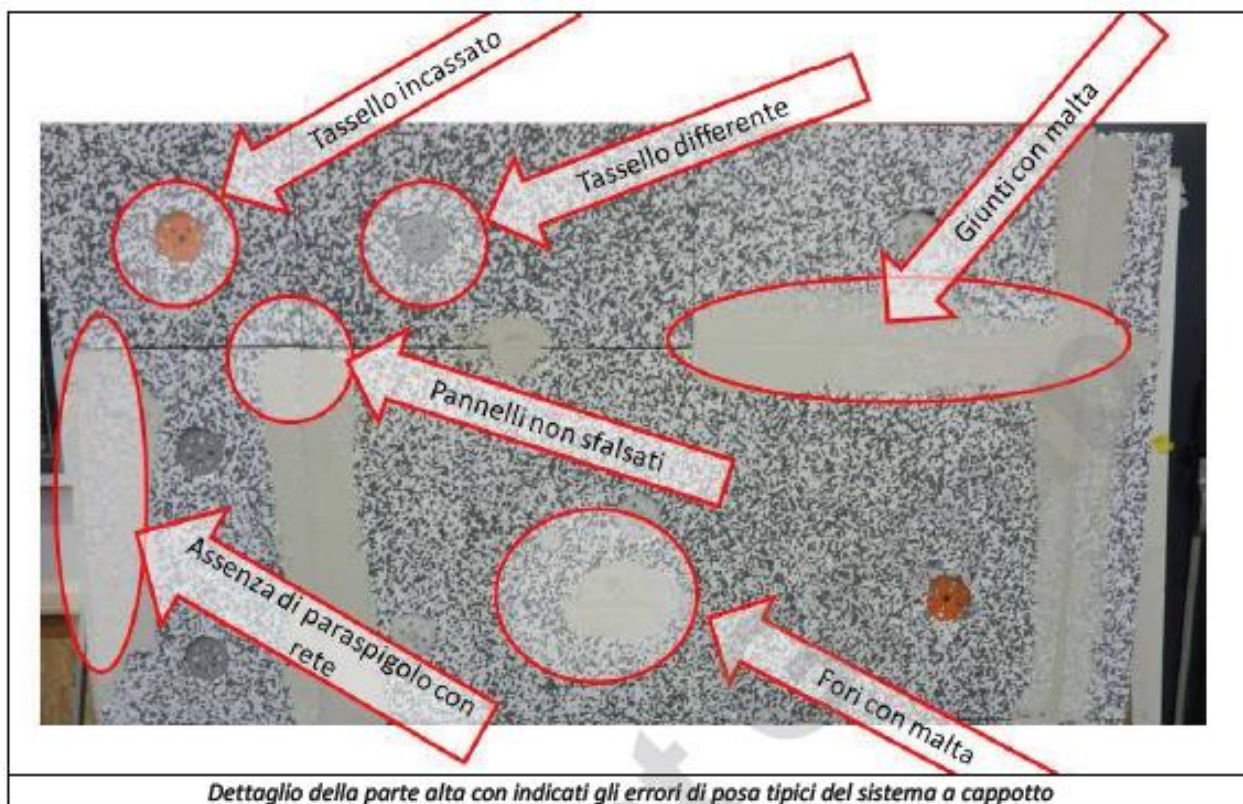


*Descrizione dello schema di posa del cappotto in prospettiva:*

- comuni errori di posa nella parte alta
- posa a regola d'arte nella parte inferiore

L'immagine di cui sopra della parte frontale del manufatto realizzato ad hoc con sistema di posa del cappotto corretto nella parte bassa e con errori di posa nella parte alta; nella parte frontale del manufatto il sistema a cappotto è stato posato con le

rondelle in polistirolo (evidenti in bianco). Nella parte superiore sono presenti gli errori di posa indicati nell'immagine successiva.



### **Descrizione delle indagini realizzate**

Il manufatto è stato indagato con due termocamere: una prima fissa installata su cavalletto e con tempi di acquisizione automatici, la seconda mobile e con tempi di acquisizione temporale casuali.

Il tipo di indagine si definisce attiva in quanto si eseguono le indagini in occasione di una sollecitazione termica consistente (irraggiamento solare) che "attiva" una reazione in termini di trasmissione del calore mostrata dalle temperature superficiali, che è da inquadrare come analisi in regime variabile e non stazionario.

Il caricamento attivo consiste quindi nell'irraggiamento solare che investe la superficie.

La fase di scaricamento consiste nel monitorare una struttura che ha accumulato energia e che rilascia tale energia per effetto dell'ombreggiamento.

Il monitoraggio è stato effettuato in data 28/03/2012 in condizione attiva di caricamento con esposizione est dalle 9:15 alle 11:04 con coefficiente di assorbimento

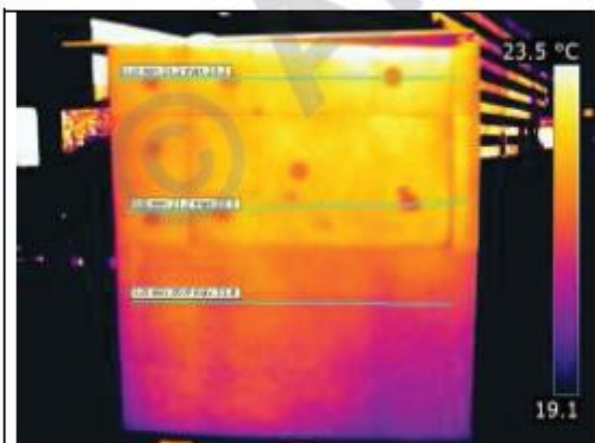
solare a medio e in condizione di scaricamento dalle 11:12 alle 12:02 posizionando il manufatto in ombra. Successivamente i risultati ottenuti sono stati confermati e integrati dalla campagna di misure condotta in data 04/05/2012 con il manufatto parzialmente tinteggiato con coefficiente di assorbimento solare chiaro.



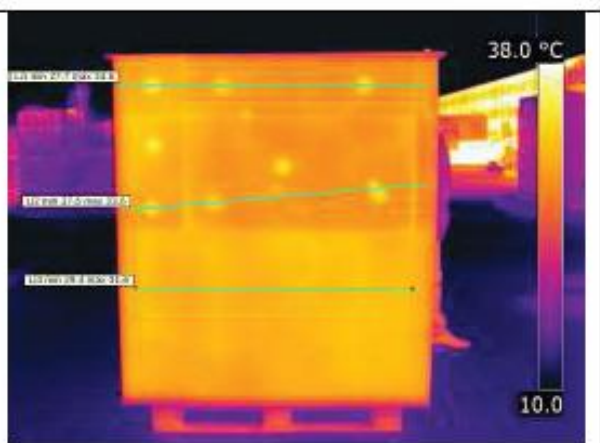
*Indagini su manufatto con coefficiente di assorbimento solare medio con termocamera fissa 28/03/2012*



*Indagini su manufatto con coefficiente di assorbimento solare medio, chiaro e con struttura in lana di roccia e tasselli senza rondella 04/05/2012*



*Indagine termografica di caricamento della superficie esterna della parete con coefficiente di assorbimento solare medio*

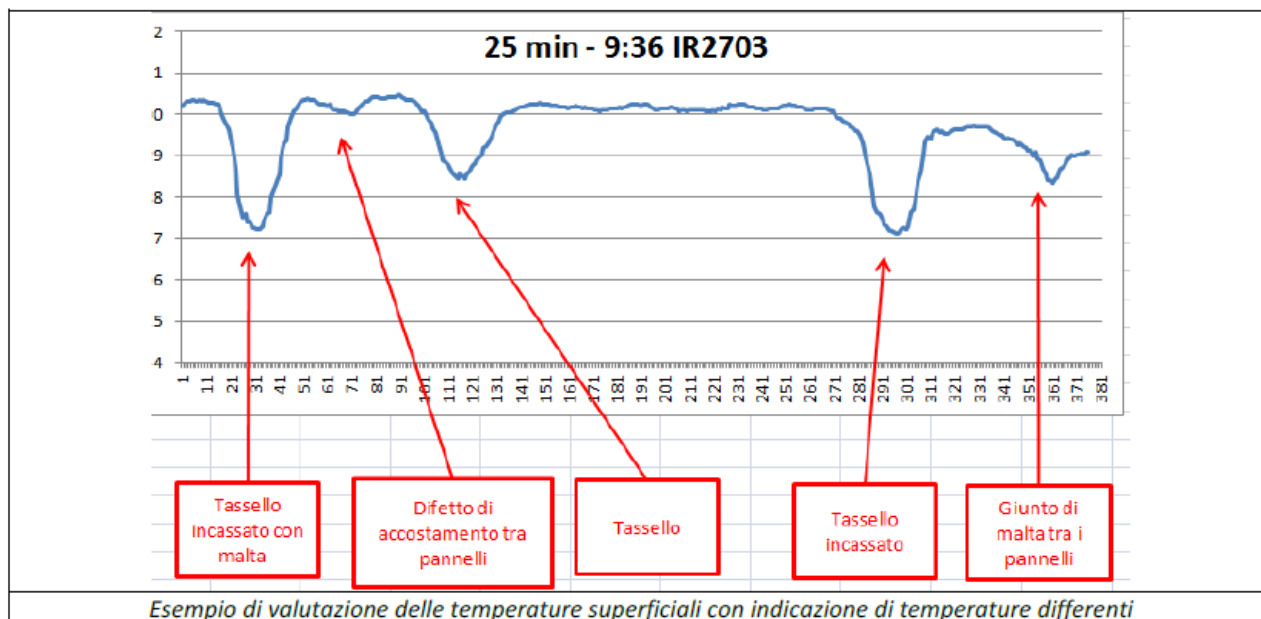


*Indagine termografica di scaricamento della superficie esterna della parete con coefficiente di assorbimento solare medio*

### **Esempio di analisi di caricamento**

A fronte della grande quantità di energia che investe la superficie per effetto dell'irraggiamento solare la parte con isolante si scalda maggiormente poiché l'energia viene accumulata più rapidamente e superficialmente rispetto alle aree dove la colla rasante sostituisce il materiale isolante. Per i tasselli il comportamento è analogo poiché pur essendo maggiormente conduttivi, hanno maggiore capacità termica. Il comportamento delle temperature superficiali e quindi condizionato dall'effusività  $b$ .

Il seguente grafico mostra le differenze di temperatura che si verificano sulla parte superiore del manufatto campione dove sono presenti e conosciuti gli errori di posa indicati.



**MISURE IN CARICAMENTO (IRRAGGIAMENTO SOLARE)**

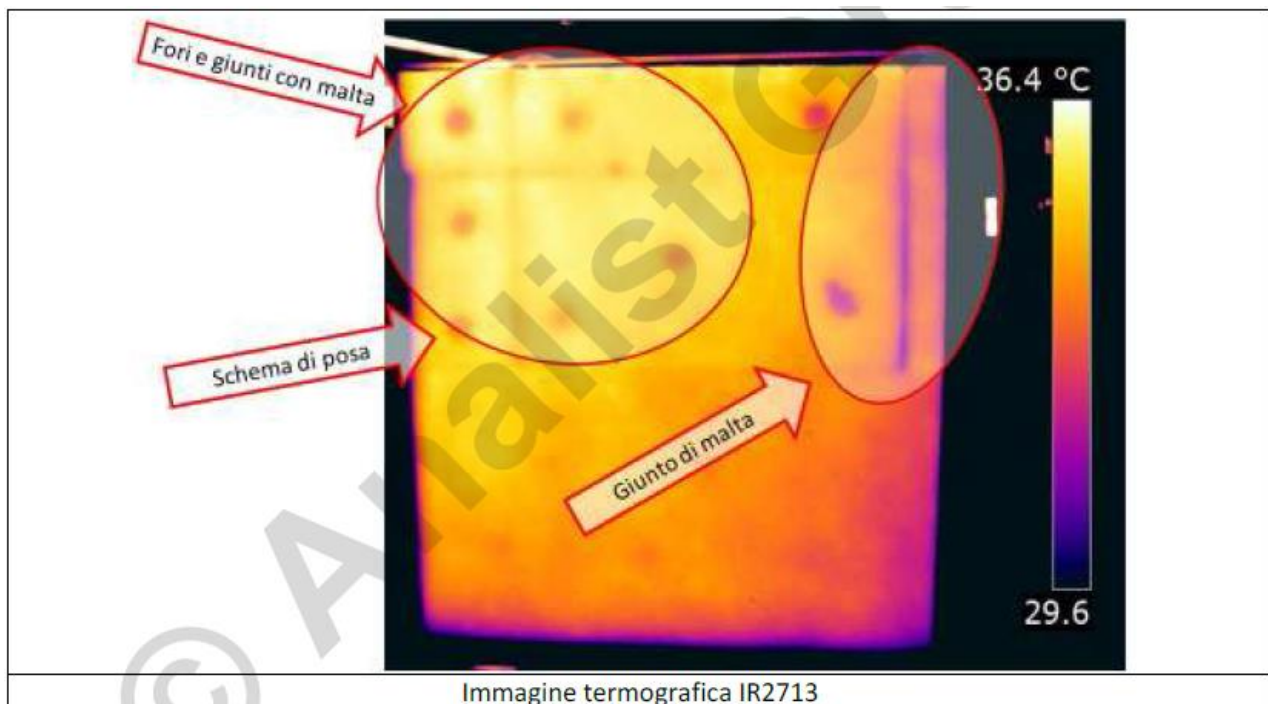
**Condizioni di misura:**

Coefficiente di assorbimento solare	$\alpha = 0.6$ medio	$\alpha = 0.3$ - chiaro
Quando devo essere in campo?	Possibilmente all'inizio dell'irraggiamento solare	Necessariamente all'inizio dell'irraggiamento solare
Entro quando devo indagare la struttura	E opportuno indagare la struttura entro <b>i primi 50</b> minuti di irraggiamento	E opportuno indagare la struttura entro <b>i primi 20</b> minuti di irraggiamento
Che differenze di temperatura devo essere in grado di leggere?	La strumentazione coniugata con la distanza di indagine devono garantire la lettura di $\Delta T$ di almeno $1^{\circ}\text{C}$ .	La strumentazione coniugata con la distanza di indagine devono garantire la lettura di $\Delta T$ di almeno $1^{\circ}\text{C}$ .

	Cio significa che lo strumento termografico a disposizione dovrebbe avere un fattore di merito con una sensibilita termica NETD di almeno 0,08-0,1°C	Cio significa che lo strumento termografico a disposizione dovrebbe avere un fattore di merito con una sensibilita termica NETD di almeno 0,05-0,3°C
--	--	--

### Risultati attesi dal tipo di indagine su cappotto in EPS:

Coefficiente di assorbimento solare	di $\alpha = 0.6$ medio	$\alpha = 0.3$ - chiaro
Che differenze di temperatura mi aspetto?	di $\Delta T$ compresi tra 0.5 e 3°C	$\Delta T$ compresi tra 0.5 e 1°C
Individuazione di tasselli?	Si individuano i tasselli senza rondella posati bene o male	Si individuano i tasselli senza rondella posati bene o male
Individuazione dello schema di posa dei tasselli	di E' possibile valutare distintamente sulla base della disposizione dei tasselli se e presente uno schema di posa corretto	E' possibile valutare distintamente sulla base della disposizione dei tasselli se e presente uno schema di posa corretto
Individuazione giunti di malta?	di Si individuano distintamente i giunti di malta	Si individuano i giunti di malta



Risultati indagine:

- lo schema di posa non è corretto
- sono presenti giunti di malta tra i pannelli
- i tasselli sono posati incassandoli

Conclusioni

- il non corretto schema di posa dei tasselli mostra la non padronanza del sistema di posa del cappotto delle maestranze impiegate
- la presenza di malta nei giunti, nei tasselli e nei buchi potrà comportare difetti estetici di differente macchiatura e possibili difetti di degrado futuri

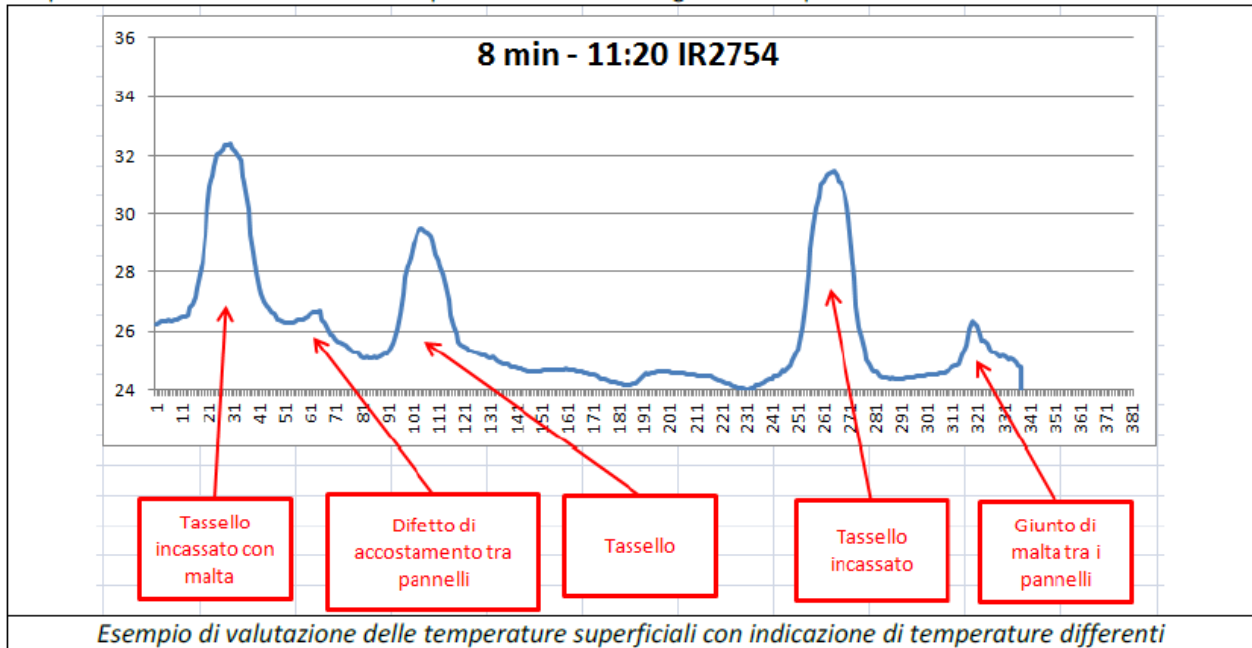
### Scaricamento

Il comportamento dei componenti a seguito dell'irraggiamento in fase di scaricamento puo essere cosi semplificato: gli strati superficiali sono differenziati tra materiali isolante con bassa conducibilita termica ed ridotta capacita termica e colla rasante o tasselli in PVC con elevata conducibilita termica e maggiore capacita termica. A fronte dell'energia accumulata per effetto dell'irraggiamento solare la parte con isolante si



raffredda più velocemente poiché è minore l'energia accumulata ovvero e minore la capacità termica volumetrica.

Il seguente grafico mostra le differenze di temperatura che si verificano sulla parte superiore del manufatto campione dove sono presenti e conosciuti gli errori di posa indicati.



Si noti come l'immagine di scaricamento sia lo specchio dell'immagine di caricamento. Dove il materiale impiega maggiore tempo per scaldarsi, rimanendo più freddo (caricamento), lo stesso materiale impiega maggiore tempo per raffreddarsi e quindi rimane più caldo (scaricamento).

MISURE IN SCARICAMENTO (OMBREGGIAMENTO)

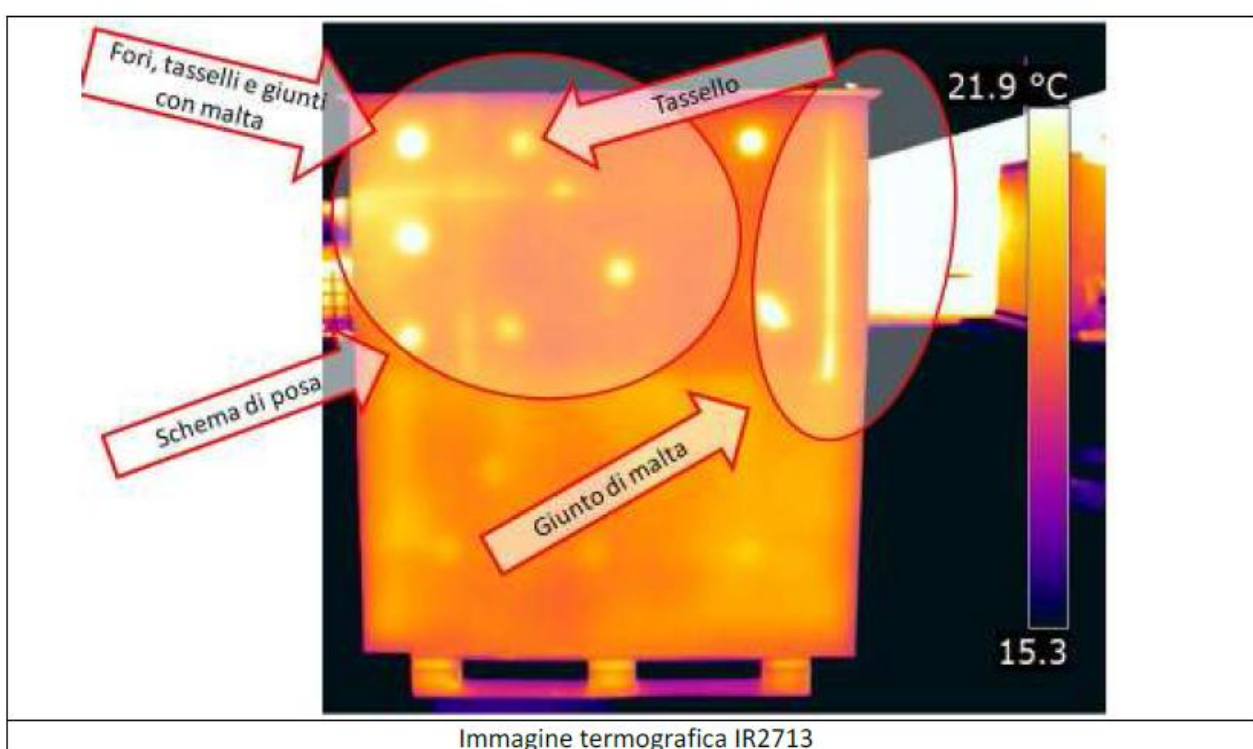
**Condizioni di misura:**

Coefficiente di assorbimento solare	$\alpha = 0.6$ medio	$\alpha = 0.3$ chiaro
Quando devo essere in campo?	<b>Necessariamente all'inizio dell'ombreggiamento</b>	<b>Necessariamente all'inizio dell'ombreggiamento</b>
Entro quando devo indagare la struttura	E opportuno indagare la struttura entro <b>i primi 10</b> minuti di scaricamento	E opportuno indagare la struttura entro <b>i primi 10</b> minuti di scaricamento
Che differenze di temperatura devo essere in grado di leggere?	La strumentazione coniugata con la distanza di indagine devono garantire la lettura di $\Delta T$ di almeno $2^{\circ}\text{C}$ . Cio significa che lo strumento termografico a disposizione dovrebbe avere un fattore di merito con una sensibilita termica NETD di almeno $0,08- 0,1^{\circ}\text{C}$	La strumentazione coniugata con la distanza di indagine devono garantire la lettura di $\Delta T$ di almeno $2^{\circ}\text{C}$ . Cio significa che lo strumento termografico a disposizione dovrebbe avere un fattore di merito con una sensibilita termica NETD di almeno $0,08- 0,1^{\circ}\text{C}$

**Risultati attesi dal tipo di indagine su cappotto in EPS:**

Coefficiente di assorbimento solare	$\alpha = 0.6$ medio	$\alpha = 0.3$ - chiaro
Che differenze di temperatura mi aspetto?	$\Delta T$ compresi tra $2$ e $8^{\circ}\text{C}$	$\Delta T$ compresi tra $0.5$ e $2^{\circ}\text{C}$
Individuazione di tasselli?	Si individuano i tasselli senza rondella posati bene o male distintamente	Si individuano i tasselli senza rondella posati bene o male

Individuazione dello schema di posa dei tasselli	E' possibile valutare distintamente sulla base della disposizione dei tasselli se e presente uno schema di posa corretto	E' possibile valutare sulla base della disposizione dei tasselli se e presente uno schema di posa corretto
Individuazione giunti di malta?	Si individuano distintamente i giunti di malta	Si individuano i giunti di malta non molto distintamente



Come già detto l'immagine di scaricamento sia lo specchio dell'immagine di caricamento.

