

CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA  
RISCALDAMENTO  
REFRIGERAZIONE

# Definizione di criteri per la determinazione di target energetici per il contenimento dei consumi per usi termici negli edifici

V. Corrado

## 1. INTRODUZIONE

Un obiettivo primario della Legge 10/91 è il contenimento dei consumi negli edifici, da realizzarsi in relazione alla loro destinazione d'uso, ai tipi di impianto installati e alla zona climatica.

Prima dell'approvazione della Legge 10/91, il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici era realizzato attraverso le Leggi 373/76 e 645/83 e i relativi decreti di attuazione.

In particolare, la Legge 373/76 riguardava i seguenti punti:

- limite massimo della temperatura interna (20°C);
- limite massimo delle dispersioni termiche dell'edificio, in funzione della tipologia edilizia e della ubicazione;
- limite massimo della potenza dell'impianto di riscaldamento.

La Legge 645/83 poneva, in funzione della zona climatica, un limite alla durata del periodo di riscaldamento e al numero di ore giornaliere di accensione dell'impianto.

In base alla Legge 373/76, il parametro utilizzato per rappresentare le dispersioni termiche di un edificio era il coefficiente volumico di dispersione per trasmissione ( $C_d$ ).

Questo parametro era limitato entro valori ammissibili definiti in funzione del rapporto S/V e dei gradi-giorno della località.

I punti di risparmio energetico caratterizzanti la fase di progettazione dell'edificio erano dunque i seguenti:

- si poneva un limite alle dispersioni piuttosto che ai consumi effettivi;
- gli unici parametri caratterizzanti l'edificio erano il volume e la forma;
- l'unico parametro climatico era costituito dai gradi-giorno.

I limiti del suddetto approccio evidenziano la necessità di una corretta valutazione dei consumi energetici degli edifici e di una conoscenza approfondita dei parametri tecnico-costruttivi e climatici che maggiormente influenzano questi consumi.

L'obiettivo di questo studio è quello di definire criteri generali utili per la determinazione di target energetici per il contenimento dei consumi per riscaldamento negli edifici.

Definizione di criteri per la determinazione di target energetici per il contenimento dei consumi per usi termici negli edifici

## 2. DATI SUI CONSUMI DEL PARCO EDILIZIO ITALIANO

Da studi condotti nell'ambito del "Progetto Finalizzato Energetica 2" del Consiglio Nazionale delle Ricerche su un campione di oltre duemila edifici risulta che il consumo specifico per riscaldamento, normalizzato rispetto al volume e ai gradi-giorno (GG), varia sensibilmente in funzione della zona climatica (tab. I).

**tabella I - consumo specifico medio rilevato per zona climatica ( $10^{-7}$  TEP/m<sup>3</sup> GG)**

Zona climatica	A+B	C	D	E+F	Media generale
Consumo rilevato	11,6	13,0	15,0	15,7	14,9
Scarto quadratico medio	4,5	4,7	4,5	5,4	5,1

Tale risultato sembra essere in contrasto con la normativa vigente per il calcolo dei consumi per riscaldamento (norma UNI 8066), secondo la quale il consumo sarebbe direttamente proporzionale al numero dei gradi-giorno della località.

Secondo la norma UNI 8066, infatti, il consumo medio annuo di combustibile per il riscaldamento di un edificio residenziale è ricavato dalla espressione:

$$G = 86,4 \cdot I \cdot \frac{C_g \cdot V \cdot D^*}{H_i \cdot \text{ETA}}$$

dove  $C_g$  è il coefficiente volumico globale di dispersione,  $I$  è un fattore ( $\leq 1$ ) che tiene conto dell'intermittenza dell'impianto e della capacità termica dell'edificio,  $D^*$  rappresenta i gradi-giorno della località corretti per tener conto di situazioni particolari,  $V$  è il volume riscaldato dell'edificio,  $H_i$  è il potere calorifico del combustibile adottato ed ETA è il rendimento globale dell'impianto di riscaldamento.

La variazione del consumo specifico in funzione della zona climatica non può essere imputata a una variazione del  $C_g$ , che anzi si mantiene pressoché costante nelle diverse zone climatiche (tab. II).

Un risultato interessante si ottiene confrontando i consumi specifici effettivi e i consumi specifici teorici, calcolati secondo la 8066 (tabella III). Questi ultimi sovrastimano di almeno il 30% i valori effettivi, con errori addirittura superiori al 70% nelle zone climatiche più calde.

**tabella II - coefficiente  $C_g$  medio per zona climatica ( $W/m^3 K$ )**

Zona climatica	A+B	C	D	E+F	Media generale
Coefficiente $C_g$	0,89	0,85	0,89	0,87	0,87
Scarto quadratico medio	0,20	0,27	0,20	0,23	0,23

**tabella III - consumo teorico per zona climatica ( $10^{-7}$  TEP/m<sup>3</sup> GG). Confronto tra consumo teorico e consumo rilevato (%)**

Zona climatica	A+B	C	D	E+F	Media generale
Consumo teorico	20,2	19,3	20,2	19,8	19,8
$\frac{C_{teor} - C_{ri}}{C_{ri}} \cdot 100$	74,1	48,5	34,7	26,1	32,9

La discordanza tra i dati rilevati e i dati calcolati è spiegabile se si considera che la normativa vigente ignora l'effetto degli apporti gratuiti di calore sui fabbisogni termici degli edifici. Questi apporti, di origine prevalentemente solare, si dimostrano rilevanti soprattutto nelle zone più calde, come viene dimostrato dai dati sperimentali.

## 3. ANALISI TEORICA DEI FABBISOGNI TERMICI

Il fabbisogno termico di un edificio durante una stagione invernale può essere definito mediante il seguente bilancio di energia:

$$Q = Q_t + Q_v - \eta \cdot (Q_s + Q_i)$$

dove:

- $Q$  = fabbisogno termico dell'edificio
- $Q_t$  = energia termica dispersa per trasmissione
- $Q_v$  = energia termica dispersa per ventilazione
- $Q_s$  = apporti termici solari
- $Q_i$  = apporti termici endogeni
- $\eta$  = fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti

Il fabbisogno termico così definito è depurato da qualsiasi fattore legato alla presenza e alla modalità di conduzione dell'impianto di riscaldamento: viene in-

fatti considerata una temperatura interna costante, pari al suo valore di progetto.

Le componenti del carico termico possono essere così espresse:

$$Q_t = A_1 \cdot S \cdot (T_i - T_e) \cdot t = A_1 \cdot S \cdot GG$$

$$Q_v = A_2 \cdot V \cdot (T_i - T_e) \cdot t = A_2 \cdot V \cdot GG$$

$$Q_s = A_3 \cdot S \cdot I_s \cdot t = A_3 \cdot S \cdot R_t$$

$$Q_i = A_4 \cdot V \cdot t$$

dove:

V = volume riscaldato dell'edificio

S = superficie disperdente dell'edificio

T<sub>i</sub> = temperatura interna

T<sub>e</sub> = temperatura esterna media

I<sub>s</sub> = irradiazione solare media

R<sub>t</sub> = radiazione solare globale

t = durata del periodo di riscaldamento

A<sub>1</sub> è la trasmittanza media dell'involucro dell'edificio.

A<sub>2</sub> rappresenta la media dei ricambi orari per ventilazione.

A<sub>3</sub> dipende dall'orientamento dell'edificio, dalla quantità e disposizione delle superfici vetrate, dall'assorbidività solare media dell'involucro e dall'ombreggiamento dell'edificio.

A<sub>4</sub> è funzione del tipo di utenza dell'edificio.

η dipende dal rapporto (Q<sub>t</sub> + Q<sub>v</sub>)/(Q<sub>s</sub> + Q<sub>i</sub>) e dall'inerzia termica dell'edificio.

Se si normalizza il fabbisogno termico rispetto al volume e ai gradi-giorno, si ottiene:

$$\frac{Q}{V \cdot GG} = A_1 \frac{S}{V} + A_2 - \eta \cdot A_3 \frac{S}{V} \cdot \frac{R_t}{GG} - \eta \cdot A_4 \frac{1}{GG}$$

Da questa espressione emerge che, pur normalizzando il fabbisogno specifico rispetto ai gradi-giorno, si ottiene una variabile non neutra rispetto alle condizioni climatiche.

Considerando l'effetto delle condizioni climatiche su edifici identici, il consumo specifico risulta essere una funzione decrescente delle variabili R<sub>t</sub>/GG e 1/GG.

Queste considerazioni teoriche spiegano la variazione dei consumi specifici in funzione della zona climatica riscontrata nelle analisi del PFE.

#### 4. METODI PER LA STIMA DEI CONSUMI

La stima dei fabbisogni termici di un edificio può essere effettuata con l'ausilio di programmi di calcolo più o meno sofisticati, che simulano i fenomeni di trasmissione del calore, della ventilazione e del funzionamento dell'impianto di riscaldamento negli edifici.

Tuttavia, a causa della notevole complessità dei programmi di simulazione, è spesso consigliabile l'uso di metodi semplificati di calcolo, che producono risultati sufficientemente accurati a fronte di una maggiore semplicità dei dati di input richiesti.

Tra i metodi semplificati di calcolo meritano un cenno particolare quello implementato dal Comitato Termotecnico Italiano (metodo Fracastoro) e quello implementato in sede europea dal Comitato Europeo di Normalizzazione TC 89 (metodo CEN). La principale ipotesi semplificativa assunta da ambedue i metodi di calcolo consiste nella sostituzione delle grandezze variabili con continuità nel tempo con degli opportuni valori mediati. In base a questa ipotesi, i due metodi prevedono il calcolo di bilanci energetici in regime stazionario.

La figura 1 mostra il bilancio energetico annuale di un edificio secondo il metodo CEN: ogni flusso dello schema rappresenta un termine dell'equazione del bilancio termico.

I parametri, presi in considerazione nel metodo CEN, che contribuiscono al fabbisogno termico di un edificio sono i seguenti:

- clima esterno (temperatura, radiazione solare, vento);
- elementi esterni all'edificio (schermi al vento, ombre ecc.);
- coefficiente di dispersione termica per trasmissione;
- coefficiente di dispersione termica per ventilazione;
- temperatura interna di progetto;
- caratteristiche solari dell'edificio (orientamento, area e trasmittanza solare di elementi trasparenti e di altri dispositivi passivi);
- apporti gratuiti di origine endogena da persone, apparecchi di cottura, illuminazione e macchine elettriche;
- caratteristiche dell'impianto di riscaldamento, comprendente i generatori, la rete di distribuzione, i terminali di emissione, il sistema di regolazione, le apparecchiature ausiliarie e i sistemi di recupero del calore.

#### 5. CALCOLO DEI FABBISOGNI TERMICI

Utilizzando un programma di calcolo basato sul metodo CEN, si è analizzato l'andamento dei fabbisogni termici annuali per alcune tipologie edilizie in funzione dei parametri tecnico-costruttivi e climatici più significativi.

Definizione di criteri per la determinazione di target energetici per il contenimento dei consumi per usi termici negli edifici