## 5.2 Esempi applicativi di diagnosi IR

### Esempio di cappotto ben posato con tasselli senza rondelle

Ore di indagine – caricamento e scaricamento ore 11:40 – 12:44

Intervento realizzato nel 2011-2012

Condominio con cappotto in EPS da 6 e 8 cm con tasselli non a taglio termico senza rondella in EPS.

Tassellatura posata con cura; ispezioni in cantiere per la corretta posa.



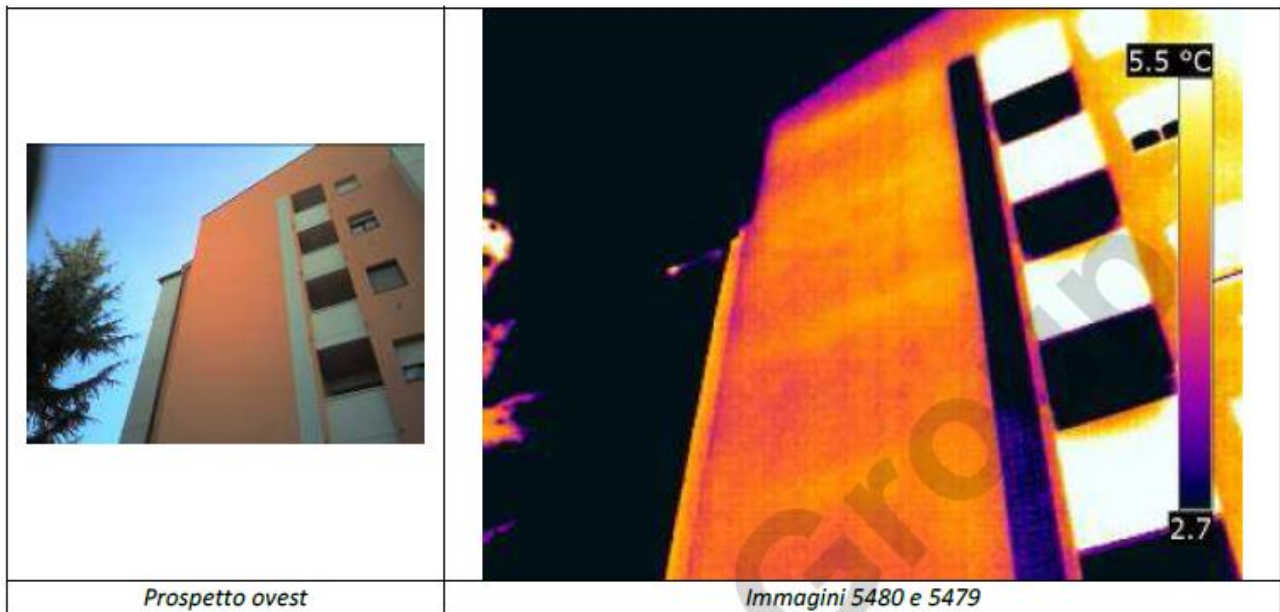
In relazione alla tipologia di posa del cappotto e presumibile aspettarsi:

- la (termo) visione dei tasselli
- la corretta posa dei tasselli con sistema di tassellatura a T (in relazione agli schemi di posa)

- l'assenza di difetti macroscopici tra i giunti dei pannelli o dei tasselli maltati (errore di posa)

Dall'analisi dei termogrammi realizzati si possono delineare le seguenti valutazioni:

- le pareti non soggette ad irraggiamento solare con esposizione nord e ovest e quindi con gradienti di temperatura tra l'interno e l'esterno  $\Delta T < 10^{\circ}\text{C}$  (sono raccomandate differenze di temperatura almeno di  $15^{\circ}\text{C}$ ) **non evidenziano la presenza dei tasselli;**

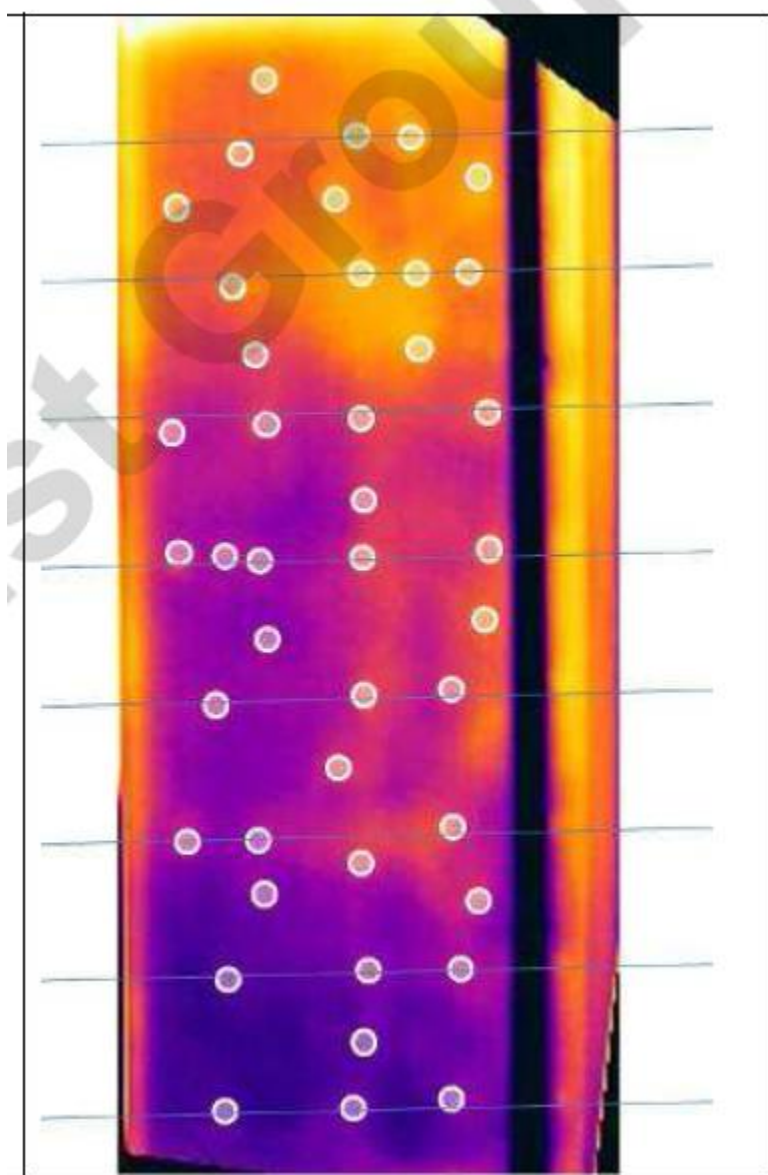
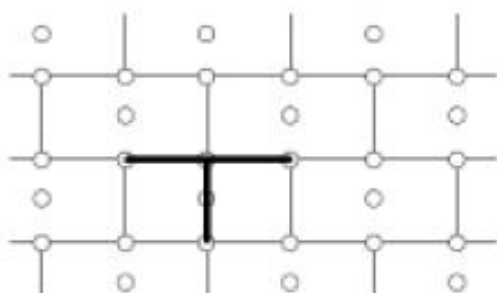


- i tasselli non si "manifestano" ne da 10 m ne da indagini più vicine (entro 3m);
- **in condizioni variabili** ovvero di caricamento e scaricamento energetico della parete per effetto dell'irraggiamento solare (parete est e sud/est al mattino) **la tassellatura appare evidente e indagabile;**
- in condizioni "stazionarie" di irraggiamento (il sole irradia da un certo lasso di tempo) i tasselli non sono più termicamente visibili.

La visione dei tasselli è un'informazione estremamente preziosa poichè consente di valutare la posa dei pannelli come da termogrammi che seguono che sono stati oggetto di foto raddrizzamento della parete senza finestra: la posa dei tasselli può essere individuata e ricondotta o meno ad uno schema di posa proposto in funzione del tipo di materiale del pannello.

- Nello schema a T un tassello è posto al centro di ogni pannello e un altro ad ogni incrocio dei giunti. Questo schema è consigliato per l'applicazione dei pannelli in polistirolo espanso.

Fig. 7: schema di tassellatura a "T"



Nell'immagine sono stati individuati i tasselli che appaiono a una prima analisi disposti in maniera caotica mentre a seguito di un'analisi più approfondita è possibile individuare lo schema di posa seguito dagli installatori.

Lo schema di posa non è sempre di immediata lettura, per esempio a causa del riposizionamento dei tasselli mal fissati o dell'utilizzo di pannelli tagliati. E' necessario quindi che l'interpretazione delle immagini avvenga con il supporto di tecnici di cantiere che conoscano le problematiche che si sviluppano nella pratica della posa.

### Esempio di cappotto ben posato con tasselli e rondelle in EPS

Ora di indagine con caricamento: 13:14 - 13:27

Intervento del 2011

Villetta con cappotto in EPS da 10 cm con tasselli a taglio termico e rondella in EPS da 2 cm. Tassellatura posata con cura.



In relazione alla struttura e presumibile aspettarsi:

- la non (termo) visione dei tasselli
- assenza di difetti macroscopici tra i giunti dei pannelli o dei tasselli maltati

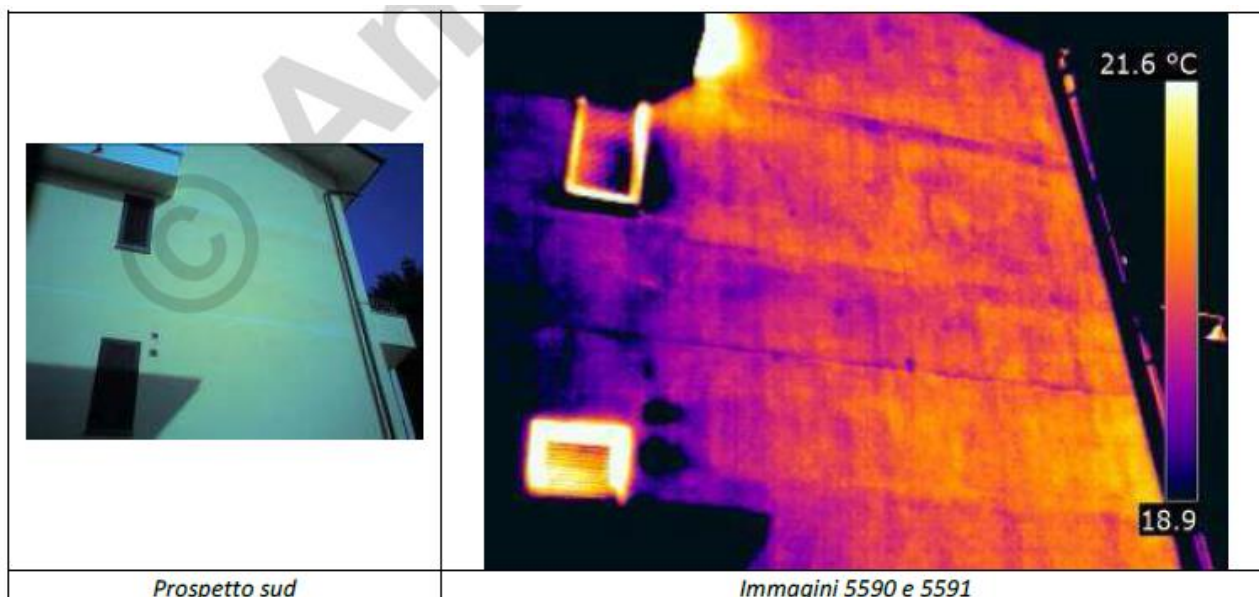
Dall'analisi dei termogrammi realizzati si possono delineare le seguenti valutazioni:

- le pareti non soggette ad irraggiamento solare con esposizione nord e ovest e quindi con gradienti di temperatura tra l'interno e l'esterno  $\Delta T < 20^{\circ}\text{C}$  **non manifestano la presenza dei tasselli anche a distanza ravvicinata;**

- i tasselli non si manifestano ne da 10 m ne da indagini piu vicine (entro 3m);

- **in condizioni variabili** ovvero di caricamento e scaricamento energetico della parete per effetto dell'irraggiamento solare (parete est e sud/est al mattino) **la tassellatura non appare evidente e indagabile;**

- per effetto del consistente irraggiamento solare emergono i sormonti della rete della rasatura esterna sopra il cappotto con un passo di circa 90 cm (il che e corretto poiché la rete e larga 1 metro e la sovrapposizione si effettua per 10 cm).



### **Esempio di cappotto con alcune anomalie**

Indagine in scaricamento della superficie irradiata: 15:52 – 16:20

Edificio con cappotto in EPS senza tasselli - 1986.

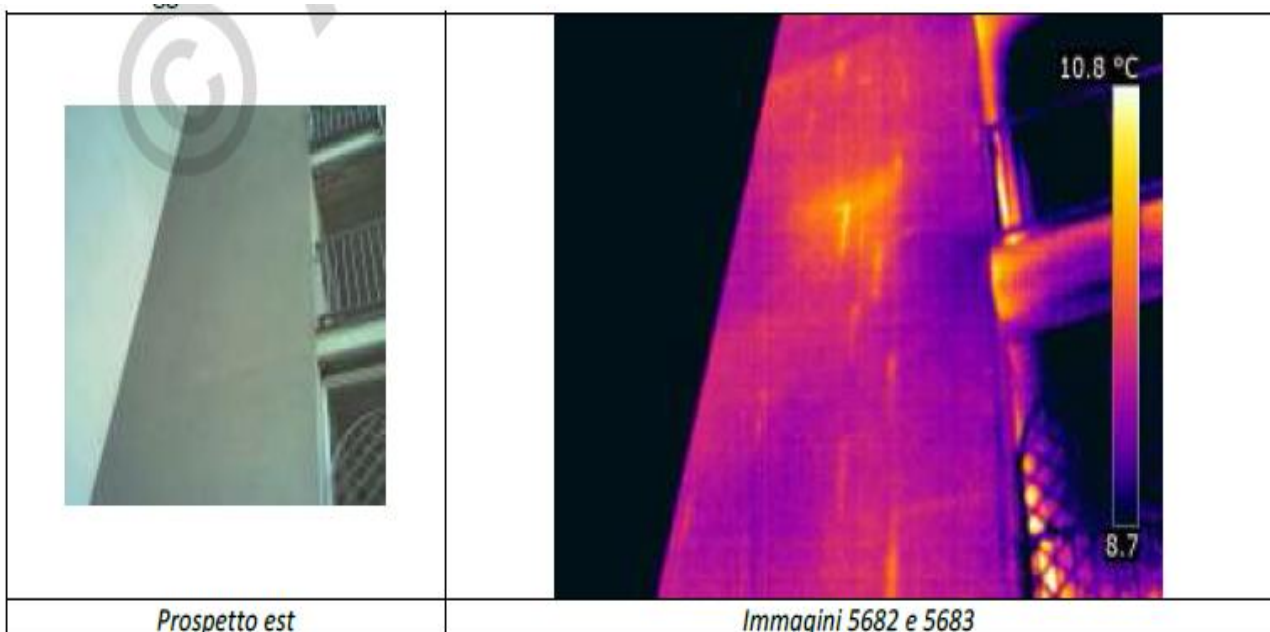
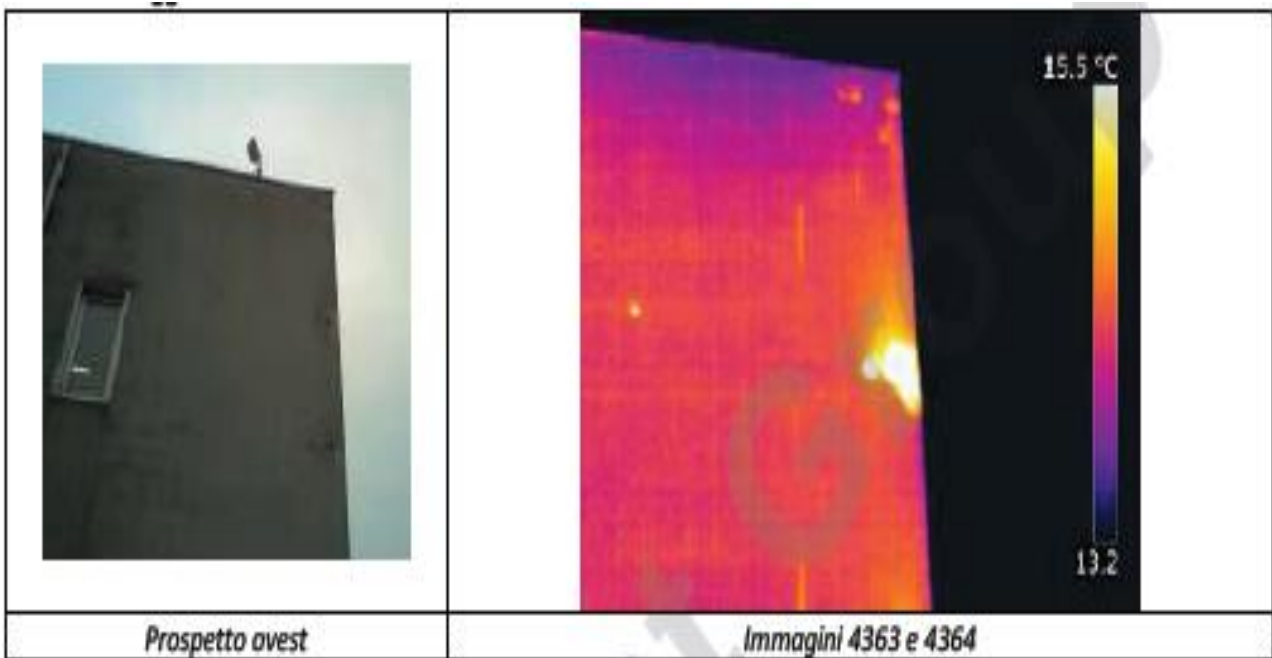
In relazione alla struttura e presumibile aspettarsi:

- la non (termo) visione dei tasselli
- presenza o meno a seconda della corretta modalita di posa di giunti tra i pannelli

Dall'analisi dei termogrammi realizzati si possono delineare le seguenti valutazioni:



- le pareti soggette da un periodo elevato  $> 1.5$  h ad irraggiamento solare hanno una distribuzione di temperatura uniforme che non consente di evidenziare la presenza di anomalie o meno;
- presenza di anomalie riconducibili a pannelli non perfettamente accostati in parete non oggetto di irraggiamento ma in fase di scaricamento.



## 6. Diagnosi energetica

### 6.1 Termografia per il risanamento energetico

*La diagnosi energetica si può avvalere della tecnica termografica al fine di definire al meglio la reale situazione termica dell'immobile.*

Nell'ambito di una politica volta alla riduzione integrale dei consumi energetici in edilizia la parte del leone sarà in futuro rivestita sempre più dalla riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente.

Basti considerare che ad oggi il 90% degli edifici è in una situazione pessima dal punto di vista dei consumi energetici.

Lo stato di attuale crisi del settore produttivo edilizio non deve far dimenticare che crisi significa cambiamento, quindi, se il modello edilizio delle nuove costruzioni è in forte rallentamento occorre per gli operatori del settore riflettere sul fatto che esiste un enorme parco edilizio da riqualificare ovvero una grande opportunità da cogliere.

Gli interventi sul patrimonio esistente si possono sintetizzare in tre macro voci: manutenzione, riqualificazione e a scala urbanistica demolizione e ricostruzione di intere aree urbane.



## **L'importanza della diagnosi**

In qualunque intervento di manutenzione e di risanamento si dovrebbe passare attraverso una diagnosi dello stato di fatto dell'immobile.

La diagnosi riguarderà principalmente l'involucro, ma anche l'aspetto impiantistico.

Se è vero che a un tecnico esperto le problematiche "classiche" quali ponti termici ecc. risultano immediatamente riscontrabili, sarà solo attraverso una corretta diagnosi che si individueranno i punti deboli. In particolare con l'analisi termografica si possono individuare le irregolarità che non appaiono ad occhio nudo e soprattutto valutarne l'entità in relazione alla struttura dell'edificio.

La fase di diagnosi dell'immobile dovrebbe essere preceduta da una ricognizione nel visibile rilevando l'impiantistica, la qualità dei serramenti, delle partizioni verticali e orizzontali dell'immobile evidenziando i nodi sensibili di possibile dispersione, il posizionamento della caldaia e dei terminali erogatori di calore.

## **Le potenzialità della termografia nelle fasi del risanamento**

Se opportunamente impiegata, la termografia possiede notevoli potenzialità di fornire informazioni al progettista ancora in fase di progetto.

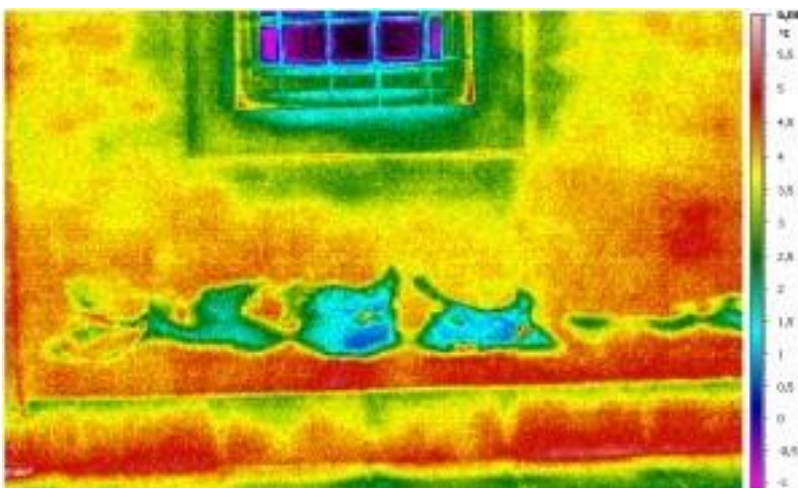
L'aspetto energetico è solo una di queste le altre sono:

1. verifica del degrado dell'immobile dovuto a presenze di infiltrazioni;
2. verifica dello stato di adesione dei paramenti esterni: intonaci o rivestimenti ceramici piuttosto che lapidei;
3. definizione della presenza di differenze di omogeneità della struttura;
4. presenza di umidità di risalita;
5. verifica della presenza di ponti termici;
6. verifica del regime termoigrometrico, della presenza di zone con concentrazioni di umidità per verificare se le temperature superficiali soddisfano o meno le condizioni imposte dalla normativa (UNI 13788 e dal d.lgs. 311/06). Queste informazioni acquistano fondamentale importanza soprattutto in situazioni ove vi sia la presenza di un vincolo storico che impedisca l'azione diretta su una o

su tutti i lati della struttura, permettendo quindi di valutare con attenzione altri interventi.