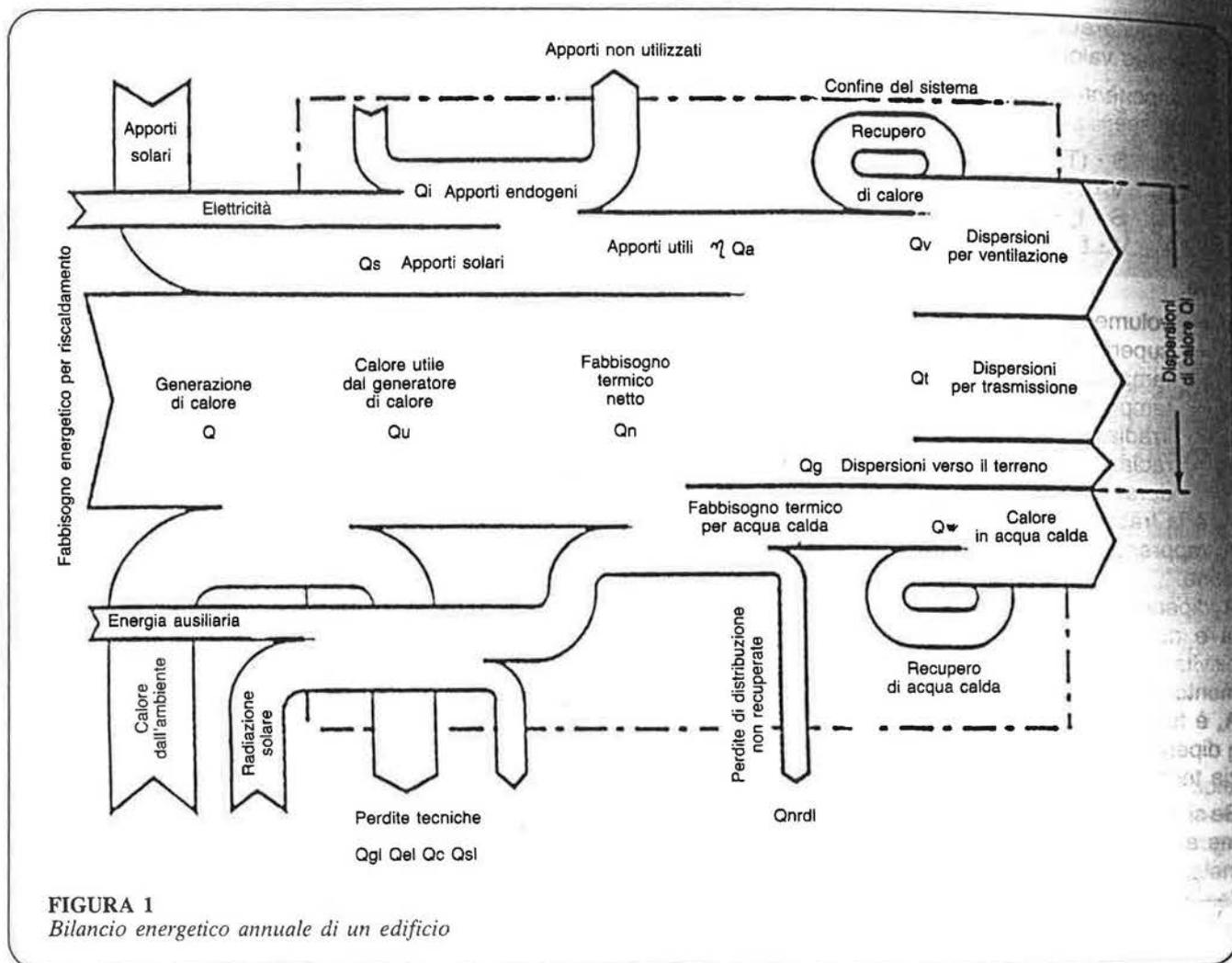


FIGURA 1  
Bilancio energetico annuale di un edificio

Al fine di rappresentare le più comuni tipologie edilizie residenziali, sono stati definiti i seguenti edifici-tipo:

- edificio monofamiliare;
- edificio a schiera;
- edificio multipiano.

Le seguenti caratteristiche sono comuni a tutti gli edifici considerati:

- ubicazione in periferia;
- destinazione completamente residenziale;
- angolo di ostruzione rispetto all'orizzontale pari a  $10^\circ$  per tutti gli orientamenti;
- serramenti in legno di classe A1, con vetro semplice, dotati di cassonetto e di schermi manuali;
- pareti opache con isolamento ripartito;
- tetto isolato a diretto contatto con l'ambiente riscal-

dato;

- temperatura interna di progetto =  $20^\circ\text{C}$ .

Le differenze fra i tre edifici sono schematizzate in tabella IV.

I tre edifici oggetto di studio sono stati situati nelle seguenti località italiane appartenenti a diverse zone climatiche:

- Torino;
- Ancona;
- Napoli;
- Messina.

La tabella V rappresenta i principali parametri climatici di legge delle suddette località.

Per ciascun edificio è stato ipotizzato un livello di isolamento tale da rispettare le prescrizioni del D.M. 30

**tabella IV - caratteristiche costruttive dei tre edifici-tipo**

		Edificio mono-familiare	Edificio a schiera	Edificio multi-piano
Volume lordo riscaldato (m <sup>3</sup> )		960	3000	5270
Superficie disperdente (m <sup>2</sup> )		632	1720	1866
Altezza dell'edificio (m)		6	8	15
Superficie di pavimento (m <sup>2</sup> )		320	1000	1357
Superfici vetrate (m <sup>2</sup> )	S, N	21	67	72
	E, O	13	13	46
Superfici opache (m <sup>2</sup> )	S, N	75	233	253
	E, O	47	47	162

**tabella V - parametri climatici principali delle località scelte**

Località	Zona climatica	Grad-giorno di legge	Temperatura di progetto (°C)	Ore di accensione giorn.
Torino	E	2570	-8	14
Ancona	D	1590	-2	12
Napoli	B	880	+2	8
Messina	A	330	+5	6

luglio 1986. La tabella VI riporta, per ciascun edificio e località considerati, il valore del coefficiente volumico di dispersione termica per trasmissione ( $C_d$ ).

Per ciascuno dei tre edifici e per ciascuna delle quattro località è stato ricavato il fabbisogno termico annuo secondo i seguenti tre metodi:

- Metodo CEN;
- Norma UNI 8066;
- Espressione semplificata secondo la quale  $Q=86,4 \cdot C_g \cdot V \cdot GG$ .

I fabbisogni termici così calcolati sono riportati nella tabella VII, nella quale i valori ricavati dal metodo CEN sono considerati come dati di riferimento.

Sulla base dei risultati riportati nella tabella VII è possibile fare alcune importanti considerazioni:

- le differenze tra i fabbisogni termici calcolati secondo la norma UNI 8066 e quelli calcolati secondo il metodo CEN confermano i risultati dei dati sperimentali rilevati nelle analisi del PFE;
- queste differenze variano sensibilmente in funzione della zona climatica (gradi-giorno), molto meno in funzione della forma e del volume dell'edificio (rapporto S/V).

Correlando i dati dell'ultima colonna della tabella VII secondo un metodo di regressione lineare è possibile esprimere in funzione dei gradi-giorno l'errore percentuale medio che si commette stimando il fabbisogno termico di un edificio mediante la formula semplificata  $Q=86,4 \cdot V \cdot GG$ :

$$ERR\% = 86,4 - 0,0174 \cdot GG$$

## 6. CRITERI DI OTTIMIZZAZIONE

Le scelte progettuali e i parametri tecnico-costruttivi che influenzano i fabbisogni termici degli edifici possono essere ottimizzati sulla base di valutazioni economiche.

La redditività di investimenti in tecnologie che utilizzano fonti rinnovabili di energia o che realizzano un contenimento dei consumi energetici può essere valutata mediante il calcolo del "valore attuale netto" (VAN) dell'investimento.

L'ottimizzazione dei parametri tecnico-costruttivi consiste nel calcolare i valori di tali parametri che rendono massimo il valore attuale netto dell'investimento.

Nell'architettura tradizionale i principali interventi operati sull'involucro edilizio per il contenimento dei fabbisogni termici consistono nella coibentazione delle superfici opache e nell'applicazione di serramenti con vetro-camera.

I benefici annui dovuti all'applicazione di uno strato di materiale coibente o di un vetro-camera, utilizzati nel calcolo del VAN, corrispondono al costo dell'energia risparmiata per le minori dispersioni rispetto ai casi base di superficie opaca non coibentata o superficie vetrata con vetro singolo.

Il VAN dell'investimento di coibentazione di una superficie opaca può essere espresso in funzione dello spessore di isolante adottato:

$$VAN = \left( \frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_i + s/k} \right) \cdot GG \cdot 24 \cdot C_u \cdot F_a - C_o - (C_m + C_{su}) \cdot s$$

Definizione di criteri per la determinazione di target energetici per il contenimento dei consumi per usi termici negli edifici

**tabella IV - caratteristiche costruttive dei tre edifici-tipo**

		Edificio mono-familiare	Edificio a schiera	Edificio multi-piano
Volume lordo riscaldato (m <sup>3</sup> )		960	3000	5270
Superficie disperdente (m <sup>2</sup> )		632	1720	1866
Altezza dell'edificio (m)		6	8	15
Superficie di pavimento (m <sup>2</sup> )		320	1000	1357
Superfici vetrate (m <sup>2</sup> )	S, N	21	67	72
	E, O	13	13	46
Superfici opache (m <sup>2</sup> )	S, N	75	233	253
	E, O	47	47	162

**tabella V - parametri climatici principali delle località scelte**

Località	Zona climatica	Gradi-giorno di legge	Temperatura di progetto (°C)	Ore di accensione giorn.
Torino	E	2570	-8	14
Ancona	D	1590	-2	12
Napoli	B	880	+2	8
Messina	A	330	+5	6

glio 1986. La tabella VI riporta, per ciascun edificio e località considerati, il valore del coefficiente volumico dispersione termica per trasmissione ( $C_d$ ).

per ciascuno dei tre edifici e per ciascuna delle quattro località è stato ricavato il fabbisogno termico annuo secondo i seguenti tre metodi:

Metodo CEN;

Norma UNI 8066;

Espressione semplificata secondo la quale  $Q=86,4 \cdot C_g \cdot V \cdot GG$ .

I fabbisogni termici così calcolati sono riportati nella tabella VII, nella quale i valori ricavati dal metodo CEN sono considerati come dati di riferimento.

Sulla base dei risultati riportati nella tabella VII è possibile fare alcune importanti considerazioni:

- le differenze tra i fabbisogni termici calcolati secondo la norma UNI 8066 e quelli calcolati secondo il metodo CEN confermano i risultati dei dati sperimentali rilevati nelle analisi del PFE;
- queste differenze variano sensibilmente in funzione della zona climatica (gradi-giorno), molto meno in funzione della forma e del volume dell'edificio (rapporto S/V).

Correlando i dati dell'ultima colonna della tabella VII secondo un metodo di regressione lineare è possibile esprimere in funzione dei gradi-giorno l'errore percentuale medio che si commette stimando il fabbisogno termico di un edificio mediante la formula semplificata  $Q=86,4 \cdot V \cdot GG$ :

$$ERR\% = 86,4 - 0,0174 \cdot GG$$

## 6. CRITERI DI OTTIMIZZAZIONE

Le scelte progettuali e i parametri tecnico-costruttivi che influenzano i fabbisogni termici degli edifici possono essere ottimizzati sulla base di valutazioni economiche.

La redditività di investimenti in tecnologie che utilizzano fonti rinnovabili di energia o che realizzano un contenimento dei consumi energetici può essere valutata mediante il calcolo del "valore attuale netto" (VAN) dell'investimento.

L'ottimizzazione dei parametri tecnico-costruttivi consiste nel calcolare i valori di tali parametri che rendono massimo il valore attuale netto dell'investimento.

Nell'architettura tradizionale i principali interventi operati sull'involucro edilizio per il contenimento dei fabbisogni termici consistono nella coibentazione delle superfici opache e nell'applicazione di serramenti con vetro-camera.

I benefici annui dovuti all'applicazione di uno strato di materiale coibente o di un vetro-camera, utilizzati nel calcolo del VAN, corrispondono al costo dell'energia risparmiata per le minori dispersioni rispetto ai casi base di superficie opaca non coibentata o superficie vetrata con vetro singolo.