In questo trattato non entreremo nell'aspetto operativo della tecnica ma ci soffermeremo sulla valutazione delle indagini termografiche eseguibili prima di effettuare un intervento di riqualificazione energetica.

Nella fase di diagnosi è certamente possibile determinare la presenza e la gravità di eventuali ponti termici ma anche è altrettanto importante determinare la presenza di eventuali infiltrazioni/risalite di umidità al fine di poterle eliminare o mitigare. Infatti, se presenti, tali problematiche potrebbero compromettere l'efficacia dei materiali isolanti e al contempo causare danni. In particolar modo potrebbero causare il danneggiamento delle strutture isolanti a causa del degrado dei collanti dovuto alla spinta della migrazione di sali.

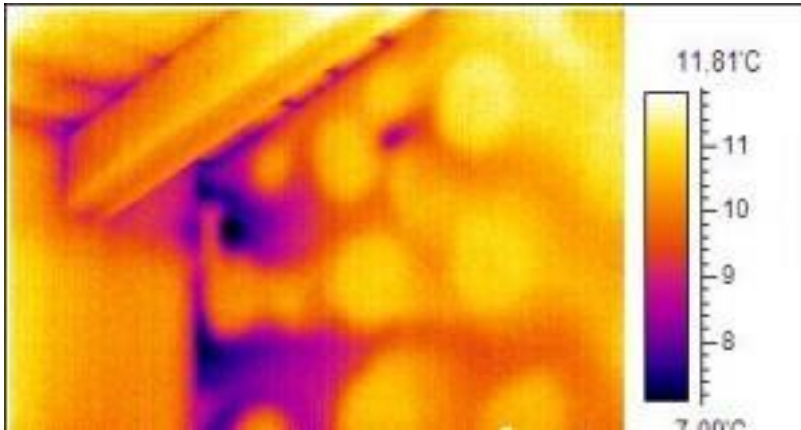


*Foto di intonaci con distacchi dovuti all'umidità di risalita.*

Altrettanto importante è definire la presenza o meno di infiltrazioni o perdite da impianti.

Lo studio del comportamento termico dell'edificio verte sostanzialmente sulla determinazione della verifica dei ponti termici e sull'analisi delle cause che li determinano al fine di poter valutarne correttamente i rimedi.

I ponti termici possono essere difatti di varia natura, ovvero generati dalla presenza di una discontinuità di materiale, dalla variazione dello spessore dell'involucro, da una variazione geometrica oppure dalla presenza di un fenomeno definito thermal bypass, evento che si verifica quando l'aria esterna o non penetra affatto o solo parzialmente tramite fessure lo spessore dell'involucro edilizio.



*(Foto del fenomeno di thermal bypass)*

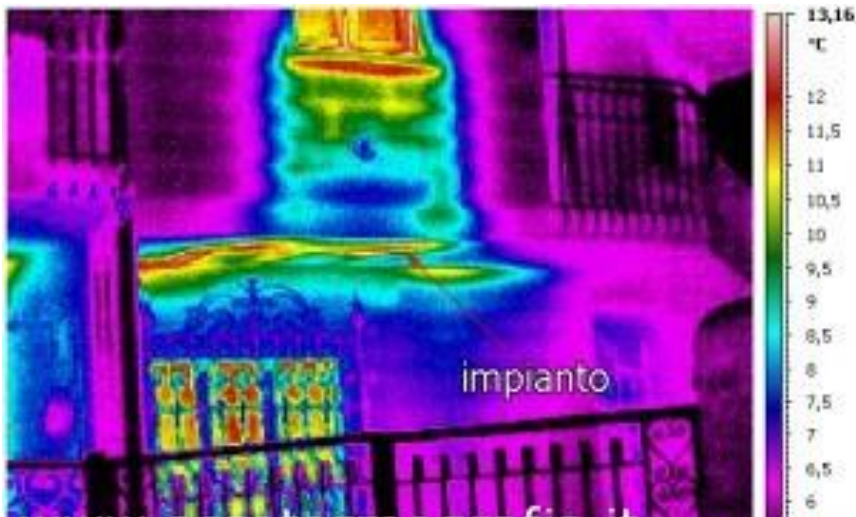
Ciò significa che l'aria transita all'interno di intercapedini nei muri o nel tetto (per convezione naturale o per differenza di pressione), causando un raffreddamento delle intercapedini, delle superfici interne ed un deperimento delle prestazioni termiche dell'immobile, con l'aggravante di essere la premessa alla genesi di ulteriori problematiche quali la formazione di condense interstiziali o superficiali e la possibile formazione di microrganismi fungini.



É in caso ad esempio di coperture isolate con materiali fibrosi quali la fibra di legno e non accuratamente protetti dalle infiltrazioni di aria mediante appositi teli antivento

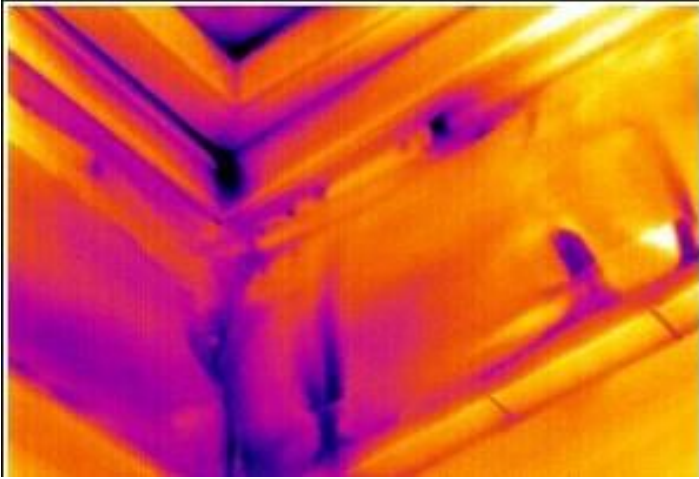
traspiranti, oppure il comportamento dei cassonetti passanti la muratura e collegati direttamente con le intercapedini nella tipologia costruttiva definita "a cassetta".

Altri interventi che spesso vengono poco considerati sono relativi alla mappatura dell'impiantistica, permettendo di evidenziare il percorso delle tubazioni ma anche alcune anomalie soprattutto in abitazioni con impianti datati e non isolati.



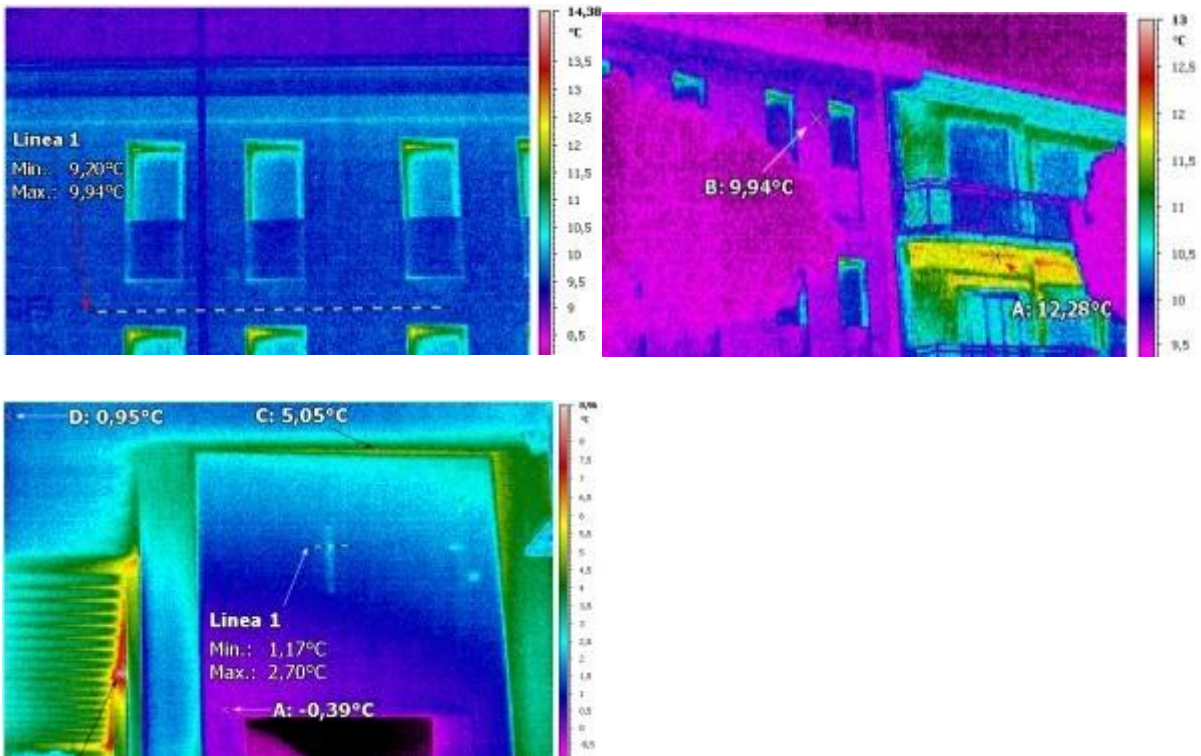
*(Foto di un immobile che necessita di un radicale intervento di riqualificazione energetica: si possono scorgere le tubazioni dell'impianto nel soffitto al di sopra della finestra oltre alla dispersione provocata dal radiatore in parete.)*

Nel caso di edifici dove non necessitasse un intervento di riqualificazione integrale potrebbe essere indicato già in fase diagnostica eseguire un "blower door test" finalizzato alla determinazione delle fonti e delle dispersioni di aria dall'involucro. Durante l'esecuzione del blower door test, la termografia, permette di evidenziare con grande riduzione dei tempi la ricerca dei punti di discontinuità dell'involucro.



### **La fase post intervento**

Se riveste una notevole importanza nella fase precedente l'intervento la termografia, esprime ulteriori potenzialità nella fase di verifica degli interventi di risanamento energetico appena eseguiti. Diventa infatti un sensazionale strumento di misura della bontà costruttiva, consentendo di individuare eventuali ammaloramenti e/o problematiche.



Riassumendo possiamo ritenere che l'azione diagnostica della termografia non si limiti alla semplice evidenziazione dei ponti termici, potendo fornire le seguenti informazioni:

- Fenomeni di umidità di risalita per effetto di capillarità.
- Fenomeni di condensazione
- Ponti termici
- Impianti
- Thermal bypass
- Verifica delle opere
- Determinazione delle condizioni interne dell'edificio in relazione alla UNI 13788.



## **I requisiti di una corretta prova termografica**

Innanzitutto l'operatore deve possedere la certificazione UNI EN 473 di II livello per operare e firmare le relazioni; in secondo luogo, secondo la norma UNI 13187 l'operatore, per valutare il responso e l'interpretazione dei risultati, deve avere una specifica preparazione o comunque aver ricevuto un'adeguata formazione al fine di saper valutare eventuali falsi positivi.

Le irregolarità termiche sono generate sostanzialmente da:

- flussi di aria dall'interno all'esterno
- difetti di isolamento
- umidità
- variazioni di spessore
- variazioni di materiale

Esistono ulteriori requisiti generali di prova da rispettare in funzione di:

- specifiche della macchina
- caratteristiche degli spessori dei materiali isolanti
- proprietà radianti dei materiali di rivestimento
- fattori climatici
- facilità di accesso all'oggetto da rilevare
- influenza ambientale (vento ecc..)

La termografia non dovrebbe essere mai fatta in presenza di irraggiamento diretto che genererebbe accumuli solari; a meno che non vi sia una grande esperienza dell'operatore che permetta di saper cogliere i punti critici. Questo è valido in particolare per le strutture pesanti ove è necessario considerare la capacità di accumulo termico dei materiali.

## **Il report**

Il report finale dovrebbe contenere almeno le seguenti informazioni:

Analisi della difettologia, individuazione delle cause dei problemi di:

- Infiltrazioni d'aria
- Mancanza di isolamento
- Umidità
- Thermal bypass

Evidenziare le irregolarità definendone le cause che principalmente possono ricondursi a questi quattro casi:

- uniformità delle temperature con valori significativamente differenti da quelli attesi.
- ponti termici strutturali.
- deve essere evidenziato il DT tra le differenti aree termiche.
- devono essere evidenziati eventuali scostamenti rispetto ai requisiti di prova.

## **Cosa non si può fare con la termografia e i limiti operativi della norma**

Infine vediamo di fare chiarezza su quello che non si può fare con la termografia e con i limiti operativi della norma: con la tecnica termografica ad esempio non si può determinare la trasmittanza degli elementi.

Per ottenere tali informazioni meglio impiegare altre tecniche come il termoflussimetro, anch'esso soggetto comunque a potenziali errori di misura, o ricorrere al calcolo analitico partendo da dati tabellari.

La norma UNI 13187 prescrive alcune condizioni di prova riscontrabili solo in pochi casi nella pratica professionale..

La norma indica ad esempio che, prima di iniziare con le operazioni di rilevazione, si disponga dei progetti dell'immobile, elemento non sempre possibile o per motivi di privacy o di difficoltà di accesso alla documentazione.

Viene altresì indicato di confrontare i termogrammi di rilievo con dei termogrammi di riferimento eseguiti su strutture che possiedono difetti noti.

Questo fattore è di difficile attuazione soprattutto se pensiamo alla notevole quantità di particolari architettonici presenti nell'ambito edilizio.

Verrebbe inoltre richiesto di avere le pareti delle abitazioni sgombrere da mobili o quadri, condizione di difficile attuazione oltre che in contrasto con la conduzione normale dell'immobile.

## **6.2 La diagnosi strumentale**

### **6.2.1 Il termoflussimetro**

Nel novembre 2003, il CtI, organo federato con UNI, ha pubblicato le raccomandazioni del sottocomitato 1 e 6 per le "Prestazioni energetiche degli edifici" che indicavano i modi per l'acquisizione dei dati per la certificazione energetica degli edifici esistenti.

In entrambi i documenti sono indicate le modalità di acquisizione dei dati riguardanti l'involucro.

Sono possibili quattro scenari:

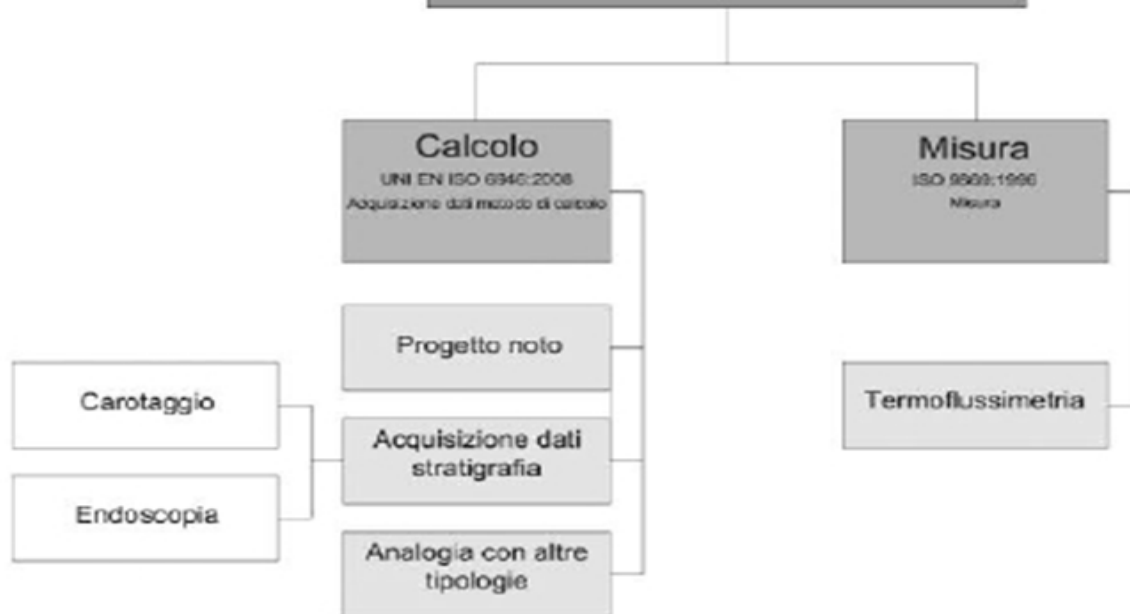
1) la stratigrafia della struttura è conosciuta (si hanno i disegni aggiornati del progetto architettonico o della relazione legge 10/91 e impianti), la trasmittanza viene calcolata in accordo con la norma prEN ISO 6946:2005;

2) la stratigrafia non è conosciuta, quindi si procede a eseguire un foro per stabilire tipo di materiale e spessore. Il foro può essere di piccole dimensioni utilizzando un endoscopio, oppure può essere di maggiori dimensioni, tramite il carotaggio, e le caratteristiche del materiale vengono stabilite direttamente. L'esperienza del professionista gioca un ruolo fondamentale. Una volta stabilita la stratigrafia della parete la trasmittanza viene calcolata in accordo con la norma prEN ISO 6946:2005;

3) l'edificio è riconducibile a una determinata e caratterizzata tipologia edilizia di cui si conoscono le stratigrafie; è possibile agire per analogia stimando la trasmittanza dei componenti. Le raccomandazioni del CtI contengono un esempio di abaco di questo genere;

4) la trasmittanza della struttura viene misurata in opera in accordo con la norma ISO 9869.

# Valutazione Trasmittanza Termica



## Metodologia standard di acquisizione dati

metodo di-valutazione	strumenti necessari	costi	tempi-necessari	affidabilità-delle-valutazio
UNI EN ISO 6946	1. Foglio di calcolo 2. Banca dati delle caratteristiche dei materiali	Basso	Ridotti	
Reperimento dati tramite materiale cartaceo	Documentazione tecnica di progetto	Basso	Mediamente lunghi	Bassa/Media
Reperimento dati tramite ABACHI e raccomandazioni Ctl	Raccomandazioni Ctl o abachi comunali, provinciali, regionali	Basso	Ridotti	Molto bassa
Reperimento dati con sopralluoghi e indagini distruttive	Endoscopio	Molto elevato	Ridotti	Media
	Carotaggio	Basso	Ridotti	Buona
Misura in opera ISO 9896	termoflussimetro e termocoppia	Medio	Ridotti	ottimo

Tutti i metodi sopra elencati possono essere utilizzabili ai fini della diagnosi, ma una misurazione in opera, con l'ausilio di un termoflussimetro, garantisce certamente la rapidità di esecuzione, una maggiore affidabilità dei dati rilevati e una non invasività del metodo.

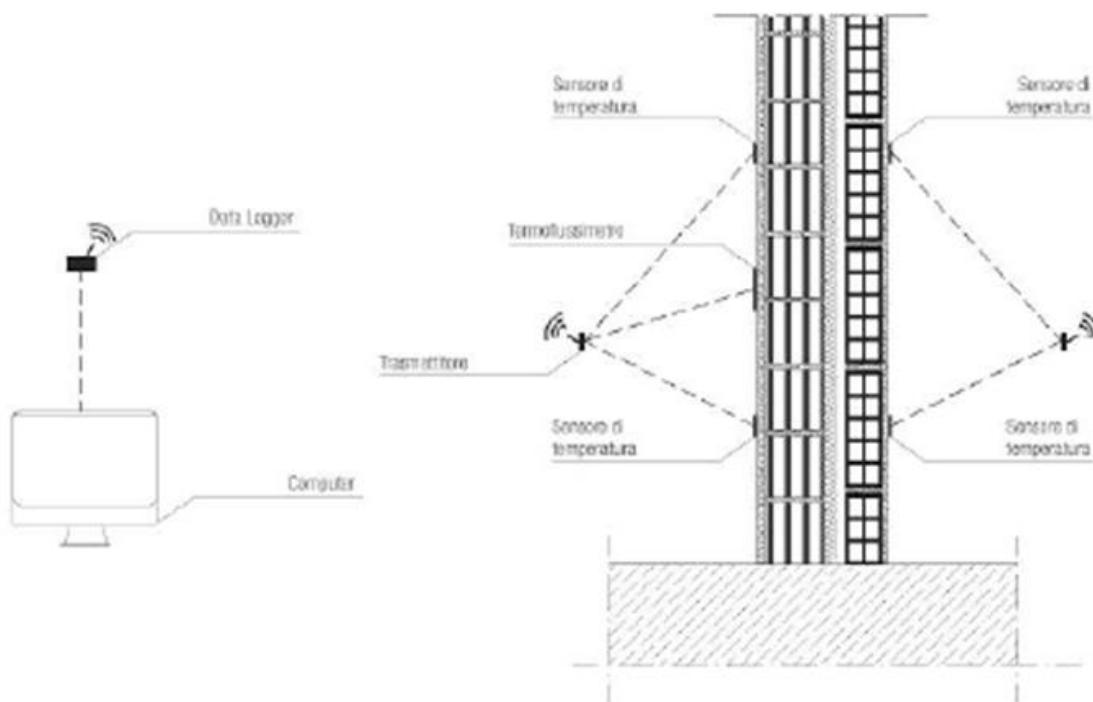
Questo tipo di rilievo necessiterà quindi di una strumentazione composta da:

- termoflussimetro, composto da un sottile strato di materiale di resistenza termica nota e stabile, utilizzato come elemento sensibile. Si tratta in sostanza di una termopila, che viene posizionata sulla parte della parete dove la fluttuazione termica è minore. La termopila, inserita nel flusso termico, determina una tensione proporzionale alla differenza di temperatura che si crea fra le sue due facce a causa della resistenza termica della piastra (che deve essere la minore possibile per minimizzare la perturbazione del flusso termico) e fornisce in uscita una tensione proporzionale al flusso di calore trasmesso (assumendo il flusso di calore costante nell'unità di tempo, la conducibilità termica del corpo costante e il sensore con influenza termica trascurabile sul flusso di calore);

– sensori di temperatura superficiale, posizionati sulla parete da indagare, uno va posizionato dalla stessa parte del flussimetro nelle sue immediate vicinanze, mentre un altro va posizionato allo stesso livello, però sulla superficie opposta dell'elemento.

Per una misura più accurata, si possono posizionare due sensori per parete ad una distanza tale da poter indicare una temperatura superficiale media significativa. Il sensore è generalmente costituito da una piccola termocoppia montata su una placca di metallo, che possiede una buona conduzione, e collegata alla superficie del provino tramite una pasta adesiva conduttiva ben stesa per evitare incoerenze e sacche d'aria fra sensore ed elemento;

– Datalogger, indispensabile per la raccolta dei dati in situ, registrerà i valori rilevati dai sensori posizionati sui vari campioni oggetto dell'indagine. I dati memorizzati verranno poi trasferiti ad un PC per l'analisi attraverso software specifici



Prima di procedere con la misurazione è estremamente importante analizzare accuratamente il campione di riferimento per evitare di ottenere dati che presentano elevati margini di errore. È quindi indispensabile osservare la natura dell'edificio, il suo posizionamento nello spazio, le irregolarità e le imperfezioni presenti.

Le principali problematiche che possiamo riscontrare nella misurazione della nostra grandezza fisica (U) possono essere associate a:

- non perfetta complanarità della superficie sulla quale verranno applicati i sensori: in alcuni casi le superfici non perfettamente coerenti potrebbero dare origine a misurazioni falsate, in questi casi si richiede l'utilizzo di paste conduttive che possonolasciare traccia sulla parete;
- il campione prescelto deve essere il più omogeneo possibile: stratificazioni o discontinuità del materiale modificano sostanzialmente i valori di U; potrebbe essere utile fare un primo screening con una termocamera per porzioni omogenee;
- differenza di flussi di almeno 10 °C tra interno ed esterno: è preferibile effettuare le rilevazioni nelle stagioni in cui le differenze di temperatura tra interno ed esterno sono quanto più grandi possibili, ad esempio in inverno con l'utilizzo del riscaldamento all'interno dei locali. Questo permette di avere dati più affidabili in quanto i valori di flusso sono maggiori e il sistema è meno soggetto a interferenze esterne;
- i sensori non devono subire irraggiamento diretto: è preferibile posizionare le apparecchiature nelle pareti esposte a nord-est o comunque in punti protetti dall'irraggiamento diretto, il diverso comportamento ottico dei sensori dà origine a valori inesatti;
- il tempo della misura deve essere almeno di 3 giorni, con multipli interi di 24 ore: è consigliabile settare gli intervalli di rilevazione ogni 15 minuti; l'analisi deve durare almeno 72 ore così come indicato nella ISO 8301 anche se il tempo di registrazione consigliato è di 7 giorni consecutivi.

Rilevati i dati, prestando la massima attenzione alle indicazioni precedenti, saranno elaborati attraverso l'ausilio di software specifici che si avvalgono di diverse procedure di calcolo. Prima di passare però all'analisi di queste metodologie e all'elaborazione dei dati rilevati, occorre ricordare alcune relazioni che intercorrono tra le diverse grandezze fisiche con cui avremo a che fare, come trasmittanza, resistenza e conducibilità termica.

I concetti di trasmittanza, resistenza e conducibilità termica sono strettamente legati tra loro. La conducibilità o conduttività termica (normalmente indicata con la lettera greca  $\lambda$ )



è il flusso di calore  $Q$  (misurato in J/s ovvero W) che attraversa una superficie unitaria "A" di spessore unitario "d" sottoposta ad un gradiente termico " $\Delta t$ " di un grado Kelvin (o Celsius). In termini matematici si ha:

$$\lambda = Q \cdot d / (A \cdot \Delta t) \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

La definizione sopraesposta deriva dalla legge di Fourier che determina il flusso di calore che si instaura attraverso una superficie unitaria di spessore unitario sottoposta ad un gradiente termico ovvero:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot \Delta t / d \text{ [J/s]}$$

La trasmittanza termica  $U$  (vedere norma UNI EN ISO 6946) si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad un grado Kelvin (o Celsius) ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare. Essa si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati che compongono la superficie considerata ovvero:

$$U = 1 / \sum R_i \text{ [m}^2 \text{ W/}^\circ\text{K]}$$

ove  $R_i$  sono le resistenze termiche di ciascuno strato che compongono la superficie in esame. La resistenza termica  $R$  è definita come il rapporto tra lo spessore  $d$  dello strato considerato e la sua conducibilità termica  $\lambda$ :

$$R = d / \lambda \text{ [m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W]}$$

La resistenza termica di una parete composta da più strati sarà la somma delle resistenze termiche di ciascun strato.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = d_1 / \lambda_1 + d_2 / \lambda_2 + d_3 / \lambda_3 \text{ [m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W]}$$

La trasmittanza termica della parete è l'inverso della sua resistenza:

$$U = 1/R \text{ [W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K]}$$

Queste relazioni stanno alla base dei due principali metodi di analisi dei dati di rilievo: il Metodo di identificazione (Black Box) e il Metodo delle medie progressive.

### *metodo-black-box*

Queste tecniche di modellazione matematica sono spesso impiegate per caratterizzare il comportamento di sistemi dinamici complessi a partire dalla conoscenza di serie temporali di dati misurati. I modelli sono detti "black-box" poiché il loro utilizzo non richiede la conoscenza delle caratteristiche e della struttura del sistema fisico al quale il modello viene applicato. Con questo metodo di risoluzione non si ha nessuna informazione sulla dinamica, sono noti solo gli ingressi, le uscite e l'ordine ipotetico del sistema in esame.

Dai dati si risale, con metodi statistici, alle caratteristiche fisiche della nostra parete ricavando quindi la conduttanza.

Il modello più semplice ed efficace per caratterizzare le pareti edilizie è rappresentato da un semplice modello ARX. Si immagini che il flusso dipenda linearmente dal valore del flusso stesso nei precedenti  $na$  passi, dal valore della temperatura interna nei precedenti  $nb1$  passi e dal valore della temperatura esterna nei precedenti  $nb2$  passi.

$$\phi = (t_n) + a_1(t_{n-1}) + \dots + a_{na} \phi(t_{n-na}) = b_{1,1}t_i(t_{n-1}) + \dots + b_{1,nb1}t_i(t_{n-nb1}) + b_{2,1}t_e(t_{n-1}) + \dots + b_{2,nb2}t_i(t_{n-nb2})$$

Fissando il numero di passi  $na$ ,  $nb1$  e  $nb2$ , si calcolano i coefficienti  $a$ ,  $b1$ ,  $b2$  (incogniti) che minimizzano lo scarto quadratico tra il valore del flusso calcolato e quello misurato.

Per tutti i modelli validi viene calcolata la conduttanza, dai valori ottenuti vengono calcolate la conduttanza media e la deviazione standard; perché il risultato possa essere considerato valido, selezionare un fattore di tolleranza  $t = 0.05$ . Si dovrebbero ottenere almeno 50 modelli funzionanti.

### *metodo-delle-medie-progressive*

Il metodo delle medie progressive o media mobile è il più utilizzato e il più semplice, per il quale la stima della conduttanza dell'elemento viene calcolata utilizzando, ad ogni istante, anziché i valori istantanei di flusso e temperatura, i valori medi calcolati su tutti gli istanti precedenti ovvero:

$$C = \sum Q_j / \sum (t_{si_j} - t_{se_j})$$

dove:

Q = flusso termico passante nell'elemento [W];

t<sub>si</sub> = temperatura superficiale interna [K];

t<sub>se</sub> = temperatura superficiale esterna [K];

J = j-iesima misura effettuata.

Calcolando C in successione per ogni misura effettuata partendo dalla prima, il valore converge asintoticamente. Il valore asintotico ottenuto può essere ritenuto significativo del valore reale se:

1. il contenuto di calore nell'elemento è lo stesso all'inizio e alla fine della prova (stesse temperature e stesso andamento di umidità);
2. il termoflussimetro non è esposto a radiazione solare diretta;
3. la conduttanza termica dell'elemento è costante durante la prova.

Negli elementi costruttivi usati nell'edilizia, ossia quelli per i quali la capacità termica specifica è maggiore di 20 kJ/m<sup>2</sup>K, l'analisi deve essere svolta per un periodo di tempo comunque multiplo di 24 h e può essere considerata conclusa qualora:

1. la durata del test supera le 72 ore;
2. il valore di resistenza R ottenuto alla fine dell'analisi non si discosta per più del 5% dal valore di resistenza R ottenuto durante un periodo pari a:

$$INt (2 \times Dt / 3)$$

Con:

$D_t$  = durata della prova;

$INT$  = sua parte intera (espressa in giorni).

Il risultato finale sarà accettabile se i valori riscontrati all'inizio delle rilevazioni non si discostano per più del 5% da quelli ottenuti nell'ultima parte della prova.

Esperienze svolte e riportate in letteratura indicano la percentuale del metodo con valori di errore variabile tra 1% e 15%, con un valore medio di 8%.

La principale differenza tra i due metodi di analisi è il numero di misure necessarie per compiere valutazioni affidabili; il metodo delle medie è, infatti, caratterizzato dalla media progressiva dei valori di flusso e di temperature misurati.

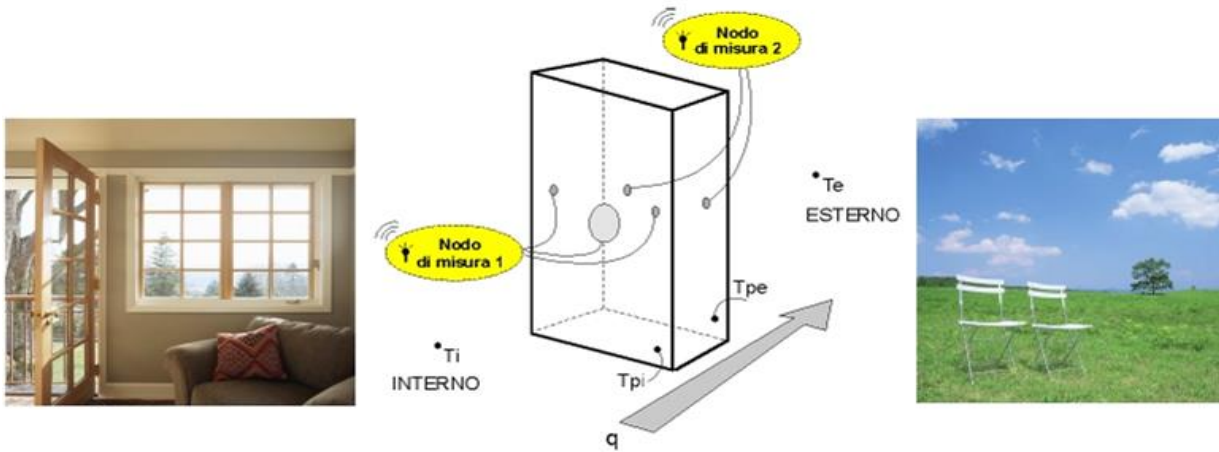
Maggiore è il numero di misurazioni, maggiore l'affidabilità dei risultati, mentre il metodo dei black-box, seppur comodo poiché richiede un numero di misurazioni ridotte, per poter compiere valutazioni affidabili, deve elaborare dati misurati in condizioni variabili e quindi con variazioni di temperatura esterna ed interna, poiché ha come riferimento i modelli dinamici.

Se il regime è variabile e la parete ha uno sfasamento temporale non maggiore di 10 ore, è possibile impiegare entrambi i metodi ed effettuare poi una media tra i due valori riscontrati.

Si ricorda ancora che il valore stimato col metodo dei termoflussimetri non è quello calcolato in fase di progetto, noti gli spessori e la conducibilità termica dei materiali, ma quello realmente espresso dalla struttura in opera in un determinato contesto e in un determinato periodo.

Osservazioni: è semplice intuire che se si vuole determinare il valore di resistenza di materiali non omogenei è indispensabile la misurazione, attraverso strumenti come il termoflussimetro, qualora si voglia indagare su patrimoni edilizi esistenti, mentre risulta fondamentale l'utilizzo dei valori forniti dal produttore durante la fase di progettazione.

Principio di funzionamento della prova termoflussimetrica



Dove:

$$q = \frac{\dot{Q}}{A} \left[ \frac{W}{m^2} \right] \text{ Flusso termico specifico (flusso riferito all'unità di superficie)}$$

$$\Lambda = \frac{q}{T_{pi} - T_{pe}} \left[ \frac{W}{m^2K} \right] \text{ Conduttanza termica}$$

$$U = \frac{q}{T_i - T_e} \left[ \frac{W}{m^2K} \right] \text{ Trasmissione termica}$$

### 6.2.2 Il Blower-door

La quasi totalità degli edifici è costruita con materiali e componenti diversi, sono necessari, quindi, giunti e sovrapposizioni che devono essere sigillati in maniera adeguata.

Nel corso del tempo, a causa dei movimenti delle diverse parti, se non vengono utilizzate sigillature adeguate, eventuali imperfezioni degenerano creandone delle nuove.

I tipici punti deboli della tenuta all'aria si riscontrano laddove lo strato impermeabile può essere perforato o più in genere interrotto. tipicamente questi punti sono:

- intersezioni tra chiusure verticali, chiusure/partizioni orizzontali e verticali;
- serramenti;
- prese, interruttori, condutture degli impianti tecnici;
- accessi a soffitte termicamente non isolate o a cantine non riscaldate.

A causa della non adeguata permeabilità, l'aria esterna che soffia sulle pareti esposte al vento, oltre ad incidere negativamente sul bilancio energetico, talvolta può mettere in movimento materiali dannosi contenuti negli elementi edili (polveri, fibre, ecc.) o perlomeno causare delle correnti d'aria indesiderate. L'eccessiva permeabilità all'aria dell'involucro edilizio, infatti, fa sì che l'aria fredda esterna entri dalle fessure e raffreddi le superfici, mentre l'aria umida e calda interna si dirige verso l'esterno e a contatto con le superfici fredde condensa e può dare luogo alla formazione di muffe. Un edificio dotato di involucro con un'elevata tenuta all'aria non aiuta solo a risparmiare energia e denaro, ma è anche meno soggetto a danni strutturali e, al contempo, offre un migliore comfort. Naturalmente le infiltrazioni e le dispersioni interessano anche gli edifici a buona tenuta d'aria, ma qui si mantengono quanto meno entro limiti accettabili. In realtà il problema più frequente è ancora quello di una scarsa, piuttosto che di una eccessiva "ermeticità", che accresce quindi la dispersione di energia e il rischio di danni alle strutture. Qualora la verifica delle condizioni di permeabilità venga eseguita durante la fase costruttiva dell'edificio, gli eventuali punti

deboli a questo punto possono essere risolti senza problemi ed in maniera più efficace e con costi minori rispetto ad interventi a posteriori.



La normativa italiana a questo riguardo è ancora piuttosto confusa e pur esistendo una direttiva sulle modalità di misurazione della tenuta all'aria (UNI EN ISO 13829:2002), mancano indicazioni chiare sui valori di dispersione minima e massima. Spetta perciò al committente dei lavori o al tecnico premurarsi di specificarli nel contratto di appalto. In Germania, in Austria e in molti altri paesi europei, questi valori sono invece stabiliti chiaramente dalla legge. In Italia solo l'agenzia CasaClima ha previsto per la certificazione dei propri edifici l'utilizzo del Blower-Door, richiedendo già dal 1° gennaio 2008 l'obbligo della verifica della tenuta all'aria, secondo UNI EN ISO 13829, se è presente un sistema di ventilazione controllata con recupero di calore indipendentemente dalla classe energetica e dalla tipologia costruttiva; e dal 2009 anche per le case in legno e con struttura "a secco", pur in assenza di un sistema di ventilazione meccanica.

È possibile quindi valutare il grado di ermeticità dell'involucro edilizio attraverso la misura del flusso di ricambio dell'aria dovuto alle infiltrazioni, generando meccanicamente una differenza di pressione. Il Blower-Door è lo strumento idoneo per effettuare il test di permeabilità all'aria secondo la norma tecnica UNI EN 13829 "Prestazione termica degli edifici – Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici – Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore" e permette di individuare le dispersioni energetiche dovute alle infiltrazioni e le cause delle fastidiose correnti d'aria all'interno dei locali. Il test viene eseguito utilizzando un ventilatore installato ermeticamente sul varco di una porta o finestra, con porte e finestre esterne chiuse; questo ventilatore espelle all'esterno l'aria interna dell'edificio sino ad arrivare ad una pressione differenziale di 50 Pa (depressione o sovrappressione) tra interno ed esterno dell'edificio.

Successivamente con apposite apparecchiature si misura il volume d'aria che affluisce dall'edificio attraverso l'involucro. Prima di effettuare il test vero e proprio è necessario rilevare la pressione e la temperatura esterna che saranno indispensabili per la normalizzazione dei dati. È inoltre utile tenere presente che l'accuratezza del test dipende da un'altrettanta accuratezza nell'utilizzo delle strumentazioni di rilevamento, dall'attenta verifica degli ambienti e della sigillatura delle forature presenti (es. prese d'aria ecc.), a seconda che si voglia effettuare una prova di edificio in uso o una prova dell'involucro edilizio; ma anche da un'adeguata analisi delle condizioni climatiche, le quali potrebbero influenzare i risultati del test stesso. Sono da evitare infatti le condizioni nelle quali la velocità del vento supera i 6 m/s o quelle nelle quali le differenze di temperatura sono elevate; esiste una formula empirica con la quale moltiplicando la differenza di temperatura tra interno ed esterno con l'altezza alla quale si trova l'immobile è possibile determinare se è consigliabile effettuare il test o no, se infatti:

- $\Delta t \times h_e < 500 \text{ m}^\circ\text{K}$  è possibile effettuare il test;
- $\Delta t \times h_e > 500 \text{ m}^\circ\text{K}$  non è consigliabile effettuare il test.

A questo punto si può effettuare il test vero e proprio che si sviluppa in tre fasi:

1. nella prima fase viene creata e mantenuta una depressione costante di 50 Pa o leggermente superiore. Durante questa fase viene ispezionata l'intera superficie dell'edificio (il suo involucro) alla ricerca delle "perdite", per individuare dove



l' indesiderata aria fuoriesce (punti non ermetici). Questi sono i punti responsabili delle perdite d'aria e quindi del calore dell'edificio. Le perdite maggiori si possono sentire con la mano, mentre per quelle di intensità ridotta è necessario un generatore di fumo oppure un anemometro;

2. nella seconda fase viene creata una depressione crescente; si parte da valori pari a circa 10, 30 Pa e si prosegue a passi di 5,10 Pa sino a raggiungere un valore finale di 60,100 Pa. Per ogni passo si registra e protocolla il flusso di volume d'aria;

3. nella terza fase viene creata una sovrappressione (= depressione invertendo i lati) e le medesime misurazioni fatte nella fase 2 vengono ripetute. Questo indica quanto valgono le rimanenti perdite (con una pressione di riferimento di 50 Pa).

Il flusso, che viene definito come portata volumetrica della permeabilità all'aria, rappresenta il valore caratteristico della permeabilità all'aria di un edificio in condizioni di gradiente pressorio pari a 50 Pa, questa condizione viene indicata con il simbolo n50; per lo standard di casa passiva è richiesto  $n50 \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ .

Per comprendere meglio l'aspetto fisico del test dobbiamo tenere presente che, come è noto, il Pascal è un'unità di pressione. Si ottiene quindi un Pascal quando su una superficie di  $1 \text{ m}^2$  agisce una forza di 1 N. Quindi 50 Pascal misura la pressione dinamica al centro di una parete soggetta all'azione perpendicolare del vento ad una velocità di 9 m/s.

$$n50 = V50 / V_i [\text{h}^{-1}]$$

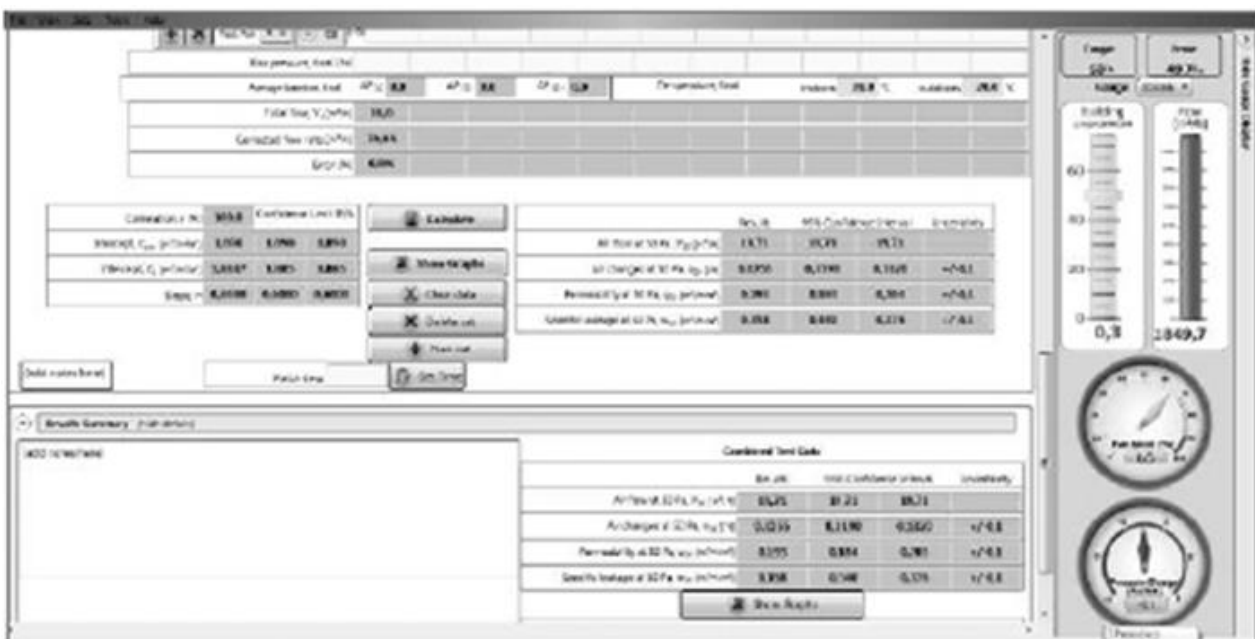
– n50 = indice ricambio d'aria;

–  $V_i$  = volume interno;

– V50 = portata volumetrica della permeabilità all'aria.



Schermata programma di acquisizione ed elaborazione dati



Schermata programma di acquisizione ed elaborazione dati

I valori di riferimento che ci danno una valutazione quantitativa della qualità dell'involucro in relazione della permeabilità all'aria n50 ci sono forniti dall'ISO 9977.

- n50 < 0,6 l/h

Ottima permeabilità all'aria dell'involucro dell'edificio

L'edificio o l'abitazione soddisfa i requisiti di permeabilità all'aria dalla normativa sulla casa passiva.

–  $n_{50} < 1,0$  l/h

Permeabilità all'aria molto elevata dell'involucro dell'edificio

L'edificio o l'abitazione rispetta le prescrizioni della Direttiva DIN 4108-7 per l'impiego di impianti di aereazione meccanici. Questo valore di permeabilità deve essere ottenuto, con ventilazione attraverso la finestra, anche per edifici a basso consumo energetico ed edifici esposti al vento. In caso di ventilazione attraverso la finestra, è necessario assicurare una sufficiente aereazione dell'ambiente.

–  $1,0$  l/h  $< n_{50} < 2,0$  l/h

Permeabilità all'aria medio-alta dell'involucro dell'edificio

L'edificio o l'abitazione rispetta le prescrizioni della Direttiva DIN 4108-7 per l'aereazione naturale, ad esempio attraverso le finestre. In caso di impiego di impianti di aereazione meccanici, secondo questa direttiva non deve essere superata una permeabilità all'aria  $n_{50}$  in base al volume di  $1,0$  all'ora.

–  $2,0$  l/h  $< n_{50} < 4,0$  l/h

Permeabilità all'aria medio-bassa dell'involucro dell'edificio

Le perdite di entità medio-elevate riscontrate durante la verifica devono essere sigillate. Secondo la direttiva DIN 4108-7 per l'aereazione naturale, ad esempio attraverso le finestre, non deve superare una permeabilità all'aria  $n_{50}$  in base al volume di  $3,0$  all'ora.