Il VAN dell'investimento di coibentazione di una superficie opaca può essere espresso in funzione dello spessore di isolante adottato:

$$VAN = \left( \frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_i + s/k} \right) \cdot GG \cdot 24 \cdot C_u \cdot F_a - C_o - (C_m + C_{su}) \cdot s$$

**tabella VI - schema dei coefficienti di dispersione termica**

	S/V (m <sup>-1</sup> )	CD (W/m <sup>2</sup> K)			
		Torino	Ancona	Napoli	Messina
Ed. monofamiliare	0,66	0,60	0,73	0,87	0,93
Ed. a schiera	0,57	0,55	0,67	0,79	0,84
Ed. multipiano	0,35	0,41	0,51	0,60	0,63

dove:

$R_i$  = resistenza termica iniziale della parete (m<sup>2</sup>·K/W);  
 $k$  = conduttività del materiale isolante (W/m K);  
 $s$  = spessore di materiale isolante (m);  
 $GG$  = gradi-giorno della località (K·gg);  
 $F_a$  = fattore di annualità;  
 $C_u$  = costo dell'energia utile (Lit/Wh);  
 $C_o$  = costo di posa in opera dell'isolamento (Lit/m<sup>2</sup>);  
 $C_m$  = costo del materiale isolante (Lit/m<sup>3</sup>);  
 $C_{su}$  = costo della superficie utile (Lit/m<sup>3</sup>).

Lo spessore ottimale di materiale coibente utilizzato per l'isolamento dell'involucro di un edificio può essere ricavato derivando l'espressione del valore attuale netto rispetto alla variabile  $s$  in modo da determinare un massimo della funzione VAN:

$$s_{ott} = \sqrt{C_u \cdot 24 \cdot GG \cdot F_a \cdot k / (C_m + C_{su})} - R_i \cdot k$$

Il valore di  $s_{ott}$  è stato ricavato in funzione dei gradi-giorno, distinguendo tra superfici verticali e superfici

orizzontali, nelle due ipotesi di vita efficace del coibente pari a 15 e 30 anni (tab. VIII). Si sono assunte le seguenti ipotesi:

- tasso di interesse reale:  $r = 5\%$ ;
- vita efficace del coibente:  $t = 15/30$  anni;
- $C_u = 0,134$  Lit/Wh;
- $C_m = 140.000$  Lit/m<sup>2</sup> (per le superfici verticali);
- $C_m = 480.000$  Lit/m<sup>2</sup> (per le superfici orizzontali);
- $C_{su} = 625.000$  Lit/m<sup>2</sup> (solo per le superfici verticali);
- $R_i = 0,60$  m<sup>2</sup>·K/W;
- $k = 0,043$  W/m K (per le superfici verticali);
- $k = 0,035$  W/m K (per le superfici orizzontali).

Il VAN dell'investimento di applicazione del vetro-camera rispetto al vetro singolo vale:

$$VAN = C_u \cdot GG \cdot (K_{1f} - K_{2f}) \cdot F_a - (I_2 - I_1)$$

**tabella VII - confronto tra fabbisogni termici specifici**

Tipol.	Loc.	$C_a$ legge 373 W/m <sup>2</sup> K	CEN		Norma UNI 8066		$C_a \cdot 86,4$	
			Fabb. term. kJ/m <sup>2</sup> GG	Fabb. term. kJ/m <sup>2</sup> GG	Variaz. %	Fabb. term. kJ/m <sup>2</sup> GG	Variaz. %	
Monofam.	TO	0,60	46,77	53,80	+15,0	66,96	+43,2	
	AN	0,73	49,40	64,77	+31,1	78,19	+56,3	
	NA	0,87	51,14	77,03	+50,6	90,29	+76,6	
	ME	0,93	52,62	94,39	+79,4	95,47	+81,4	
Schiera	TO	0,55	44,25	50,33	+13,7	62,64	+41,6	
	AN	0,67	46,68	60,47	+29,5	73,01	+56,4	
	NA	0,79	48,03	71,13	+48,1	83,38	+73,5	
	ME	0,84	49,78	86,70	+74,2	87,70	+76,2	
Multip.	TO	0,41	35,90	40,61	+13,1	50,54	+40,8	
	AN	0,51	38,02	49,02	+28,9	59,18	+55,7	
	NA	0,60	38,49	57,13	+48,4	66,96	+74,0	
	ME	0,63	38,93	68,76	+76,6	69,55	+78,7	

**tabella VIII - spessori ottimali di isolamento**

Gradi-giorno (K.gg)	Spessori ottimali di isolamento (cm)			
	Superfici verticali		Superfici orizzontali	
	t=15 anni	t=30 anni	t=15 anni	t=30 anni
600	0,78	1,50	1,72	2,55
900	1,53	2,42	2,58	3,60
1400	2,55	3,66	3,74	5,00
2100	3,70	5,06	5,05	6,60
3000	4,92	6,55	6,45	8,30

dove:

$K_{1f}$  = trasmittanza media giorno/notte dell'infisso con vetro semplice ( $W/m^2 K$ );

$K_{2f}$  = trasmittanza media giorno/notte dell'infisso con vetro-camera ( $W/m^2 K$ );

$I_1$  = costo dell'infisso con vetro semplice;

$I_2$  = costo dell'infisso con vetro-camera.

La convenienza di applicare il vetro-camera sussiste per i valori di GG che rendono positiva l'espressione del VAN sopra definita. Da studi condotti secondo la metodologia sopra descritta [3] risulta essere conveniente l'uso del vetro-camera nelle località con un numero di gradi-giorno maggiore di 1150 (vale a dire nelle zone climatiche D, E ed F).

Nei calcoli precedenti il costo dell'energia utile ( $C_u$ ) è stato calcolato mediante la formula:

$$C_u = C_c / (P_c \cdot \text{ETA})$$

dove:

$C_c$  = costo del combustibile = 1200 Lit/kg;

$P_c$  = potere calorifico del combustibile = 43 MJ/kg;

ETA = 0,75.

Questo calcolo presuppone che tutta l'energia termica dispersa attraverso l'involucro dell'edificio sia bilanciata da calore prodotto dall'impianto di riscaldamento. In realtà, parte di questa energia è fornita gratuitamente da apporti di calore endogeni e solari.

Inoltre non si tiene conto della riduzione delle dispersioni dovuta all'intermittenza dell'impianto.

Per tenere conto dei consumi effettivi, si dovrebbe assegnare un costo  $C_u$  solo alla parte di energia dispersa che viene effettivamente bilanciata dall'impianto.

Questo risultato può essere ottenuto sostituendo al parametro gradi-giorno un suo valore ridotto.

In tabella IX sono riportati gli spessori ottimali di isolamento ricavati, sulla base dei risultati della tabella VII, utilizzando il parametro "gradi-giorno corretti" espresso come:

$$GG^* = \frac{GG}{1,864 - 0,000174 \cdot GG}$$

Sulla base degli spessori ottimali di isolamento calcolati, è possibile ricavare il valore ottimale del coefficiente  $C_d$  per un determinato edificio in funzione dei gradi-giorno.

In realtà il  $C_d$  ottimale dipende anche dalle caratteristiche dimensionali dell'edificio e degli elementi del suo involucro. Un'analisi di sensibilità ha evidenziato che i parametri influenzanti maggiormente il  $C_d$  ottimale sono la superficie disperdente (S) e la superficie vetrata ( $S_v$ ) dell'edificio.

L'influenza dell'ampiezza della superficie vetrata sul valore del  $C_d$  ottimale è evidenziata per diversi valori dei gradi-giorno dalle figure 2, 3 e 4, nelle quali il  $C_d$  ottimale è stato ricavato sulla base dei consumi effettivi (gradi-giorno corretti) nell'ipotesi di vita efficace del coibente pari a 30 anni.

Nel calcolo sono state adottate le seguenti ipotesi:

**tabella IX - spessori ottimali di isolamento ricavati con i gradi-giorno corretti**

Gradi-giorno (K.gg)	Gradi-giorno modif.	Spessori ottimali di isolamento (cm)			
		Superfici verticali		Superfici orizzontali	
		t=15 anni	t=30 anni	t=15 anni	t=30 anni
600	341	-	0,50	0,78	1,41
900	527	0,56	1,25	1,48	2,26
1400	864	1,45	2,32	2,49	3,48
2100	1401	2,55	3,66	3,74	5,01
3000	2235	3,90	5,30	5,28	6,88

Definizione di criteri per la determinazione di target energetici per il contenimento dei consumi per usi termici negli edifici

- rapporto tra superfici coibentate orizzontali e verticali  $S_b/S_a = 0,3$ ;
- incidenza dei ponti termici sulle dispersioni totali = 15%.

Nelle tabelle X, XI e XII sono riportati i valori dei  $C_d$  ottimali calcolati sulla base delle dispersioni termiche e dei consumi effettivi, nelle due ipotesi di vita efficace del coibente pari a 15 anni e 30 anni.

La variazione del  $C_d$  ottimale è espressa in funzione di:

- gradi-giorno (GG);

CD OTTIMALI SULLA BASE DEI CONSUMI EFFETTIVI

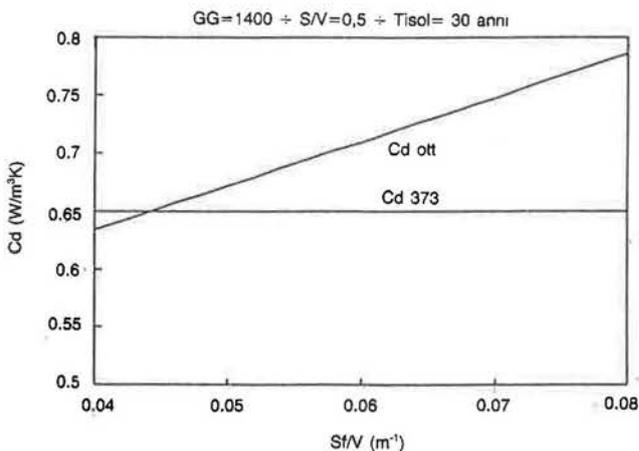


FIGURA 2  
 $C_d$  ottimali in funzione del rapporto  $S_f/V$  per GG=1400

CD OTTIMALI SULLA BASE DEI CONSUMI EFFETTIVI

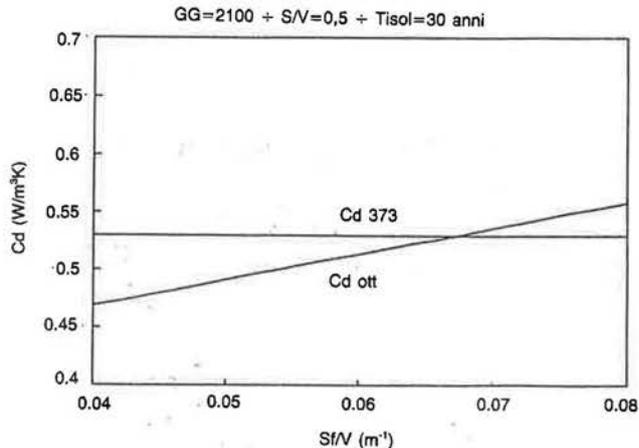


FIGURA 3  
 $C_d$  ottimali in funzione del rapporto  $S_f/V$  per GG=2100

CD OTTIMALI SULLA BASE DEI CONSUMI EFFETTIVI

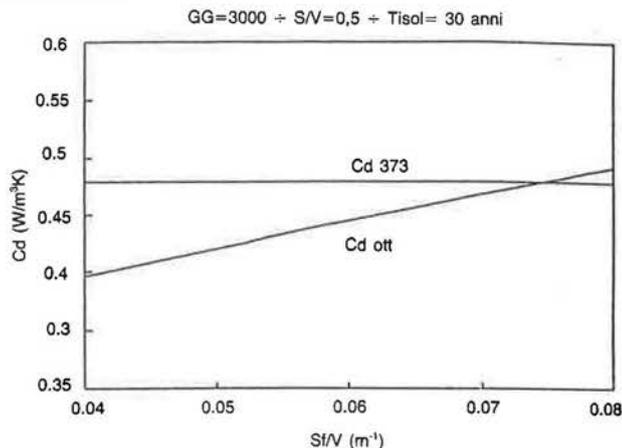


FIGURA 4  
 $C_d$  ottimali in funzione del rapporto  $S_f/V$  per GG=3000

- rapporto tra superficie disperdente e volume ( $S/V$ );
- rapporto tra superficie vetrata e volume riscaldato ( $S_f/V$ ).