–  $4,0$  l/h  $< n_{50}$

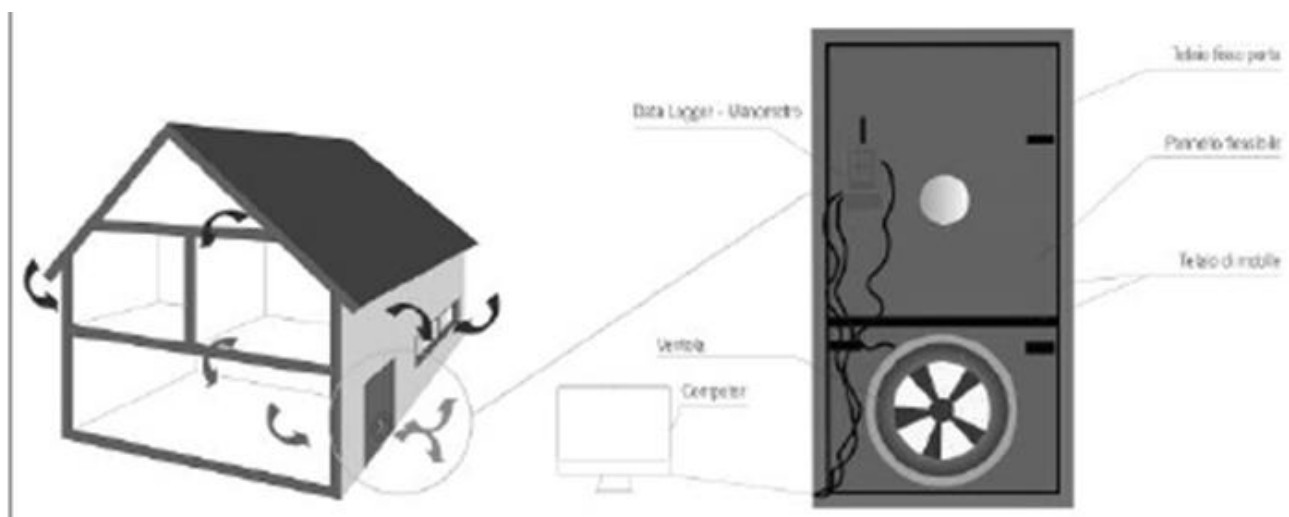
Permeabilità all'aria insufficiente dell'involucro dell'edificio

Si consiglia un'urgente risigillatura completa dell'edificio.

I valori rilevati nei differenti step del test, sia in pressione che in depressione, vengono riportati su un diagramma a base logaritmica e attraverso una tecnica di

riduzione ai minimi quadrati è possibile interpolare il valore cercato di portata ad una pressione di 50 Pa.

Inoltre per confrontare test effettuati in condizioni di pressione e temperatura differenti è possibile effettuare una normalizzazione a 20 °C e pressione 1,013 x 10<sup>5</sup> Pa. Per confrontare edifici differenti, differenti situazioni climatiche e temporali, si possono introdurre delle grandezze derivate dividendo la portata d'aria in ingresso per: volume interno dell'edificio n50, superficie interna dei pavimenti w50, superficie dell'involucro q50. Risulta assai interessante associare al Blower-Door test un'indagine termografica, al fine di rilevare in maniera qualitativa le zone con infiltrazioni d'aria. Quindi attraverso un anemometro è possibile rilevare puntualmente la velocità dell'aria nelle discontinuità dell'involucro.



*Schema funzionamento Blower-Door*

### **6.3 Finalità e scopi della diagnosi**

La diagnosi energetica causa sempre più spesso negli utenti, equivoci e confusione, soprattutto se si vuole confrontarla o associarla alla certificazione energetica; per cui definire in modo chiaro e univoco cosa si intende per diagnosi energetica è elemento essenziale e preliminare ad ogni trattazione dell'argomento. Mentre per la certificazione energetica (con cui la diagnosi spesso viene confusa) esiste una precisa normativa di riferimento (D.Lgs. n. 192/2005 e s.m.i.), per la diagnosi non si è in presenza di una normativa chiara, e il quadro di riferimento, di cui è necessario tener conto, risulta essere quello generale delle leggi in argomento di energia, come la normativa tecnica di settore – norme UNI tS 11300 1, 2, 3, 4 (Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale).

In realtà a livello europeo la prima chiara definizione di diagnosi energetica viene data dalla Direttiva 2006/32/CE recepita in Italia dal D.Lgs. n. 115/2008, il quale definisce più estesamente la diagnosi energetica come: «procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati»; definizione pressoché equivalente la troviamo nella norma europea prEN 16247-1:2011 che definisce l'«energy audit»: systematic inspection and analysis of energy use and energy consumption of a system or organization with the objective of identifying energy flows and the potential for energy efficiency improvements.

In altre parole la certificazione energetica è di fatto la fotografia del comportamento energetico dell'edificio in condizioni normalizzate, cioè basato su calcoli in condizioni standard: impianti che funzionano per un numero di ore prestabilito, temperatura dell'aria costante per tutte le ore della stagione, condizioni climatiche desunte dalle medie di un anno di riferimento e così via. Questo approccio è giustificabile se si pensa che la certificazione ha lo scopo di definire un valore medio che permetta un confronto tra diversi immobili, tuttavia produce risultati che non sempre sono in linea con la qualità reale verificabile in opera in condizioni d'esercizio.

In queste situazioni è di aiuto la diagnosi energetica, intesa come un insieme sistematico di rilievo, raccolta e analisi dei parametri relativi ai consumi specifici e alle condizioni di esercizio dell'edificio.

La diagnosi energetica integra dati raccolti sul campo a seguito di sopralluoghi con strumenti avanzati di rilevamento, allo scopo di individuare e analizzare interventi di riqualificazione energetica dell'edificio. Ben sapendo che analizzare non significa di per sé riqualificare, cosa che semmai avverrà dopo, ma acquisire tutti gli elementi conoscitivi sullo stato di fatto dell'edificio e sui possibili rimedi per programmare interventi mirati anche in tempi successivi. occorre, in altre parole, seguire uno studio che, attraverso una serie di analisi teoriche e verifiche sul campo, permetta di definire in che stato, l'edificio in questione, si trovi dal punto di vista energetico, quali siano le principali voci di consumo, quali siano le componenti della struttura o degli impianti che presentino fenomeni di criticità e di vetustà, quali possano essere le possibili soluzioni correttive ed i loro costi in termini di tempo e risorse da investire.

tabella-1.1. Tipologie di valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici (elaborazione della 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	Standard	Permesso di costruire
Standard ( <i>asset rating</i> )	Standard	Standard	Reale	Certificazione energetica
Adattata all'utenza ( <i>Tailored rating</i> )	In funzione dello scopo	Reale	ottimizzazione, valutazione, diagnosi e programmazione degli interventi di riqualificazione	

La diagnosi energetica degli edifici appartiene alla categoria *Tailored rating*.

Più sinteticamente la diagnosi energetica degli edifici è una "valutazione tecnico-economica dei flussi di energia". gli obiettivi che essa si pone sono quindi:

- definire il bilancio energetico dell'edificio;
- definire gli indicatori di prestazione dell'involucro e degli impianti per pesare il fabbisogno energetico stimato sui reali consumi dell'edificio;

- individuare la presenza di degradi o malfunzionamenti nell'immobile;
- definire gli interventi di riqualificazione tecnologica;
- valutare per ciascun intervento le opportunità tecniche ed economiche;
- migliorare le condizioni di comfort e di sicurezza;
- ridurre le spese di gestione.

La figura tecnica, che si trova ad eseguire ed è responsabile di tale procedura, è l'auditor (referente della diagnosi energetica). tale funzione può essere svolta da un singolo professionista (libero o associato), da una società di servizi (pubblica o privata, incluse le società d'ingegneria) oppure da un ente pubblico competente.

L'auditor può poi avvalersi di subcontratti per lo svolgimento di specifiche attività comprese nella diagnosi.

I tecnici chiamati a svolgere la diagnosi energetica devono essere esperti nella progettazione degli edifici e degli impianti ad essi asserviti. Nel caso in cui il tecnico non sia competente in tutti i campi necessari all'esecuzione della diagnosi, dovrà operare in collaborazione con altri tecnici, in modo che il gruppo così costituito sia in grado di coprire tutti gli ambiti professionali richiesti. In analogia a quanto avviene per la certificazione energetica degli edifici, sarebbe opportuno che Regioni e Province Autonome istituissero un'abilitazione al ruolo di auditor, identificando chiaramente quali titoli di studio tecnico-scientifici ne garantiscano l'accesso e predisponendo opportuni corsi di formazione, a seguito dei quali il soggetto possa ottenere la qualifica da parte delle suddette amministrazioni.

#### *Valutazione-della-qualità-dell'immobile-*

Il primo passo della nostra indagine è il reperimento dei dati che riguardano lo stato dell'arte dell'immobile ovvero la verifica sulla qualità energetica del sistema edificio-impianto. In prima istanza risulta estremamente utile acquisire, se sono disponibili il progetto esecutivo, termico, elettrico, edile e tutti i documenti che attestino eventuali ristrutturazioni, manutenzioni straordinarie ecc. oltre ai libretti di manutenzione e gestione degli impianti e tutte le dichiarazioni di conformità. Inoltre i sopralluoghi dovranno prevedere la verifica di dati quali:

- caratteristiche termofisiche dell'edificio;

- impianti di riscaldamento e produzione di acqua calda;
- sistema di condizionamento;
- ventilazione;
- impianto di illuminazione;
- posizione ed orientamento degli edifici;
- sistemi solari passivi e protezione solare;
- ventilazione naturale;
- qualità climatica interna;
- impiego di sistemi solari attivi e altri impianti di generazione di calore ad elettricità a partire da fonti energetiche rinnovabili.

Il rilievo deve, quindi, essere accurato e meticoloso; è utile durante l'ispezione visiva, fornirsi di una planimetria ed una check-list che possiamo organizzare in tre macro aree di verifica: il rilievo geometrico, il rilievo degli impianti, la verifica dello stato di conservazione dell'involucro e la sua stratigrafia.

Quindi si partirà dalla verifica dei dati dimensionali, rilievo delle volumetrie, dimensioni delle superfici disperdenti, verifica delle dimensioni e della qualità degli infissi esterni, per poi proseguire con il rilievo degli impianti; questa è una delle fasi che richiede particolare attenzione. Se, infatti, risulta abbastanza semplice individuare i sistemi di emissione e di generazione, non è altrettanto facile avere informazioni sul sistema di distribuzioni che viene generalmente nascosto e che in fase di realizzazione spesso subisce delle modifiche rispetto al progetto; la terza fase prevede, invece, un'attenta analisi sull'involucro, questa è fondamentale per l'individuazione delle dispersioni, dei ponti termici e dei punti critici presenti nelle chiusure.

La verifica in loco quindi, oltre a definire le caratteristiche dimensionali ed impiantistiche, ha la funzione di verificare le qualità prestazionali dell'immobile. tali dati sono estremamente importanti per valutare le condizioni standard che stanno alla base della fase preliminare della diagnosi energetica.



ovviamente la maggior parte delle grandezze necessarie all'indagine valutativa non possono essere semplicemente desunte da un semplice sopralluogo o da un'analisi obiettiva dell'immobile, ma è indispensabile l'utilizzo di strumentazioni che possano, in alternativa alle prove distruttive, far comprendere attraverso grandezze fisiche, i fenomeni e le patologie che fanno parte integrante del sistema edificio-impianto. L'utilizzo di apparecchiature, per la misura della trasmittanza, l'analisi dei punti critici dell'involucro, la disposizione e lo stato degli impianti, la qualità degli infissi e la tenuta all'aria dell'immobile, risulta indispensabile nella redazione di una buona diagnosi energetica. Dispositivi quali termoflussimetro, termocamera, Blower-Door, diventano quindi indispensabili per un'accurata analisi dell'immobile.

### *Valutazione delle modalità di gestione dell'immobile*

La diagnosi energetica affonda la propria ratio nell'analisi della gestione dell'immobile.

Se infatti quanto fin qui detto presenta profonde analogie con il metodo utilizzato nella stesura della certificazione energetica, indagare sull'effettivo utilizzo dell'unità immobiliare risulta determinante nella fase di sintesi del processo di diagnosi. Solo attraverso un'adeguata conoscenza della reale funzione, delle modalità di fruizione e delle abitudini degli utenti che utilizzano i singoli ambienti, sarà possibile dare consigli o modificare aspetti tecnici per evitare consumi elevati e discomfort dannosi per l'utente e l'edificio.

È assai frequente riscontrare utilizzi degli edifici che non sono congrui ai parametri utilizzati per la progettazione degli stessi, siano essi edifici pubblici o privati, è possibile ad esempio imbattersi in sovraffollamento di ambienti, utilizzo inadeguato degli impianti di climatizzazione (temperature troppo basse o troppo alte rispetto agli standard), eccessive produzioni di vapori senza un'adeguata aerazione; tutto ciò infatti può causare condense, produzioni di muffe, deterioramento dei materiali ed un inadeguato impiego di risorse energetiche.

È quindi indispensabile in questa fase confrontarsi con l'utenza, cercando di individuare quali sono le problematiche percepite ed i discomfort subiti, cercando di determinare se si tratta di un problema derivante dal "sistema edificio" o semplicemente da una non adeguata gestione dello stesso.

Risulta utile, quindi, che il primo sopralluogo avvenga in presenza dell'utenza che fruisce i locali, così da essere certi di poter accedere in tutti i locali significativi e soprattutto procedere all'intervista dell'utenza stessa.

Questo stato rappresenta una fase conclusiva del percorso di reperimento dati e si concentra su tutti gli aspetti legati alla presenza delle persone all'interno dell'edificio. Questi dati, uniti a quelli ricavabili dai progetti, rappresenteranno gli input per la simulazione termica della zona soggetta ad audit.

Si suggerisce di richiedere informazioni tecniche sull'involucro o sugli impianti all'utenza soltanto se non è presente alcun progetto e se non è possibile effettuare alcuna prova per determinarli. È importante che in tale intervista vi sia una bozza precisa di domande, affinché il conduttore non divaghi e fornisca informazioni che non sono utili alla diagnosi.

Si fa notare che si consiglia il reperimento dei dati di occupazione e termostatazione delle zone confinanti per stabilire il coefficiente correttivo utilizzato nel calcolo delle dispersioni e per individuare possibili fonti di errore della simulazione rispetto al caso reale.

#### *Raccolta, -interpretazione-e-valutazione-dei-consumi-energetici*

La raccolta dei dati relativi ai consumi energetici ha lo scopo di valutare in che modo l'energia introdotta nel nostro edificio viene utilizzata, il suo rapporto di efficienza, l'adeguatezza dei vettori utilizzati ed i margini di risparmio che si possono ottenere.

Per una corretta verifica dei consumi presunti del sistema oggetto della nostra indagine è fondamentale l'acquisizione dei dati relativi ai consumi energetici dell'edificio, tali consumi sono reperibili o con lo studio dei dati di contabilizzazione elettrica e/o termica (diretta o indiretta, in base all'UNI 10200), eventualmente presente, o dall'acquisizione e lo studio delle fatturazioni sui pagamenti relativi alle forniture elettriche e dei combustibili. Quest'ultimo deve essere molto accurato e deve tenere in considerazione molti fattori, in particolare: la condivisione di un unico punto di fornitura per numerosi edifici, l'utilizzo differenziato di un combustibile per usi finali diversi, i fattori di utilizzo dell'edificio servito, i fattori climatici caratteristici del periodo analizzato, la saltuarietà della fatturazione ecc..

È indispensabile analizzare almeno tre/quattro anni di dati energetici relativi a tutte le utenze presenti nel nostro edificio. Ciò risulta indispensabile per il calcolo dei benchmark energetici per il confronto con i valori medi di settore. Questa analisi è inoltre utile per l'individuazione delle abitudini dell'utenza e per una stima degli obiettivi di risparmio raggiungibili.

Nel caso in cui tali informazioni non siano univoche, ad esempio quando la fornitura di gas metano sia utilizzata per la produzione dell'acqua calda sanitaria ed il riscaldamento invernale, occorre eseguire una stima per la suddivisione dei consumi tra le due utilizzazioni. Una volta determinati i consumi energetici occorre confrontarli con le modalità di utilizzo degli impianti da parte dell'utenza, relativamente all'uso del riscaldamento invernale e dell'acqua calda sanitaria.

I dati desunti quindi dalle bollette non dovranno essere presi come rilevati ma occorre che questi vengano normalizzati al fine di renderli confrontabili tra i diversi vettori e i diversi anni, per far ciò è necessario conoscere:

- i dati climatici degli anni di riferimento e i gradi giorno della località;
- le bollette relative alle forniture dei singoli vettori;
- gli edifici o le zone serviti dai diversi vettori;
- le dimensioni delle aree climatizzate;
- le dimensioni delle superfici disperdenti;
- la temperatura interna;
- il numero di ricambi d'aria;
- la durata del periodo di riscaldamento;
- il regime di funzionamento dell'impianto termico;
- gli apporti di calore interni medi.

Inoltre i consumi possono essere schematizzati in quattro macro aree:

- petrolio;
- gas;

- elettricità;
- rinnovabili.

L'analisi dei dati acquisiti avrà quindi come scopo:

- la razionalizzazione dei flussi energetici significativi;
- il recupero delle energie disperse;
- l'individuazione di appropriate tecnologie "energy-saving";
- l'ottimizzazione dei contratti di fornitura energetica.

È importante fare anche una distinzione tra il fabbisogno di energia e l'energia primaria. La prima è la quantità di energia necessaria a mantenere i livelli della temperatura di progetto. La seconda è l'energia fornita in ingresso dai vettori energetici (metano, elettricità, biomassa ...) senza che abbiano subito alcun processo di conversione o trasformazione.

Se, da un lato, infatti, si tenterà di utilizzare sistemi ad alta efficienza, con percentuali di perdite impiantistiche minime o magari sistemi di produzione di energia rinnovabile, risulta determinante allo stesso modo intervenire sugli aspetti "disperdenti" del nostro sistema (involucro). Risulta evidente che intervenire sull'involucro, attraverso il contenimento delle dispersioni, comporterà la riduzione dell'energia che dovremo fornire per raggiungere gli standard richiesti.

Una volta verificata la possibilità di poter ottenere una sostanziale diminuzione dei fabbisogni energetici del nostro edificio, si procede alla simulazione degli interventi, ipotizzando azioni a livello dell'involucro, degli impianti termici, dell'illuminazione, degli impianti di produzione da fonti rinnovabili. Risulta, quindi, assai utile valutare anche possibili interventi integrati su più sistemi, in modo da ridurre eventuali conflitti (ad esempio, ottenere una sostanziale diminuzione del fabbisogno di energia termica con interventi sull'involucro senza contemporaneamente prevedere la sostituzione del generatore di calore può portare quest'ultimo a lavorare costantemente a fattori di carico troppo bassi dunque inefficienti).

Nella relazione finale di diagnosi energetica saranno descritti i possibili interventi di ri-qualificazione energetica del sistema edificio-impianto di cui sia stata accertata la fattibilità tecnica (incluso il rispetto dei vincoli paesaggistici, architettonici, archeologici

...) ed economica. I principali indicatori economici d'investimento che è possibile utilizzare in queste valutazioni sono:

- VAN (valore attuale netto);
- IP (indice di profitto);
- tIR (tasso interno di rendimento) o IRR (internal rate of return);
- tRA (tempo di ritorno attualizzato);
- tR (tempo di ritorno semplice) o SP (simple payback time).

Questi indicatori, assieme ai vincoli precedentemente elencati, permetteranno di pesare in maniera più corretta interventi di riqualificazione energetica da attuare sui sottosistemi, stimando il costo e il rispettivo risparmio conseguibile, ottimizzare i benefici ambientali e quelli economici.

L'Unione Europea, con la sua "strategia" ambientale ed energetica rivolta ad una riduzione di consumi ed aumento di energia da fonti rinnovabili, ha dato slancio al settore energetico applicato al mondo dell'edilizia.

L'Italia, che con la Legge n. 10/1991 era nazione di riferimento in Europa per la rigorosa normativa vigente, è rimasta al palo per diversi anni. Solo nel 2005 con il D.Lgs. n. 192/2005, recependo la direttiva EPBD 2002/91/CE, ha ripreso il percorso virtuoso che già aveva avviato.

Differenza sostanziale fra le due visioni normative è il ruolo della classe energetica nel mercato immobiliare, grazie alla sempre maggiore consapevolezza dei cittadini europei ed italiani. Una classe energetica più performante facilita la vendita dell'immobile e ne aumenta il suo valore commerciale.

I consumatori, già attenti all'etichetta energetica di elettrodomestici o ai consumi medi delle automobili, dovranno confrontarsi con maggiore ponderatezza con le classi energetiche degli immobili, dato che l'acquisto della casa o di altro bene immobiliare è una scelta importante che si ripercuoterà sul bilancio familiare o aziendale nei successivi decenni.

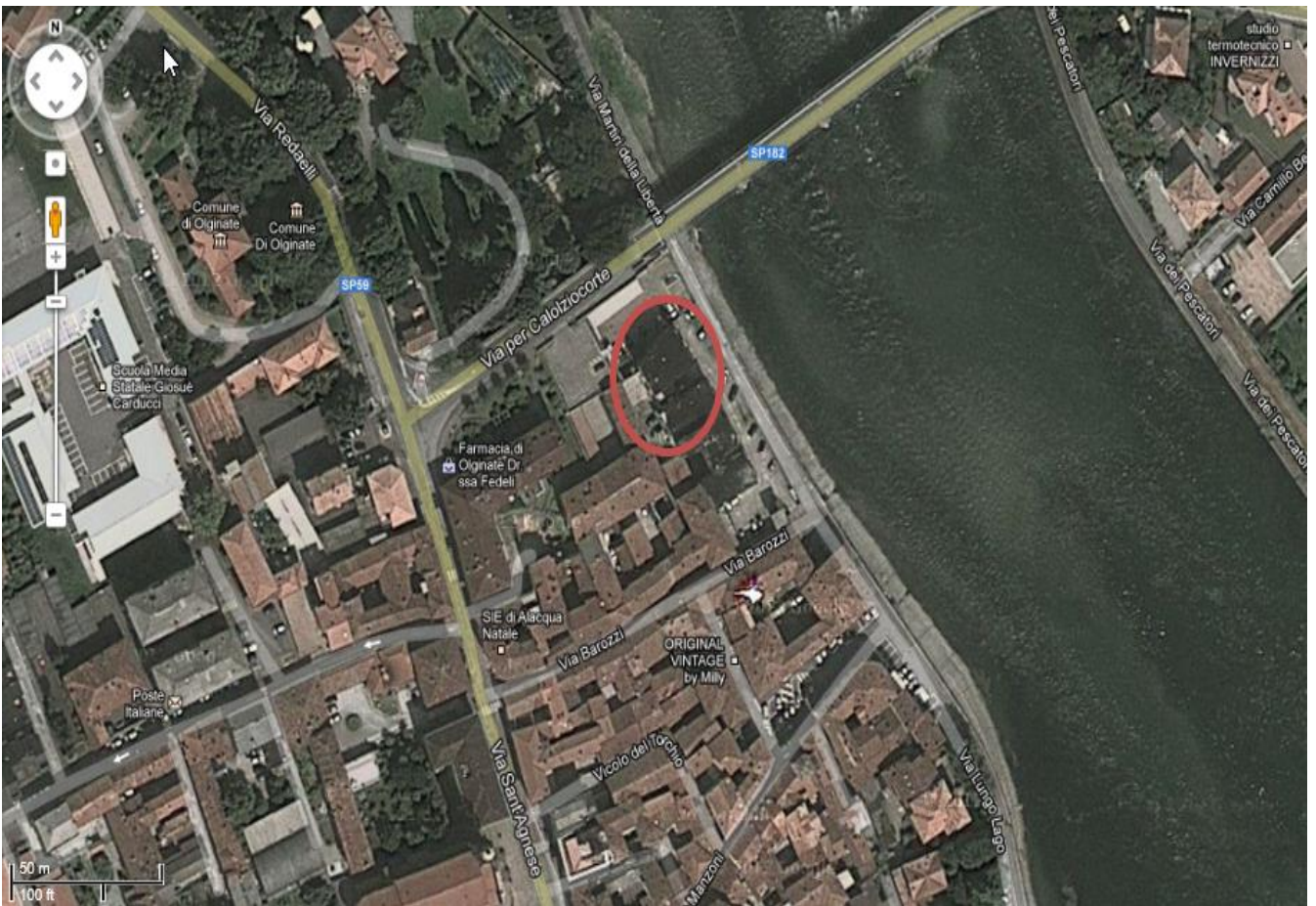
Nell'ambito della diagnosi energetica non abbiamo una direttiva specifica, ci rifaremo a diverse direttive ed alle norme tecniche.