## 7. CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati del presente lavoro è possibile trarre alcune importanti conclusioni, utili per la determinazione di target energetici di edifici.

- La qualificazione energetica di un edificio deve essere basata sul reale fabbisogno termico, piuttosto che sulle dispersioni attraverso l'involucro.
- Per una stima corretta del fabbisogno termico si deve eseguire un bilancio energetico completo, che tenga conto anche degli apporti gratuiti di origine solare ed endogena. La normativa attuale (UNI 8066) si dimostra assolutamente inadeguata.
- Si può raggiungere un buon grado di accuratezza anche utilizzando metodi semplificati di calcolo per la stima dei fabbisogni termici. Il metodo CEN, oltre a presentare una buona affidabilità, ha il vantaggio di essere riconosciuto a livello internazionale.
- Anche l'ottimizzazione di parametri tecnico-costruttivi dell'edificio (grado di coibentazione, tipo di vetro ecc.) secondo valutazioni economiche deve essere basata sui fabbisogni termici effettivi: deve quindi tenere conto anche degli apporti gratuiti e dell'intermittenza dell'impianto di riscaldamento.
- L'ottimizzazione del coefficiente  $C_d$  dipende, oltre che da parametri climatici e tecnico-costruttivi, an-

tabella X - valori dei  $C_d$  ottimali per  $S_f/V = 1/24$

$\frac{S}{V}$	Gradi-giorno (K. gg)	$C_d$ legge 373 ( $W/m^3 K$ )	$C_d$ ottimali ( $W/m^3 K$ )			
			GG interi		GG ridotti	
			t = 15 anni	t = 30 anni	t = 15 anni	t = 30 anni
0,20	600	0,49	0,42	0,38	0,49	0,44
	900	0,46	0,38	0,35	0,44	0,39
	1400	0,42	0,27	0,25	0,38	0,35
	2100	0,34	0,24	0,22	0,27	0,25
	3000	0,30	0,23	0,21	0,24	0,22
0,30	600	0,59	0,56	0,50	0,67	0,60
	900	0,55	0,50	0,44	0,59	0,52
	1400	0,50	0,36	0,32	0,50	0,45
	2100	0,40	0,32	0,29	0,36	0,32
	3000	0,36	0,29	0,26	0,31	0,28
0,40	600	0,68	0,70	0,61	0,86	0,75
	900	0,64	0,61	0,54	0,74	0,64
	1400	0,57	0,46	0,40	0,62	0,54
	2100	0,47	0,40	0,35	0,46	0,40
	3000	0,42	0,35	0,31	0,39	0,34
0,50	600	0,78	0,84	0,73	1,04	0,90
	900	0,73	0,73	0,63	0,89	0,76
	1400	0,65	0,55	0,47	0,74	0,64
	2100	0,53	0,47	0,41	0,55	0,47
	3000	0,48	0,41	0,36	0,46	0,40
0,60	600	0,87	0,98	0,84	1,22	1,06
	900	0,81	0,84	0,73	1,04	0,89
	1400	0,72	0,64	0,55	0,85	0,74
	2100	0,59	0,55	0,47	0,64	0,55
	3000	0,55	0,48	0,41	0,53	0,46
0,70	600	0,97	1,13	0,96	1,41	1,21
	900	0,90	0,96	0,82	1,19	1,01
	1400	0,80	0,73	0,62	0,97	0,83
	2100	0,65	0,62	0,53	0,73	0,62
	3000	0,61	0,54	0,47	0,61	0,52
0,80	600	1,06	1,27	1,08	1,59	1,36
	900	0,99	1,07	0,92	1,34	1,13
	1400	0,87	0,82	0,70	1,09	0,93
	2100	0,72	0,70	0,59	0,82	0,70
	3000	0,67	0,60	0,52	0,68	0,58
0,90	600	1,16	1,41	1,19	1,78	1,52
	900	1,08	1,19	1,01	1,49	1,26
	1400	0,95	0,92	0,78	1,21	1,03
	2100	0,78	0,77	0,66	0,92	0,78
	3000	0,73	0,67	0,57	0,75	0,64

che da caratteristiche morfologiche dell'edificio (rapporto S/V, superficie finestrata ecc.). Non considerare tale dipendenza, o considerarla in modo non corretto, significa penalizzare alcune tipologie edilizie o alcuni elementi dell'involucro rispetto ad altri.

- In particolare, i valori di  $C_d$  imposti dalla Legge 373/76 penalizzano gli edifici molto articolati e gli edifici piccoli (alto valore di S/V), ed inoltre gli edifici con ampie superfici vetrate. Specialmente questa ulti-

ma penalizzazione non appare sempre giustificata, se si considera che gli apporti utilizzabili di calore attraverso una finestra possono spesso superare le dispersioni termiche.

- Infine, rispetto ai valori ottimali ricavati tenendo conto degli apporti gratuiti e dell'intermittenza, i valori di  $C_d$  imposti dalla Legge 373/76 si dimostrano troppo ridotti particolarmente nelle zone climatiche calde.