Come già affrontato, la diagnosi è una certificazione "su misura", che tiene conto non dell'uso standard del sistema edificio-impianto, bensì dell'effettiva gestione dell'utilizzatore.

La diagnosi energetica degli immobili è un processo che possiamo collocare a cavallo tra la certificazione energetica del mondo edilizio e l'energy management del mondo industriale e dei servizi.

## 6.4 Esempio applicativo di simulazione di recupero energetico-prestazionale su un edificio esistente costruito intorno agli anni '60

*Valutazione delle prestazioni, dei costi e del pay-back time su scenari alternativi*









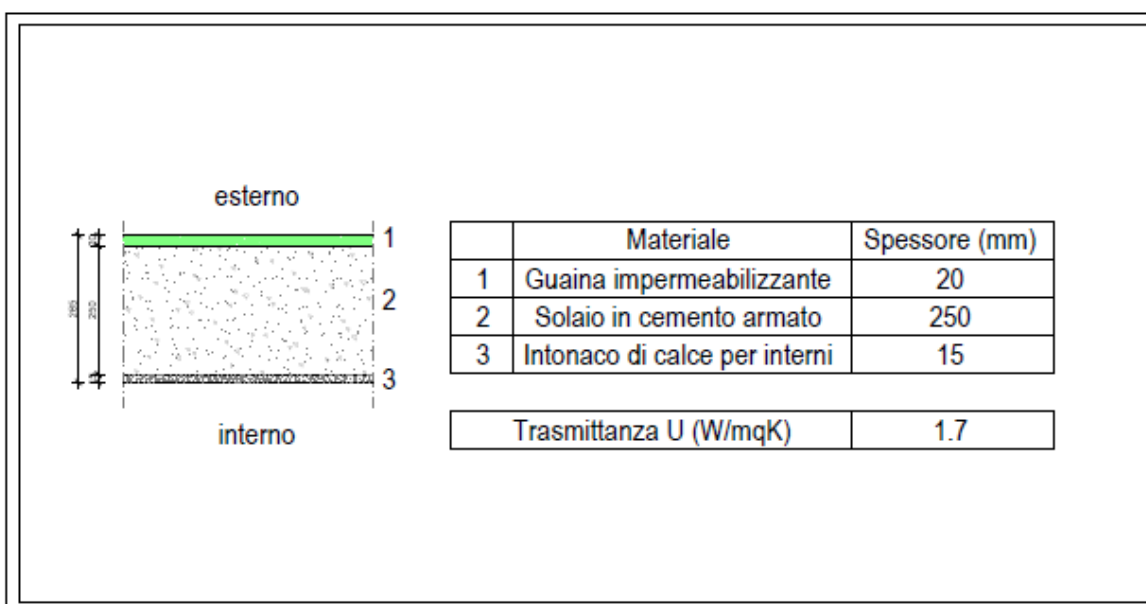
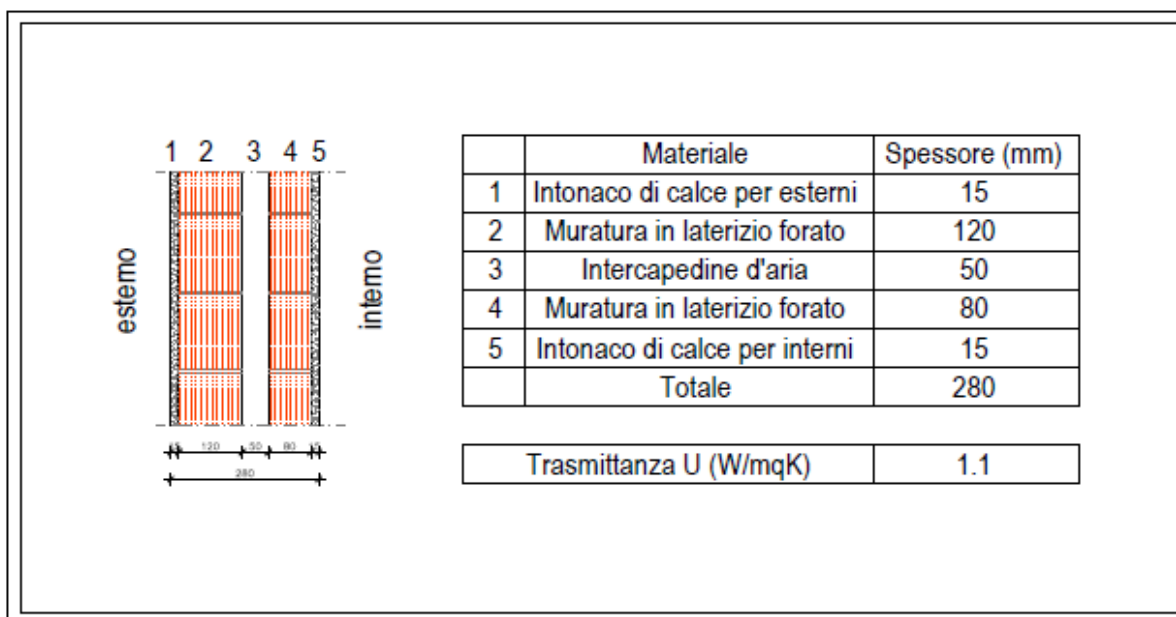
L'edificio oggetto di studio si trova in comune di Olginate, un paese nelle vicinanze di Lecco, in un'area in evidente degrado edilizio.

Il complesso residenziale si è realizzato negli anni '70, si struttura in 2 edifici residenziali a torre, uno di entità maggiore, composto da quattro piani fuori terra, l'altro di dimensioni più modeste, composto da tre piani fuori terra.

Entrambi hanno una forma parallelepipedica, con diagonale orientata secondo l'asse Nord-Sud.

Il modello di simulazione è stato applicato alla palazzina più piccola, ma potrebbe essere facilmente modificato e adattato anche per l'altra essendo medesime le patologie riscontrate e diversificandosi solo nelle quantità.

La torre ha una base quadrata, una struttura portante in cemento armato, è costituita da tre piani fuori terra riscaldati, una muratura doppia non isolata, una copertura piana anch'essa non isolata con riscaldamento centralizzato con una caldaia tradizionale alimentata a metano.



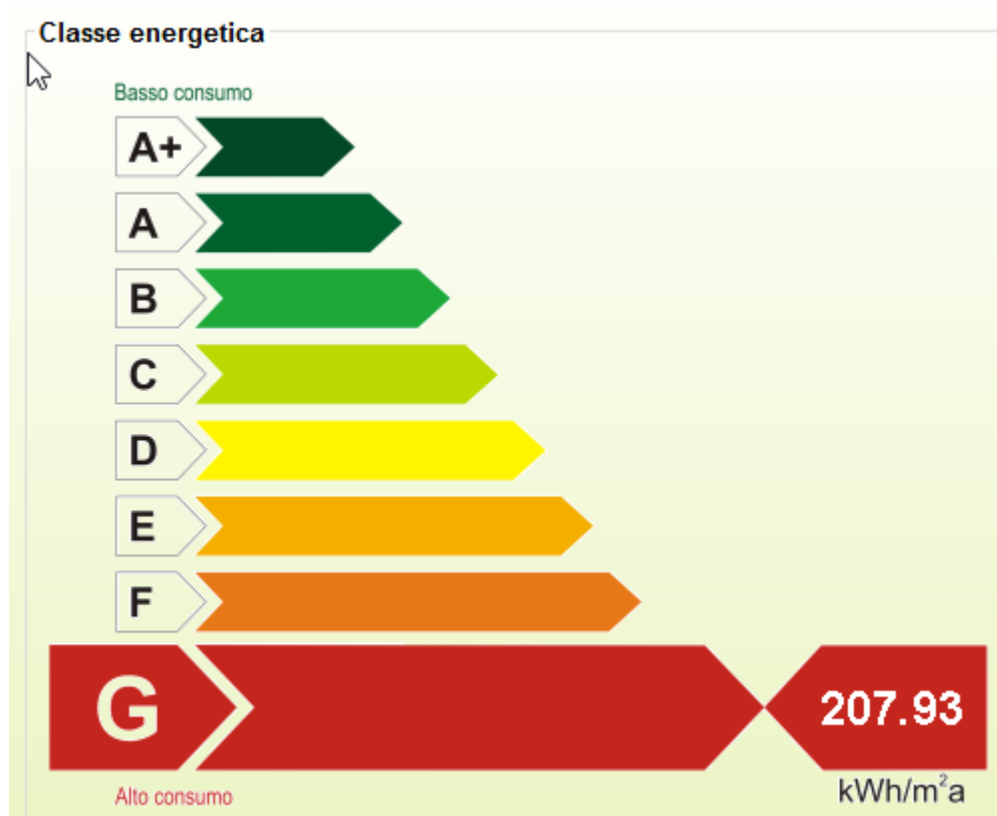
Il caso studio, a seguito di una diagnosi prestazionale, funzionale ed energetica dell'immobile originario, propone degli scenari di intervento alternativi, valutando la classe di efficienza energetica ottenuta dall'edificio in seguito agli interventi proposti e stimando, attraverso un'analisi costi-benefici, il tempo di ritorno economico dell'investimento.

Si è effettuata una prima analisi dell'involucro originario, in particolare per quanto riguarda l'analisi del degrado fisico e funzionale e sulla valutazione del comfort interno degli appartamenti.

Dall'analisi del degrado si rileva una predominanza di un degrado di livello medio e di alcuni elementi per i quali è richiesta la massima urgenza di intervento, quali il rifacimento dell'intonaco esterno, il ripristino di parti ammalorate in calcestruzzo, la sostituzione degli infissi e delle schermature solari, l'isolamento delle chiusure opache verticali e orizzontali.

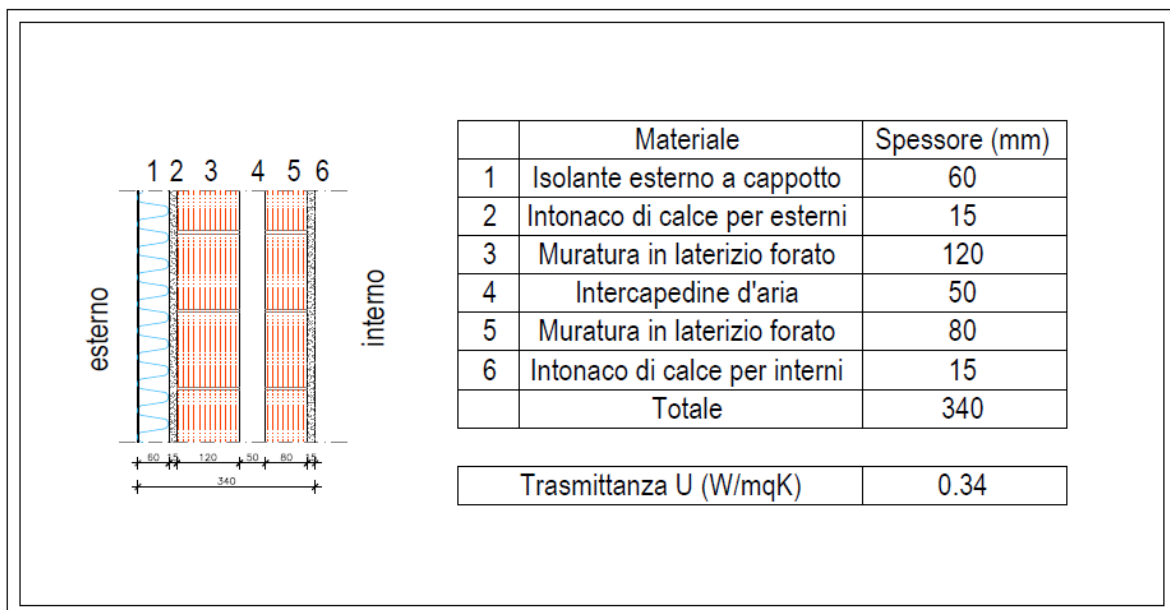
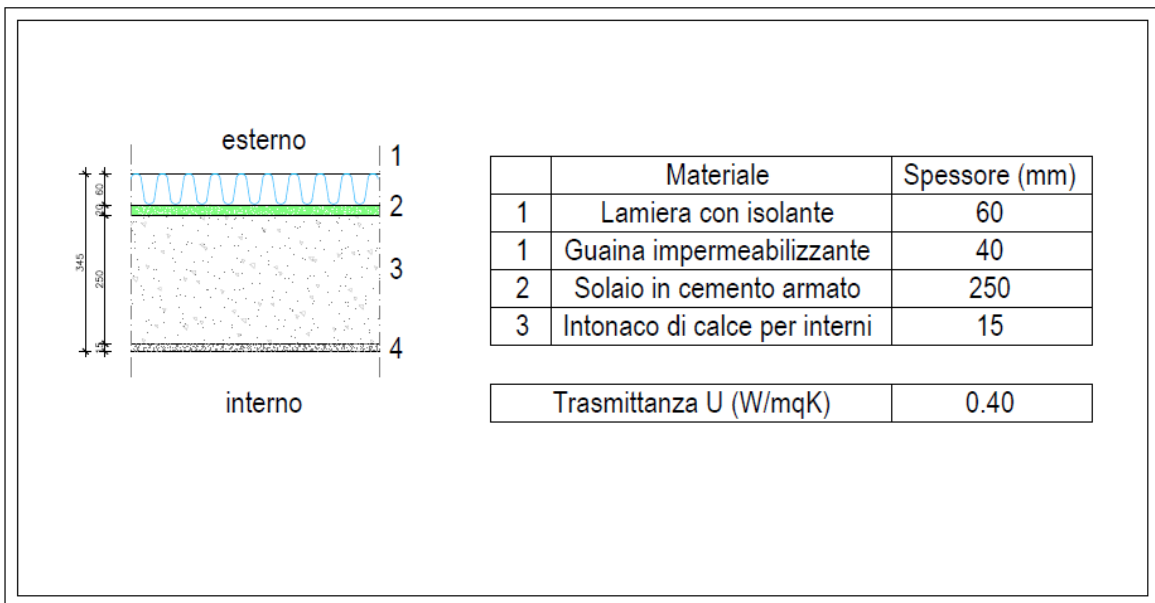
Si è rilevata la presenza di tracce di umidità in alcuni appartamenti, di correnti d'aria proveniente dagli infissi, la mancanza di benessere termico in alcuni appartamenti e di scarsa funzionalità dei sistemi di schermatura solare.

Il software CENED+ ha permesso di definire la classe di efficienza energetica dell'edificio. Per l'edificio il software rileva una classe di efficienza energetica G.



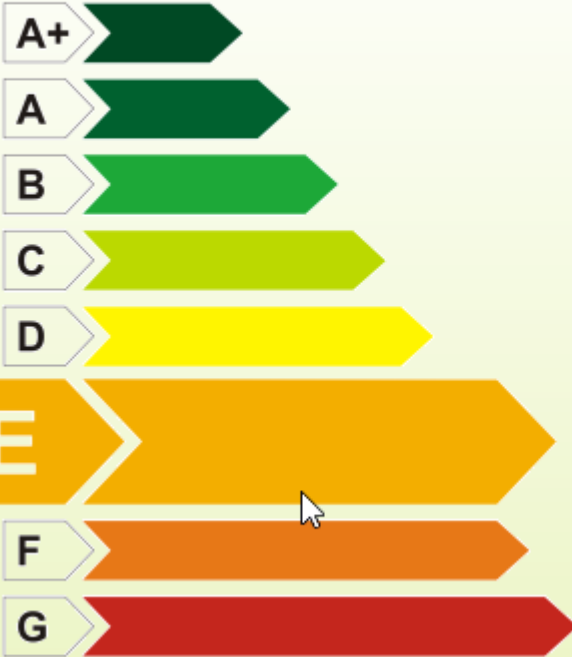
## SCENARIO 1

Il primo intervento ipotizzato riguarda la realizzazione di un cappotto esterno per chiusure opache verticali e orizzontale inferiore ( 6 cm di polistirene estruso), l'inserimento di un pacchetto isolante con lamiera per la copertura ( 6 cm di polistirene estruso). Considerando questi interventi inerenti all' involucro, l'edificio raggiunge la classe di efficienza energetica E.



### Classe energetica

Basso consumo



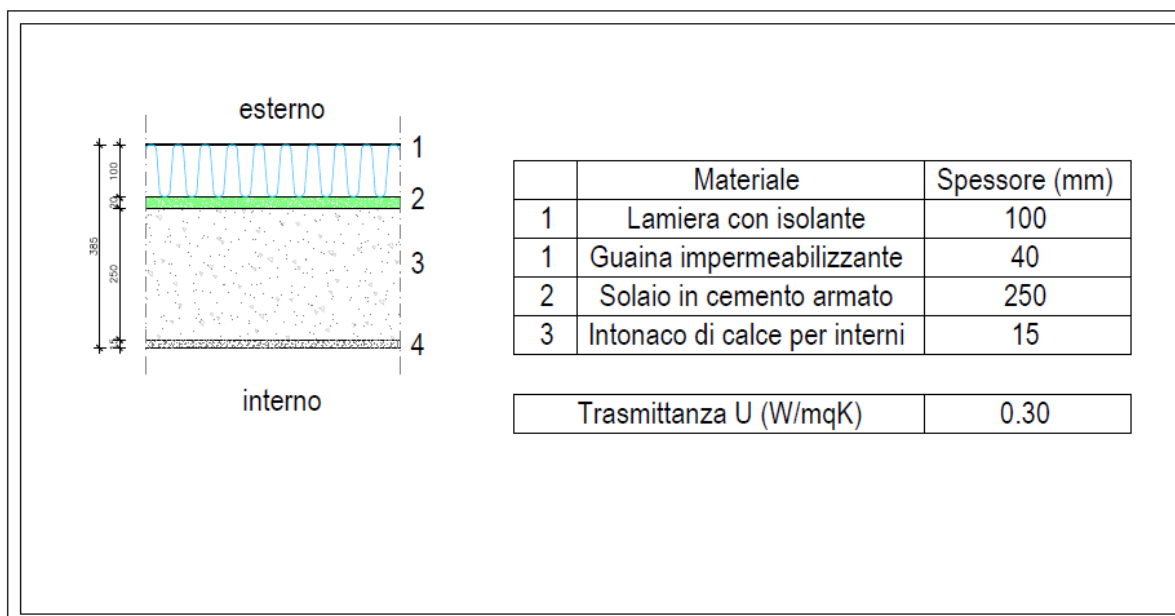
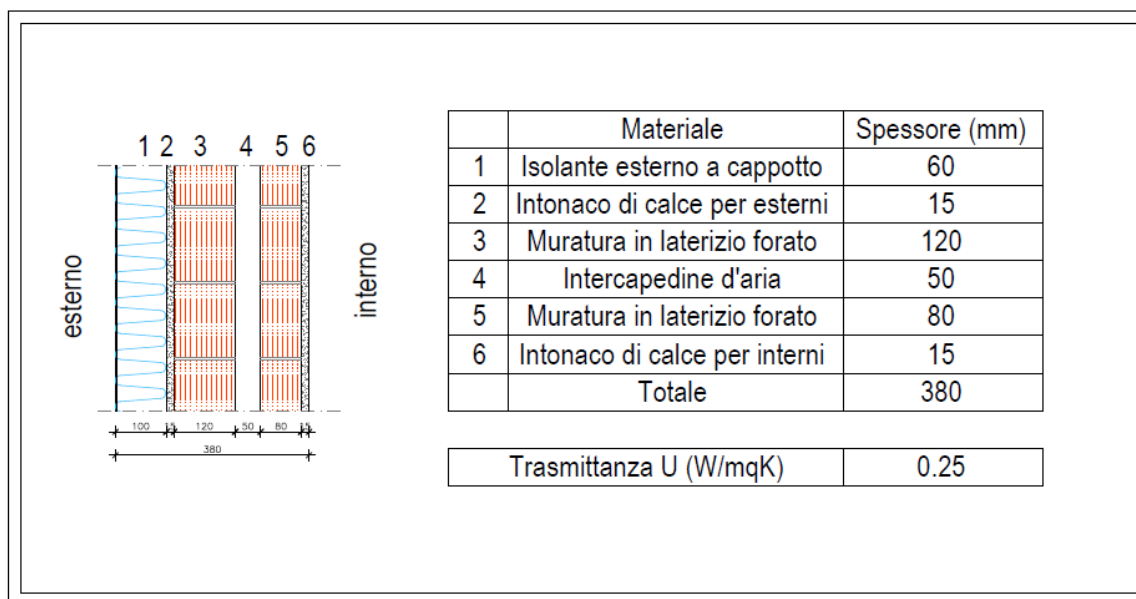
Alto consumo

121.16

kWh/m²a

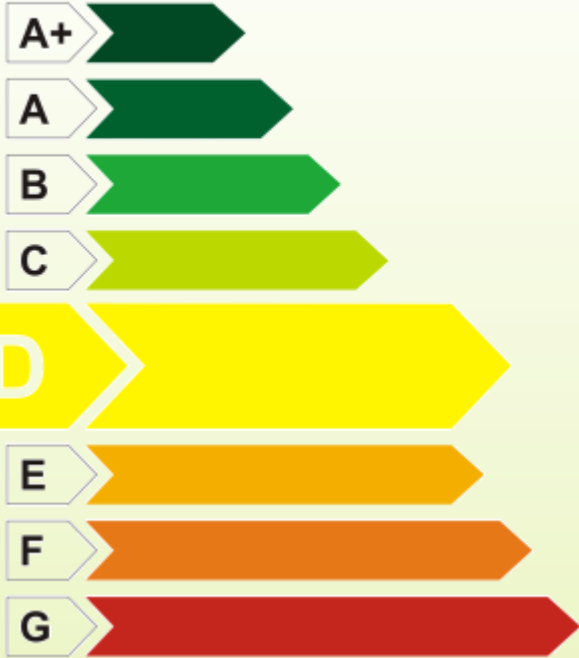
## SCENARIO 2

Il secondo scenario adotta la stessa tipologia di intervento, utilizzando spessori più significativi ( 10 cm di polistirene estruso) per l'isolamento delle chiusure esterne e della copertura l'edificio raggiunge la classe di efficienza energetica D.



Classe energetica

Basso consumo



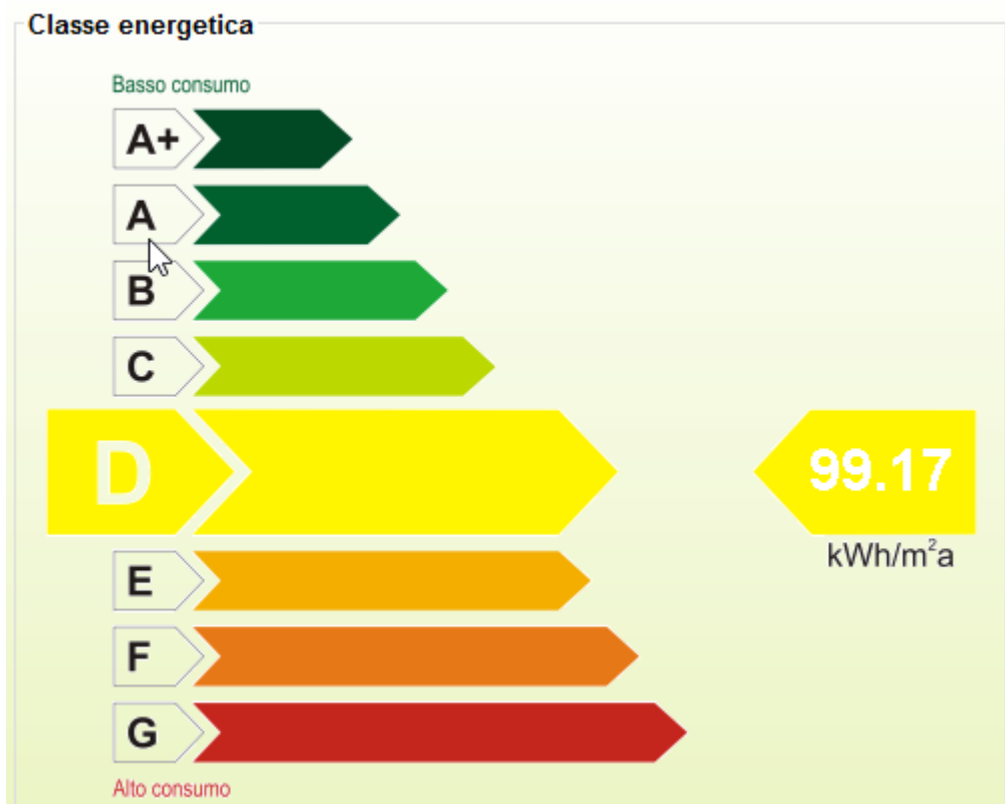
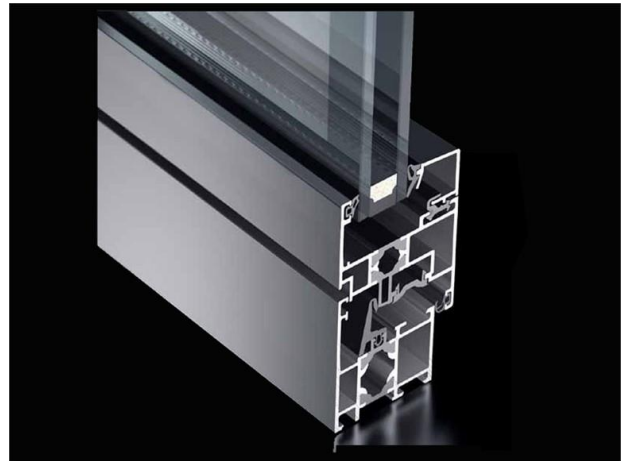
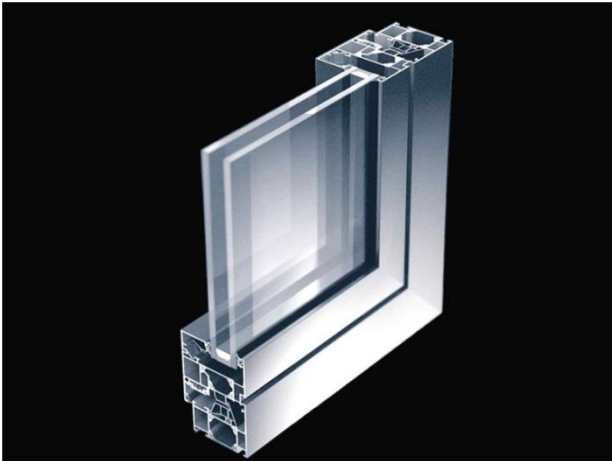
108.02

kWh/m<sup>2</sup>a

Alto consumo

### SCENARIO 3

L'ultimo scenario che si prende in esame consiste, oltre agli interventi elencati nel secondo caso, anche nella sostituzione dei serramenti in legno con dei serramenti in alluminio a taglio termico e vetrocamera (4-15-4 basso emissivo + aria) . Per questo scenario alternativo la classe di efficienza raggiunta è la D.





## **Valutazione economica**

Per ogni scenario il costo dell'intervento viene posto in relazione ai benefici economici derivanti dal risparmio di combustibile per il riscaldamento conseguente agli interventi di riqualificazione.

Per gli scenari alternativi il confronto si sposta sul piano della scelta del materiale isolante e del serramento.

Per la valutazione economica si è utilizzato come prezzo combustibile metano 0,83 €/mc e come potere calorifico inferiore (P.C.I.) 9,594 Kwh/mc.

Il VAN è stato calcolato su un periodo temporale di 25 anni, ipotizzando un tasso d'interesse pari al 4% e ipotizzando un aumento del 1% annuo del costo del combustibile.

Si sottolinea che nell'analisi economica non si sono considerati i positivi effetti delle detrazioni fiscali, per dimostrare come la maggior parte degli interventi siano convenienti senza bisogno di ulteriori incentivi.

Nella scelta dei diversi interventi da progettare e realizzare negli immobili dei committenti bisogna considerare:

- il budget, scegliendo l'intervento che a parità di costo d'investimento faccia ottenere minori costi energetici, ovvero una maggiore riduzione dell'energia primaria;
- gli aspetti normativi, che a loro volta possono essere prescrittivi (ad esempio il valore della trasmittanza della chiusura verticale opaca  $0,34 \text{ W/m}^2 \text{ °K}$ ).

## SCENARIO 1

					PREZZI	
	U.M.	Q.TA'			UNIT.	TOT.
<b>1 Allestimento cantiere</b>						
Comprendente baracca di cantiere, wc chimico, oneri, tasse e permessi vari rilasciati da enti preposti, la fornitura di acqua ed energia elettrica per tutta la durata dei lavori, nonché altri oneri eventuali a discrezione dell'impresa per la miglior esecuzione dei lavori.						
				a corpo		€ 2.000,0
<b>2 Nolo di ponteggio di facciata per edificio</b>						
Nolo di ponteggio a cavalletti di facciata completo in opera, compresi trasporti, montaggio e smontaggio, misurato sulla superficie esterna effettiva del ponteggio, compreso messa a terra e illuminazione notturna, approntamento dei piani di lavoro e loro sottoponti, progetto e relazione di calcolo, formazione paraschegge (mantovana), gli ancoramenti alla facciata, le necessarie protezioni verticali, rete di plastica o teli di polietilene e pezzi speciali; inoltre sarà completo d'impianto di messa a terra e di quant'altro necessari per garantire il totale rispetto delle vigenti normative antinfortunistiche e di sicurezza richieste dall'ASL. Trasporto, montaggio e smontaggio ed accurata pulizia a lavoro ultimato.						
<b>TOTALE</b>	mq	800,00	x	€/mq	12,00	€ 9.600,0
<b>3 Esecuzione di rivestimento isolante a cappotto</b>						
Esecuzione di rivestimento a cappotto così costituito:						
Forniture e posa di pannello in polistirene espanso estruso densità 20/25 kg/mc dello spessore di 6 cm, applicati alla superficie da rivestire mediante collante/rasante						
- Prima rasatura di fondo con rasante a base cementizia con inserimento di rete di armatura in fibra di vetro e seconda rasatura a livellare, al fine di ottenere un supporto idoneo a ricevere il successivo rivestimento						
- Applicazione a rullo di uno strato di primer a base di resine acriliche in tinte						
- Finitura con rivestimento precolorato a base di resine acriliche, di spess. 1,5 mm. applicato a spatola d'acciaio e finito a frattazza.						
<b>TOTALE</b>	mq	720,00	x	€/mq	45,00	€ 32.400,0
<b>4 Rimozione e riposizionamento impianto gas</b>						
Rimozione e successivo riposizionamento di montanti impianto gas per permettere la posa dell'isolamento a cappotto in facciata. Completo di raccordi vari e occorrenti.						
Rilascio di relativa dichiarazione di conformità ai sensi del Decreto 22-01-2008, n.37, Art. 7, per ogni appartamento	n°	10,00	x	€/cad	500,00	€ 5.000,0
<b>5 Posa nuovi marmi per davanzali</b>						
Fornitura e posa in opera di davanzale di finestra in pietra naturale opportunamente sagomata e ancorato come da indicazioni della D.L. Lucido o levigato su un piano e una costa, un gocciolato passante in SERIZZO ANTIGORIO	ml	25,00	x	€/ml	50,00	€ 1.250,0
<b>6 Realizzazione pacchetto isolante per copertura</b>						
Realizzazione pacchetto isolante per copertura composta da lamiera ondulata con 6 cm polistirene estruso	ml	225,00	x	€/mq	50,00	€ 11.250,0
<b>Totale</b>						<b>€ 61.500,0</b>

Investimento [€]	61500	
Superficie o volume degli ambienti interessati dall'intervento	1225	[mq]
EP <sub>H</sub> prima dell'intervento	207	[kWh/mq anno]
EP <sub>H</sub> dopo l'intervento	121	[kWh/mq anno]
Q <sub>EPH</sub> prima dell'intervento	253575	[kWh/anno]
Q <sub>EPH</sub> dopo l'intervento	148225	[kWh/anno]
R <sub>EPH</sub>	105350	[kWh/anno]

#### Risparmio annuo di combustibile

Tipo di Combustibile	Gas Naturale	
P.C.I.	9,594	[kWh/mc]
Prezzo combustibile	0,83	[€/mc]
C <sub>EP,h</sub>	10980,82	[mc]
Tasso di aumento del costo	1,00	[%]
Tasso di interesse	4,00	[%]

#### Calcolo del tempo di ritorno

ANNO	COSTO COMBUSTIBILE	FC ATTUALIZZATO	FC ATTUALIZZATO (Tasso interesse ed inflazione)	VAN
0	0,83	-61500	-61500	-61500,00
1	0,84	9205,22	8851,18	-52648,82
2	0,85	9297,27	8595,85	-44052,97
3	0,86	9390,25	8347,90	-35705,08
4	0,86	9484,15	8107,09	-27597,98
5	0,87	9578,99	7873,23	-19724,75
6	0,88	9674,78	7646,12	-12078,63
7	0,89	9771,53	7425,56	-4653,07
8	0,90	9869,24	7211,36	2558,29
9	0,91	9967,94	7003,34	
10	0,92	10067,62	6801,32	
11	0,93	10168,29	6605,13	
12	0,94	10269,98	6414,60	
13	0,94	10372,68	6229,56	
14	0,95	10476,40	6049,86	
15	0,96	10581,17	5875,35	
16	0,97	10686,98	5705,86	
17	0,98	10793,85	5541,27	
18	0,99	10901,79	5381,43	
19	1,00	11010,80	5226,19	
20	1,01	11120,91	5075,44	
21	1,02	11232,12	4929,03	
22	1,03	11344,44	4786,85	
23	1,04	11457,89	4648,77	
24	1,05	11572,47	4514,67	
25	1,06	11688,19	4384,44	

Tempo di ritorno [anni]	8
Priorità dell'intervento	Media

## SCENARIO 2

					PREZZI	
	U.M.	Q.TA'			UNIT.	TOT.
<b>1 Allestimento cantiere</b>						
Comprendente baracca di cantiere, wc chimico, oneri, tasse e permessi vari rilasciati da enti preposti, la fornitura di acqua ed energia elettrica per tutta la durata dei lavori, nonché altri oneri eventuali a discrezione dell'impresa per la miglior esecuzione dei lavori.						
				a corpo		€ 2.000,0
<b>2 Nolo di ponteggio di facciata per edificio</b>						
Nolo di ponteggio a cavalletti di facciata completo in opera, compresi trasporti, montaggio e smontaggio, misurato sulla superficie esterna effettiva del ponteggio, compreso messa a terra e illuminazione notturna, approntamento dei piani di lavoro e loro sottoponti, progetto e relazione di calcolo, formazione paraschegge (mantovana), gli ancoramenti alla facciata, le necessarie protezioni verticali, rete di plastica o teli di polietilene e pezzi speciali; inoltre sarà completo d'impianto di messa a terra e di quant'altro necessari per garantire il totale rispetto delle vigenti normative antinfortunistiche e di sicurezza richieste dall'ASL. Trasporto, montaggio e smontaggio ed accurata pulizia a lavoro ultimato.						
TOTALE	mq	800,00	x	€/mq	12,00	€ 9.600,0
<b>3 Esecuzione di rivestimento isolante a cappotto</b>						
Esecuzione di rivestimento a cappotto così costituito:						
Forniture e posa di pannello in polistirene espanso estruso densità 20/25 kg/mc dello spessore di 10 cm, applicati alla superficie da rivestire mediante collante/rasante						
- Prima rasatura di fondo con rasante a base cementizia con inserimento di rete di armatura in fibra di vetro e seconda rasatura a livellare, al fine di ottenere un supporto idoneo a ricevere il successivo rivestimento						
- Applicazione a rullo di uno strato di primer a base di resine acriliche in tinte						
- Finitura con rivestimento precolorato a base di resine acriliche, di spess. 1,5 mm. applicato a spatola d'acciaio e finito a frattazza.						
TOTALE	mq	720,00	x	€/mq	52,00	€ 37.440,0
<b>4 Rimozione e riposizionamento impianto gas</b>						
Rimozione e successivo riposizionamento di montanti impianto gas per permettere la posa dell'isolamento a cappotto in facciata. Completo di raccordi vari e occorrenti.						
Rilascio di relativa dichiarazione di conformità ai sensi del Decreto 22-01-2008, n.37, Art. 7, per ogni appartamento	n°	10,00	x	€/cad	500,00	€ 5.000,0
<b>5 Posa nuovi marmi per davanzali</b>						
Fornitura e posa in opera di davanzale di finestra in pietra naturale opportunamente sagomata e ancorato come da indicazioni della D.L. Lucido o levigato su un piano e una costa, un gocciolato passante in SERIZZO ANTIGORIO	ml	25,00	x	€/ml	50,00	€ 1.250,0
<b>6 Realizzazione pacchetto isolante per copertura</b>						
Realizzazione pacchetto isolante per copertura composta da lamiera ondulata con 10 cm polistirene estruso	ml	225,00	x	€/mq	58,00	€ 13.050,0
<b>Totale</b>						<b>€ 68.340,0</b>

Investimento [€]	68340	
Superficie o volume degli ambienti interessati dall'intervento	1225	[mq]
EP <sub>H</sub> prima dell'intervento	207	[kWh/mq anno]
EP <sub>H</sub> dopo l'intervento	108	[kWh/mq anno]
Q <sub>EPH</sub> prima dell'intervento	253575	[kWh/anno]
Q <sub>EPH</sub> dopo l'intervento	132300	[kWh/anno]
R <sub>EPH</sub>	121275	[kWh/anno]

#### Risparmio annuo di combustibile

Tipo di Combustibile	Gas Naturale	
P.C.I.	9,594	[kWh/mc]
Prezzo combustibile	0,83	[€/mc]
C <sub>EP,h</sub>	12640,71	[mc]
Tasso di aumento del costo	1,00	[%]
Tasso di interesse	4,00	[%]

#### Calcolo del tempo di ritorno

ANNO	COSTO COMBUSTIBILE	FC ATTUALIZZATO	FC ATTUALIZZATO (Tasso interesse ed inflazione)	VAN
0	0,83	-68340	-68340	-68340,00
1	0,84	10596,71	10189,14	-58150,86
2	0,85	10702,68	9895,23	-48255,63
3	0,86	10809,70	9609,79	-38645,84
4	0,86	10917,80	9332,58	-29313,26
5	0,87	11026,98	9063,37	-20249,89
6	0,88	11137,25	8801,93	-11447,96
7	0,89	11248,62	8548,03	-2899,93
8	0,90	11361,11	8301,45	5401,52
9	0,91	11474,72	8061,98	
10	0,92	11589,47	7829,43	
11	0,93	11705,36	7603,58	
12	0,94	11822,41	7384,24	
13	0,94	11940,64	7171,24	
14	0,95	12060,04	6964,37	
15	0,96	12180,64	6763,48	
16	0,97	12302,45	6568,38	
17	0,98	12425,48	6378,91	
18	0,99	12549,73	6194,90	
19	1,00	12675,23	6016,20	
20	1,01	12801,98	5842,66	
21	1,02	12930,00	5674,12	
22	1,03	13059,30	5510,44	
23	1,04	13189,89	5351,49	
24	1,05	13321,79	5197,12	
25	1,06	13455,01	5047,20	

Tempo di ritorno [anni]	8
Priorità dell'intervento	Media

## SCENARIO 3

	U.M.	Q.TA'		PREZZI UNIT.	TOT.	
<b>1 Allestimento cantiere</b>						
Comprendente baracca di cantiere, wc chimico, oneri, tasse e permessi vari rilasciati da enti preposti, la fornitura di acqua ed energia elettrica per tutta la durata dei lavori, nonché altri oneri eventuali a discrezione dell'impresa per la miglior esecuzione dei lavori.						
			a corpo		€ 2.000,0	
<b>2 Nolo di ponteggio di facciata per edificio</b>						
Nolo di ponteggio a cavalletti di facciata completo in opera, compresi trasporti, montaggio e smontaggio, misurato sulla superficie esterna effettiva del ponteggio, compreso messa a terra e illuminazione notturna, approntamento dei piani di lavoro e loro sottoponti, progetto e relazione di calcolo, formazione paraschegge (mantovana), gli ancoramenti alla facciata, le necessarie protezioni verticali, rete di plastica o teli di polietilene e pezzi speciali; inoltre sarà completo d'impianto di messa a terra e di quant'altro necessari per garantire il totale rispetto delle vigenti normative antinfortunistiche e di sicurezza richieste dall'ASL. Trasporto, montaggio e smontaggio ed accurata pulizia a lavoro ultimato.						
TOTALE	mq	800,00	x	€/mq	12,00	€ 9.600,0
<b>3 Esecuzione di rivestimento isolante a cappotto</b>						
Esecuzione di rivestimento a cappotto così costituito: Forniture e posa di pannello in polistirene espanso estruso densità 20/25 kg/mc dello spessore di 10 cm, applicati alla superficie da rivestire mediante collante/rasante - Prima rasatura di fondo con rasante a base cementizia con inserimento di rete di armatura in fibra di vetro e seconda rasatura a livellare, al fine di ottenere un supporto idoneo a ricevere il successivo rivestimento - Applicazione a rullo di uno strato di primer a base di resine acriliche in tinte - Finitura con rivestimento precolorato a base di resine acriliche, di spess. 1,5 mm. applicato a spatola d'acciaio e finito a frattazza.						
TOTALE	mq	720,00	x	€/mq	52,00	€ 37.440,0
<b>4 Rimozione e riposizionamento impianto gas</b>						
Rimozione e successivo riposizionamento di montanti impianto gas per permettere la posa dell'isolamento a cappotto in facciata. Completo di raccordi vari e occorrenti.						
Rilascio di relativa dichiarazione di conformità ai sensi del Decreto 22-01-2008, n.37, Art. 7, per ogni appartamento	n°	10,00	x	€/cad	500,00	€ 5.000,0
<b>5 Posa nuovi marmi per davanzali</b>						
Fornitura e posa in opera di davanzale di finestra in pietra naturale opportunamente sagomata e ancorato come da indicazioni della D.L. Lucido o levigato su un piano e una costa, un gocciolato passante in SERIZZO ANTIGORIO	ml	25,00	x	€/ml	50,00	€ 1.250,0
<b>6 Realizzazione pacchetto isolante per copertura</b>						
Realizzazione pacchetto isolante per copertura composta da lamiera ondulata con 10 cm polistirene estruso	mq	225,00	x	€/mq	58,00	€ 13.050,0
<b>7 Rimozione serramenti esistenti in legno</b>						
Rimozione serramenti esistenti in legno e tapparelle avvolgibili	mq	102,50	x	€/mq	45,00	€ 4.612,5
<b>8 Fornitura e posa di serramenti in alluminio</b>						
Fornitura e posa di serramenti in alluminio a taglio termico e vetrocamera (4-15-4 basso emissivo + aria)	mq	102,50	x	€/mq	250,00	€ 25.625,0
<b>9 Fornitura e posa di tapparelle avvolgibili</b>						
Fornitura e posa di tapparelle avvolgibili in alluminio con cassonetti coibentati	n	42,00	x	€/cad	500,00	€ 21.000,0
<b>Totale</b>						<b>€ 119.577,5</b>

Investimento [€]	119577	
Superficie o volume degli ambienti interessati dall'intervento	1225	[mq]
EP <sub>H</sub> prima dell'intervento	207	[kWh/mq anno]
EP <sub>H</sub> dopo l'intervento	99,17	[kWh/mq anno]
Q <sub>EPH</sub> prima dell'intervento	253575	[kWh/anno]
Q <sub>EPH</sub> dopo l'intervento	121483,25	[kWh/anno]
R <sub>EPH</sub>	132091,75	[kWh/anno]

#### Risparmio annuo di combustibile

Tipo di Combustibile	Gas Naturale	
P.C.I.	9,594	[kWh/mc]
Prezzo combustibile	0,83	[€/mc]
C <sub>EP,h</sub>	13768,16	[mc]
Tasso di aumento del costo	1,00	[%]
Tasso di interesse	4,00	[%]

#### Calcolo del tempo di ritorno

ANNO	COSTO COMBUSTIBILE	FC ATTUALIZZATO	FC ATTUALIZZATO (Tasso interesse ed inflazione)	VAN
0	0,83	-119577	-119577	-119577,00
1	0,84	11541,85	11097,93	-108479,07
2	0,85	11657,27	10777,80	-97701,27
3	0,86	11773,84	10466,90	-87234,36
4	0,86	11891,58	10164,97	-77069,39
5	0,87	12010,50	9871,75	-67197,64
6	0,88	12130,60	9586,99	-57610,65
7	0,89	12251,91	9310,44	-48300,21
8	0,90	12374,43	9041,87	-39258,33
9	0,91	12498,17	8781,05	-30477,29
10	0,92	12623,15	8527,75	-21949,54
11	0,93	12749,38	8281,76	-13667,78
12	0,94	12876,88	8042,86	-5624,92
13	0,94	13005,65	7810,85	2185,93
14	0,95	13135,70	7585,54	
15	0,96	13267,06	7366,73	
16	0,97	13399,73	7154,23	
17	0,98	13533,73	6947,85	
18	0,99	13669,06	6747,43	
19	1,00	13805,76	6552,80	
20	1,01	13943,81	6363,77	
21	1,02	14083,25	6180,20	
22	1,03	14224,08	6001,93	
23	1,04	14366,32	5828,80	
24	1,05	14509,99	5660,66	
25	1,06	14655,09	5497,37	

Tempo di ritorno [anni]	13
Priorità dell'intervento	Bassa

	INTERVENTO IPOTIZZATO	FABBISOGNO ENERGETICO DELL'INVOLUCRO (kWh/a)	CLASSE DI EFFICIENZA	COSTO INTERVENTO (€)	PAY BACK TIME (anni)
EDIFICIO ORIGINARIO		208	G	-	-
SCENARIO 1	Isolamento pareti verticali e pacchetto isolante copertura da 6 cm in polistirene estruso	121	E	61.500,00	8
SCENARIO 2	Isolamento pareti verticali e pacchetto isolante copertura da 10 cm in polistirene estruso	108	D	68.340,00	8
SCENARIO 3	Isolamento pareti verticali e pacchetto isolante copertura da 10 cm in polistirene estruso + sostituzione serramenti esistenti con serramenti a taglio termico	99	D	119.577,00	13

In conclusione qualunque intervento di recupero non può non tener conto del risparmio energetico che, nell'immediato, comporta un extra costo rispetto a un tradizionale intervento di riqualificazione, ma che nel tempo porta non solo il totale recupero dell'investimento, ma anche vantaggi nel protrarsi del tempo di benefici.