Definizione di criteri per la determinazione di target energetici per il contenimento dei consumi per usi termici negli edifici

tabella XI - valori dei  $C_d$  ottimali per  $S_f/V = 1/20$

$\frac{S}{V}$	Gradi-giorno (K. gg)	$C_d$ legge 373 ( $W/m^3 K$ )	$C_d$ ottimali ( $W/m^3 K$ )			
			GG interi		GG ridotti	
			t = 15 anni	t = 30 anni	t = 15 anni	t = 30 anni
0,20	600	0,49	0,45	0,41	0,51	0,47
	900	0,46	0,41	0,38	0,46	0,42
	1400	0,42	0,29	0,26	0,41	0,38
	2100	0,34	0,26	0,24	0,29	0,26
	3000	0,30	0,25	0,23	0,26	0,24
0,30	600	0,59	0,59	0,53	0,70	0,62
	900	0,55	0,53	0,47	0,61	0,55
	1400	0,50	0,38	0,34	0,53	0,48
	2100	0,40	0,34	0,31	0,38	0,34
	3000	0,36	0,31	0,28	0,33	0,30
0,40	600	0,68	0,73	0,64	0,88	0,78
	900	0,64	0,64	0,57	0,76	0,67
	1400	0,57	0,47	0,42	0,65	0,58
	2100	0,47	0,41	0,37	0,47	0,42
	3000	0,42	0,37	0,33	0,41	0,36
0,50	600	0,78	0,87	0,76	1,07	0,93
	900	0,73	0,76	0,66	0,91	0,79
	1400	0,65	0,57	0,49	0,77	0,67
	2100	0,53	0,49	0,43	0,57	0,49
	3000	0,48	0,43	0,38	0,48	0,42
0,60	600	0,87	1,01	0,87	1,25	1,08
	900	0,81	0,87	0,76	1,06	0,92
	1400	0,72	0,66	0,57	0,88	0,77
	2100	0,59	0,56	0,49	0,66	0,57
	3000	0,55	0,50	0,44	0,55	0,48
0,70	600	0,97	1,15	0,99	1,43	1,24
	900	0,90	0,99	0,85	1,22	1,04
	1400	0,80	0,75	0,64	1,00	0,87
	2100	0,65	0,64	0,55	0,75	0,64
	3000	0,61	0,56	0,49	0,62	0,54
0,80	600	1,06	1,29	1,11	1,62	1,39
	900	0,99	1,10	0,95	1,37	1,16
	1400	0,87	0,84	0,72	1,12	0,98
	2100	0,72	0,72	0,61	0,84	0,72
	3000	0,67	0,62	0,54	0,70	0,60
0,90	600	1,16	1,44	1,22	1,80	1,54
	900	1,08	1,22	1,04	1,52	1,29
	1400	0,95	0,93	0,79	1,24	1,06
	2100	0,78	0,79	0,68	0,93	0,79
	3000	0,73	0,69	0,59	0,77	0,66

## Bibliografia

- [1] CNR-PFE, "Dati climatici per la progettazione edile ed impiantistica", Roma, febbraio 1982.
- [2] CNR-PFE, "Il Riscaldamento nell'edilizia residenziale: consumi attuali e possibilità di risparmio", Roma, dicembre 1985.
- [3] Del Bufalo S., Ferrari G., Romani R., "L'ottimizzazione economica dei coefficienti volumici", Modulo n. 131, 5-87.
- [4] CTI, "Calcolo per la qualificazione energetica degli edifici e degli impianti di riscaldamento", La Termotecnica, gennaio 1989.
- [5] CEN TC 89 - WG4, "Residential Buildings Energy Requirements for Heating Calculation Method", document n. 61, aprile 1991.

tabella XII - valori dei  $C_o$  ottimali per  $S_r/V = 1/16$

$\frac{S}{V}$	Gradi-giorno (K. gg)	$C_o$ legge 373 ( $W/m^2 K$ )	$C_o$ ottimali ( $W/m^2 K$ )			
			GG interi		GG ridotti	
			t = 15 anni	t = 30 anni	t = 15 anni	t = 30 anni
0,20	600	0,49	0,49	0,46	0,55	0,51
	900	0,46	0,46	0,43	0,50	0,47
	1400	0,42	0,32	0,29	0,46	0,43
	2100	0,34	0,29	0,27	0,31	0,29
	3000	0,30	0,27	0,26	0,29	0,27
0,30	600	0,59	0,63	0,57	0,73	0,66
	900	0,55	0,57	0,52	0,65	0,59
	1400	0,50	0,41	0,37	0,58	0,53
	2100	0,40	0,37	0,34	0,41	0,37
	3000	0,36	0,34	0,31	0,36	0,33
0,40	600	0,68	0,77	0,69	0,92	0,82
	900	0,64	0,69	0,62	0,80	0,71
	1400	0,57	0,50	0,44	0,69	0,62
	2100	0,47	0,44	0,40	0,50	0,44
	3000	0,42	0,40	0,36	0,43	0,39
0,50	600	0,78	0,91	0,80	1,10	0,97
	900	0,73	0,80	0,71	0,96	0,84
	1400	0,65	0,59	0,52	0,81	0,72
	2100	0,53	0,52	0,46	0,59	0,52
	3000	0,48	0,46	0,41	0,51	0,45
0,60	600	0,87	1,05	0,92	1,29	1,12
	900	0,81	0,92	0,81	1,11	0,96
	1400	0,72	0,68	0,60	0,93	0,82
	2100	0,59	0,59	0,52	0,68	0,60
	3000	0,55	0,53	0,47	0,58	0,51
0,70	600	0,97	1,20	1,04	1,47	1,28
	900	0,90	1,03	0,90	1,26	1,09
	1400	0,80	0,78	0,67	1,05	0,91
	2100	0,65	0,67	0,58	0,78	0,67
	3000	0,61	0,59	0,52	0,65	0,57
0,80	600	1,06	1,34	1,15	1,65	1,43
	900	0,99	1,15	0,99	1,41	1,21
	1400	0,87	0,87	0,75	1,16	1,01
	2100	0,72	0,74	0,64	0,87	0,75
	3000	0,67	0,65	0,57	0,73	0,63
0,90	600	1,16	1,48	1,27	1,84	1,58
	900	1,08	1,26	1,09	1,56	1,33
	1400	0,95	0,96	0,82	1,28	1,11
	2100	0,78	0,82	0,71	0,96	0,82
	3000	0,73	0,72	0,62	0,80	0,69

### Call for paper

Si richiede l'invio di relazioni per il Convegno AICARR che si svolgerà a Bari nei giorni 8 e 9 ottobre 1992 sul tema "Il riscaldamento ed il gas naturale".

Il riassunto, di non oltre 30 righe dattiloscritte, dovrà pervenire alla Segreteria dell'AICARR entro il 5 giugno 1992. I testi delle relazioni, completi di illustrazioni, dovranno essere consegnati entro il 1° settembre 1992.