Inoltre, dai vari scenari di intervento, quelli che risultano più convenienti da un'analisi costi-benefici sono quelli che perseguono valori di trasmittanza più restrittivi, in particolare lo scenario 2 permette il recupero dell'investimento nello stesso arco di scenario 1, lavorando sul minor consumo di combustibile.

In relazione al costo del combustibile, del rendimento dell'impianto di riscaldamento e della zona climatica dobbiamo fare un'ulteriore valutazione tecnico-economica, infatti 40 mm in più di isolante hanno un costo marginale, essendo fissi i costi per le opere provvisionali e per la manodopera.

La sostituzione degli infissi invece è uno degli interventi più costosi e con ritorni economici molto lunghi nel tempo; infatti in termini energetici l'EPI si riduce di poco (le superfici finestrate sono abbastanza piccole in proporzione alle chiusure opache).



## **7. Conclusioni**

La termografia attiva ad infrarosso è comunemente applicata per l'analisi di caratteristiche materiche e costruttive, manifestazioni di degrado superficiale e distacco di rivestimenti, quadri umidi e fessurativi, dispersioni termiche e prestazioni energetiche, garantendo il conseguimento di dati accurati e significativi.

Il presente contributo illustra alcune procedure, che consentono, attraverso le prova termografica su componenti costruttivi, di controllare i parametri e i risultati dei processi edilizi. Queste procedure, che si inseriscono in un quadro di riferimento normativo articolato, ma non completo, possono risultare uno strumento utile dal punto di vista sia metodologico, sia tecnico, al fine di ottimizzare modalità, tempi e costi di esecuzione.

Bisogna dire che la termografia non produce risultati quantitativi, richiedendo ulteriori verifiche con l'integrazione di altre tecniche di analisi, ma riesce però in pochi istanti a dare un'immagine qualitativa dello stato di fatto, dando all'operatore una visione precisa e puntuale dello stato di salute dell'immobile interrogato.

La continua evoluzione tecnologica e il prezzo commerciale relativamente contenuto ha fatto sì che le camere termografiche abbiano sempre più un ruolo di primo piano in campo edile sia come strumento di monitoraggio in fase di collaudo, sia come ausilio nella redazione di una diagnosi energetica sul costruito.

## 8. Bibliografia

- (1) Assotermografia on-line: <http://www.assotermografia.it/>
- (2) Legambiente on-line: <http://www.legambiente.it/>
- (3) Amatulli C., De Fino M., De Tommasi G., Fatiguso F., Stefanizzi P., A protocol for active IR thermography to assess durability of building components, 2011
- (4) Biondo G, Gesani P, Lattuca G, Diagnosi energetica nell'edilizia, Grafill, Palermo, 2013
- (5) Brunetti G, Tecniche di indagine non Distruttive e Monitoraggio, Maggioli editore, Milano, 2008
- (6) Dall'O' Giuliano, Manuale della certificazione energetica degli edifici, Edizione Ambiente, Roma, 2008
- (7) De Fino, G. De Tommasi, F. Fatiguso, Non destructive techniques for the conservation of stone staircases in historical buildings, 2011
- (8) De Fino M., De Tommasi G., Fatiguso F., Sciotti A., Una procedura guidata per la termografia attiva a infrarosso su materiali e componenti costruttivi, Grafill, Palermo, 2011
- (9) Lanzoni Davide, Diagnosi e certificazione energetica - prove strumentali sugli edifici, Maggioli editore, Milano, 2010
- (10) Lupka S., Guida alla certificazione energetica, Maggioli editore, Milano, 2010
- (11) Raimondo L., Mutali M., Massala C., La procedura di certificazione energetica: dal sopralluogo all'attestato, Maggioli editore, Milano, 2010

## **Allegati: Riferimenti normativi**

In questo capitolo si passeranno in rassegna i principali riferimenti normativi che regolano il settore delle prestazioni energetiche negli immobili. Riferimenti che il più delle volte provengono da direttive europee che poi vengono recepite dal Parlamento italiano e dalla Regione Lombardia.

### *Directive-europee*

#### 2002/91/CE Rendimento energetico nell'edilizia / Energy Performance Building Directive

È definibile come la direttiva madre del settore, descrive il quadro generale di applicazione, le metodologie di calcolo del rendimento energetico degli edifici, l'applicazione dei requisiti minimi di rendimento per le nuove costruzioni e per le ristrutturazioni importanti, la certificazione energetica, le verifiche e le ispezioni sugli impianti di climatizzazione.

La direttiva, lasciando margine ai singoli stati membri di definire le metodologie di calcolo più opportune, ha di fatto aperto un nuovo mercato e riportato il dibattito nel mondo dell'edilizia e dell'architettura verso sistemi di maggiore efficienza ed inaugurato un nuovo filone costruttivo il GREENBUILDING.

In Europa il 40% dei consumi energetici sono imputabili al mondo dell'edilizia, quindi al settore residenziale e del terziario. Solo intervenendo su questi elevati consumi, comprimendo l'energia primaria consumata, sia con la coibentazioni sia con soluzioni impiantistiche efficienti, ma anche con una corretta progettazione architettonica si potranno centrare gli obiettivi di Kyoto e le "raccomandazioni" del 20-20-20.

Nella direttiva viene definita la figura del certificatore energetico, figura esperta ed indipendente dal processo edilizio per mantenere l'autonomia. Infatti non deve aver partecipato né come tecnico alla fase progettuale-realizzativa né come imprenditore o fornitore nella costruzione. Nella normativa troviamo delle indicazioni su quali elementi o sistemi intervenire:

- tecniche costruttive degli immobili con particolare attenzione alle dispersioni (per conduzione e per ventilazione), agli apporti gratuiti, alle temperature di comfort, all'irraggiamento solare, al fabbisogno estivo dell'involucro;
- impianti con descrizioni delle tipologie di riscaldamento, condizionamento e ventilazione (ricambi d'aria), produzione di acqua calda sanitaria;
- fonti di energia rinnovabile con interazioni ed integrazioni al sistema edificio-impianto;
- manutenzione ed ispezione degli impianti;
- prestazioni energetiche, emissioni di Co2, energia primaria

#### 2006/32/CE Efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici

Il principio di ottimizzare le risorse energetiche dell'Unione Europea, affinché si riduca la dipendenza da paesi extracomunitari e per la salvaguardia ambientale, si applica non solo agli immobili, ma a tutti i player del settore. Si interviene sia sul mercato del gas che dell'elettricità. L'Unione si è prefissata di raggiungere almeno il 9% di risparmio energetico grazie all'innovazione tecnologica, alle corrette pratiche produttive, ai corretti comportamenti umani.

Ora entrano in campo i player: fornitori di misure di miglioramento dell'efficienza energetica, distributori di energia, gestori del sistema di distribuzione e le società di vendita al dettaglio di energia.

Queste aziende dovrebbero sempre più proporre anche ai piccoli consumatori la diagnosi energetica sia per le abitazioni che per le piccole aziende.

Ciò comporterebbe un'efficienza maggiore nella climatizzazione degli immobili, del loro illuminamento, nella produzione di ACS o nell'ottimizzazione del ciclo produttivo aziendale.

Gli stati membri possono, con provvedimenti specifici, obbligare i player a fornire il servizio di diagnosi energetica ai clienti. Sempre la stessa direttiva promuove interventi di efficientamento tramite Ftt, finanziamento tramite terzi.

Ad esempio una EScO (Energy Service Company) riqualifica una centrale termica di un condominio con propri mezzi finanziari ed il condominio si impegna al pagamento

di un canone leggermente inferiore ai costi di gestione finora sostenuti. I vantaggi quali sono? La riduzione di emissioni di Co2, la riduzione dei costi di gestione dei condomini, l'ESCo avrà ricavi sia per l'incasso del canone, ma anche dai minori costi di esercizio della nuova centrale più eventuali altre agevolazioni fiscali.

Si riportano alcune definizioni della direttiva dall'articolo 3:

– comma b), efficienza energetica, il rapporto tra i risultati in termini di rendimento, servizi, merci o energia e l'immissione di energia;

– comma i), società di servizi energetici (ESCo), persona fisica o giuridica che fornisce servizi energetici e/o altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica nelle installazioni o nei locali dell'utente e, ciò facendo, accetta un certo margine di rischio finanziario. Il pagamento dei servizi forniti si basa (totalmente o parzialmente) sul miglioramento dell'efficienza energetica conseguito e sul raggiungimento degli altri criteri di rendimento stabiliti;

– comma j), contratto di rendimento energetico, accordo contrattuale tra il beneficiario e il fornitore (di norma una ESCo) riguardante una misura di miglioramento dell'efficienza energetica, in cui i pagamenti a fronte degli investimenti in siffatta misura sono effettuati in funzione del livello di miglioramento dell'efficienza energetica stabilito contrattualmente;

– comma l), diagnosi energetica, 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 o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati;

– comma s), certificato bianco, certificato rilasciato da organismi di certificazione indipendenti attestante la veridicità delle affermazioni degli operatori di mercato che annunciano risparmi di energia grazie a misure di miglioramento dell'efficienza energetica.

## 2010/31/CE Prestazioni energetiche nell'edilizia

La direttiva conferma gli indirizzi generali della Direttiva 2002/91/CE, approfondisce alcune tematiche e lancia nuove sfide, aumentare il numero di edifici che non solo rispettano i requisiti minimi vigenti, ma presentano una prestazione energetica ancora più elevata" ovvero gli edifici ad energia quasi zero, così definito "edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'allegato I. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze". Indicazioni che si tradurranno in obblighi per gli edifici pubblici o ad uso pubblico dal 31 dicembre 2018, per tutti gli altri immobili due anni dopo. Questo si traduce in un consumo di energia primaria quasi zero espresso con un indice kWh/m<sup>2</sup> anno già noto agli operatori del settore ed all'annullamento delle emissioni di biossido di carbonio.

Per quanto riguarda il mercato immobiliare si ribadisce che in caso di costruzione, vendita o locazione, l'acquirente o il locatario abbia visione dell'ACE (attestato di prestazione energetica). Corre l'obbligo negli annunci immobiliari di indicare l'indice di prestazione energetica. Inoltre per gli immobili pubblici l'obbligo di esporre la targa energetica scatta con metrature superiori a 250 m<sup>2</sup> dal luglio 2015. Come già nella direttiva del 2002 si indicano le manutenzioni periodiche agli impianti effettuate da tecnici qualificati.

### *normativa-nazionale*

La normativa nazionale sul contenimento dei consumi energetici, nasce negli anni '70.

Nei primi anni '90 si rielaborano le strategie con la Legge n. 10/1991. Passando all'attualità il D.Lgs. n. 192/2005, che recepisce la Direttiva 2002/91/CE, lo possiamo vedere come propaggine e come attuazione della Legge n. 10.

Dal D.Lgs. n. 192/2005, modificato con il D.Lgs. n. 311/2006 e il D.Lgs. n. 28/2011 scaturiscono il D.P.R. n. 59/2009 e Decreto ministeriale 26 giugno 2009. Il decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28 introduce obblighi di legge a partire dal 2012 nella produzione di energia termica ed elettrica da fonti rinnovabili in relazione alla superficie dell'immobile e ripristina l'obbligo di "allegare" l'ACE al rogito in caso di passaggio di proprietà oneroso.

Dal 2012 anche per le locazioni sarà necessario l'ACE, infatti tutti gli annunci immobiliari dovranno riportare l'EPI.

### Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, attuazione della 2002/91/CE

Come già sappiamo il decreto recepisce la direttiva europea sul rendimento energetico in edilizia, quindi ha il compito di ridurre le emissioni di Co2 e i consumi energetici legati agli immobili andando a disciplinare:

- la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
- l'applicazione dei requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
- i criteri per la certificazione energetica degli edifici;
- le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- i criteri per garantire le qualificazioni e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
- la raccolta di informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;
- la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso informazioni e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Nell'articolo 2 del decreto troviamo un'interessante definizione di rendimento dell'edificio "la quantità annua di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e l'illuminazione. tale quantità viene espressa da uno o più descrittori che tengono conto della coibentazione, delle caratteristiche tecniche e di installazione, della progettazione e della posizione in relazione agli aspetti climatici, dell'esposizione al sole e dell'influenza delle strutture adiacenti, dell'esistenza di sistemi di trasformazione propria di energia e degli altri fattori, compreso il clima degli ambienti interni, che influenzano il fabbisogno energetico".

Il decreto applica i principi e le tecniche del risparmio e dell'efficienza energetica in tutto il processo edilizio dalla progettazione al collaudo, ma anche nella gestione, quindi nei controlli e nelle manutenzioni degli impianti. Le norme dovranno essere rispettate in caso di nuova costruzione e di ristrutturazione qualora:

- immobili con superficie utile superiore a 1.000 m<sup>2</sup>, intervento globale su tutto l'involucro e sugli impianti (anche in caso di demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria);
- immobili con superficie inferiore a 1.000 m<sup>2</sup>, intervento solo sugli elementi oggetto di lavorazione;
- in caso di sostituzione del generatore di calore;
- in caso di rifacimento dell'impianto termico.

Le uniche deroghe ammesse sono per gli immobili di pregio architettonico tutelati dal Codice dei Beni Culturali (D.Lgs. n. 42/2002), fabbricati produttivi con particolari esigenze nel ciclo di lavorazione, immobili isolati con superficie utile inferiore a 50 m<sup>2</sup>. L'articolo 6 norma la certificazione energetica: come deve essere elaborata, chi la può rilasciare, la validità temporale, gli aggiornamenti necessari.

Inoltre il decreto nei suoi allegati prescrive una serie di valori minimi (EPi, trasmittanza involucro, rendimento impianto di riscaldamento) che dovranno rispettare gli immobili oggetto dello stesso decreto.

#### Decreto legislativo 30 maggio 2008, n. 115

Il decreto del 30 maggio 2008 recepisce la direttiva 32/2016/CE, che norma l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici. Si leggono interessanti spunti nel capo IV del decreto in cui si responsabilizzano le amministrazioni pubbliche proprietarie o utilizzatrici del bene immobile ad applicare le norme e si prevedono esplicitamente le diagnosi energetiche in caso di interventi di riqualificazione di impianti termici e dell'involucro edilizio o per ristrutturazione che intervengono sull'involucro in quota superiore al 15%.

#### Art. 18. Diagnosi energetiche e campagne di informazione

1. Entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore del presente decreto, l'Agenzia definisce le modalità con cui assicura la disponibilità di sistemi di diagnosi energetica efficaci e di alta qualità destinati a individuare eventuali misure di miglioramento dell'efficienza energetica applicate in modo indipendente a tutti i consumatori finali, prevedendo accordi volontari con associazioni di soggetti interessati.

2. Nell'ambito delle attività di cui al comma 1, l'Agenzia predispone per i segmenti del mercato aventi costi di transazione più elevati e strutture non complesse altre misure quali i questionari e programmi informatici disponibili su Internet o inviati per posta, garantendo comunque la disponibilità delle diagnosi energetiche per i segmenti di mercato in cui esse non sono commercializzate.

3. La certificazione energetica di cui al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni, si considera equivalente ad una diagnosi energetica che risponda a requisiti di cui ai commi 1 e 2.

4. Con i provvedimenti di cui all'articolo 7 sono stabilite le modalità con cui le imprese di distribuzione concorrono al raggiungimento dell'obiettivo di garantire la disponibilità di diagnosi energetiche a tutti i clienti finali.

5. Ai fini di dare piena attuazione alle attività di informazione di cui dall'articolo 4, comma 4, lettera e), l'Agenzia si avvale delle risorse rinvenenti dal fondo di cui all'articolo 2, comma 162, della legge 24 dicembre 2007, n. 244, assegnate con le modalità previste dal medesimo comma.



6. Ai fini di dare piena attuazione a quanto previsto dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni, in materia di diagnosi energetiche e certificazione energetica degli edifici, nelle more dell'emanazione dei decreti di cui all'articolo 4, comma 1, lettere a), b) e c), del medesimo decreto legislativo e fino alla data di entrata in vigore degli stessi decreti, si applica l'allegato III al presente decreto legislativo. Ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, le disposizioni di cui all'allegato III si applicano per le regioni e province autonome che non abbiano ancora provveduto ad adottare propri provvedimenti in applicazione della direttiva 2002/91/CE e comunque sino alla data di entrata in vigore dei predetti provvedimenti nazionali o regionali. Le regioni e le province autonome che abbiano già provveduto al recepimento della direttiva 2002/91/CE adottano misure atte a favorire la coerenza e il graduale ravvicinamento dei propri provvedimenti con i contenuti dell'allegato III.

#### D.P.R. n. 59/2009

Il Decreto è il regolamento di attuazione dell'articolo 4 del D.Lgs. n. 192/2005. È di notevole importanza in fase progettuale poiché dispone una serie di condizioni minime, di buone tecniche e di verifiche da realizzare.

Vengono definiti i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per il riscaldamento e la produzione di ACS.

Per la certificazione in senso stretto si rimanda alle linee guida (che analizzeremo di seguito), invece per le metodologie di calcolo si fa riferimento alle UNI/tS 11300:

– UNI/tS 11300 – 1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed

invernale;

– UNI/tS 11300 – 2 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 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;

– UNI/tS 11300 – 4 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Se è vero che il D.P.R. n. 59/2009 è fondamentale per la progettazione dell'edificio-impianto, è altrettanto importante in fase di diagnosi affinché si verifichino le prescrizioni minime ed in fase di elaborazione di studio di fattibilità degli interventi

migliorativi si possa non solo ottemperare alle prescrizioni normative, ma raggiungere il benessere termo-igrometrico per gli utilizzatori dell'immobile.

Di seguito si riportano una serie di indicatori e grandezze da tenere sempre a mente

EPe,inv, ponte termico corretto, rendimento globale medio stagionale, impianto di riscaldamento, efficienza nuovi generatori di calore (caldaia, pompe di calore, ecc. ...), sistema di termoregolazione, temperatura media fluido, trasmittanza periodica, massa superficiale, irraggiamento solare e sistemi schermanti.

### Decreto ministeriale 26 giugno 2009, Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici

Il primo articolo delle Linee guida, Finalità, ben riassume lo scopo per cui nasce l'ACE, non solo per corretta applicazione della 2002/91/CE ma principalmente come strumento d'intervento sul mercato immobiliare, "fornire informazioni sulla qualità energetica degli immobili e strumenti di chiara ed immediata comprensione":

- per la valutazione della convenienza economica a realizzare interventi di riqualificazione energetica delle abitazioni;
- per acquisti e locazioni di immobili che tengano adeguatamente conto della prestazione energetica degli edifici.

Per questi motivi la certificazione non è solo un documento tecnico, ma un documento di facile lettura per il committente e per l'utilizzatore del fabbricato con suggerimenti e raccomandazioni su come migliorare l'edificio. La certificazione è da applicare su tutti gli edifici a prescindere dalla presenza dell'impianto di riscaldamento. Rimangono esclusi box, cantine, ecc. ... Si riporta una semplice espressione che riassume la prestazione energetica globale dell'edificio

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{ACS} + EP_e + EP_{ill}$$

Nella vigenza attuale teniamo conto solo dei primi due addendi, EP<sub>i</sub> della climatizzazione invernale, EP<sub>ACS</sub> dell'acqua calda sanitaria. Le prestazioni estive si valutano solo qualitativamente attraverso le caratteristiche dell'involucro, nessuna traccia per il calcolo dell'illuminazione, che ha un rilevante peso negli edifici destinati al terziario.

Nelle linee guida si riportano le metodologie di calcolo, la prima di progetto da applicare in caso di nuova costruzione o ristrutturazione globale, la seconda da rilievo standard dove bisogna acquisire i dati con rilievi "anche strumentali" (dice la norma, noi aggiungiamo "sempre strumentali") e conoscendo le tecniche costruttive del territorio.

Per la metodologia da rilievo si prevedono tre livelli di approfondimento:

- EPi e EPACS vengono calcolati con delle opportune semplificazioni da abachi e tabelle (valida per tutti gli edifici e per qualsiasi destinazione funzionale e tipologia edilizia);
- EPi e EPACS vengono calcolati con calcolo DoCEt, procedura semplificata dell'ENEA e CNR(solo per edifici residenziali esistenti con superficie utile inferiore a 300 m<sup>2</sup>);
- EPi calcolato con metodo semplificato  $Q_h / A_{pav} * \eta_g$  (vedi allegato 2 del decreto) e EPACS calcolato con norme UNI (per edifici residenziali con superficie utile inferiore a 1.000 m<sup>2</sup>).

### Decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28

Il decreto si occupa di raggiungere l'ambizioso obiettivo della produzione del 17% di energia da fonti rinnovabili e di incentivare l'uso di biocarburanti nel settore dei trasporti.

Si prescrive, in caso di ristrutturazioni globali o nuove costruzioni che il 50% di energia per l'ACS venga soddisfatta da fonti rinnovabili e che globalmente i consumi per il riscaldamento, il raffrescamento e l'ACS vengano coperti da fonti rinnovabili.

Sono previste talune eccezioni che devono essere tecnicamente motivate, oltre che la riduzione del 50% di tutti gli obblighi per gli immobili ricadenti nelle zone A del Decreto ministeriale 2 aprile 1968, n. 1444.

Per il calcolo della potenza da installare per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili si ha la seguente formula:

$$P=S/k$$

dove S è la superficie dell'immobile e k un coefficiente variabile.

Gli edifici pubblici devono raggiungere performance maggiori del 10%. Questi obblighi ci indirizzano già dai prossimi mesi agli edifici ad emissioni quasi zero. Si ricorda che gli incentivi come il conto energia premieranno solo le quote di energie eccedenti i minimi di legge.