

Interpretazione del test di tenuta all'aria - Blower door test

April 13, 2014

Scopo

1. come interpretare i risultati di un Blower Door Test (BDT) in termini di energia termica gravante sulla prestazione dell'involucro;
2. come migliorare le procedure vigenti al fine di massimizzare i risultati e sensibilizzare tutti gli attori del processo edilizio al conseguimento di un miglioramento continuo delle prestazioni energetiche (verso il 2020) e della durabilità degli edifici.

Teoria

Il BDT considera una differenza di pressione $P_{ext} - P_{int} = \Delta P = 50Pa$ (equivalente a $\omega_{BDT} = 9 \frac{m}{s}$); tal valore non si rifà a condizioni reali.

E' opportuno ipotizzare una condizione locale di riferimento. Su territorio trentino la ventosità media giornaliera può essere considerata $\omega_{Media} = 1.36 \frac{m}{s}$ (che corrisponde a $\Delta P = 1.11Pa$)¹.

Calcolo del rapporto tra BDT e condizione reale

Relazione $\Delta P(\omega)$:	$\Delta P = k \cdot \rho \cdot \omega^2$
Relazione $\Theta(\Delta P)$:	$\Theta = l \cdot a \cdot (\Delta P)^{\frac{2}{3}}$
Relazione $n(\Theta)$:	$n_{\Delta P} = \frac{\Theta}{V_L}$
Rapporto di riferimento:	$\frac{n_{1.11}}{n_{50}} = 0.08 \approx 0.1$
Relazione di riferimento:	$n_{1.11} \approx 10\% \cdot n_{50}$

ΔP	differenza di pressione [Pa]
k	fattore di forma
ρ	densità dell'aria [$\frac{kg}{m^3}$]
ω	velocità del vento [$\frac{m}{s}$]
Θ	portata d'aria [$\frac{m^3}{h}$]
V_L	volume [m^3]
a	portata infiltrazione [$\frac{m^3}{hmPa^{\frac{2}{3}}}$]
l	lunghezza infiltrazione [m]
$n_{\Delta P}$	volumi di infiltrazione [$\frac{1}{h}$]

Relazione energia termica dispersa:

$$\Phi = \frac{\alpha \cdot V \cdot \rho_a \cdot c \cdot 24 \cdot GG}{3600 \cdot 1000 \cdot S} \quad (1)$$

¹Vedi Allegato #6 MeteoTrentino. E' stato confermato che la norma tedesca del Passive Institute relaziona pure ΔP con ω dei dati meteo locali, CasaClima no.

$$\alpha = (n_{50} - n_{limite}) \cdot \left(\frac{\omega_{1.36} \frac{m}{s}}{\omega_9 \frac{m}{s}} \right)^{\frac{4}{3}} = (n_{50} - n_{limite}) \cdot \left(\frac{\Delta P_{1.11}}{\Delta P_{50}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$\Delta P_{1.11}$ infiltrazioni reali [$\frac{1}{h}$]
 ΔP_{50} definito in funzione del vento medio locale [Pa]²
 GG definito dal BDT a n50 [Pa]
 ρ_a 2567 [°C]
 c_a densità dell'aria [$\frac{kg}{m^3}$]
 0.33 calore specifico a pressione costante dell'aria [$\frac{J}{kgK}$]
 Φ $\frac{\rho_a \cdot c_a}{3600}$ flusso energia termica [$\frac{kWh}{m^2a}$]

Esempio

$$S = 90m^2; V = 243m^3; n_{50} = 2; n_{limite} = 1.5 \rightarrow \Phi = 2.7 \frac{kWh}{m^2a}$$

$$S = 90m^2; V = 243m^3; n_{50} = 2.5; n_{limite} = 1.5 \rightarrow \Phi = 5.4 \frac{kWh}{m^2a}$$

Risultati

Ciò significa che considerando $n_{50} = 1 \frac{vol}{h} \rightarrow n_{reale} = 0.1 \frac{vol}{h}$. La formula per penalizzazione ricavata è la seguente:

$$EP_{gl-efettivo} = EP_{gl-costruito} + (n_{50} - n_{limite}) \cdot 5$$

$EP_{gl-efettivo}$	fabbisogno di energia reale classe
$EP_{gl-costruito}$	fabbisogno di energia di progetto considerante $0.3 \frac{1}{h}$ di legge
n_{50}	$\frac{Vol}{h}$ del BDT
n_{limite}	valore limite vigente
5	$[\frac{kWh}{m^2a} \cdot \frac{Vol}{h}]$

In parole, per ogni $1 \frac{Vol}{h}$ oltre il limite vigente, penalizzo il fabbisogno energetico di $5 \frac{kWh}{m^2a}$. Questo ragionamento risulta evidente nelle tabelle proposte di seguito, dove sono messi in evidenza la variazione di energia EP_{gl} e di Q_v in relazione al valore di infiltrazione.

Esempio

Supponiamo di avere un edificio di progetto in classe A $EP_{gl} = 33.7 \frac{kWh}{m^2a}$. $n_{limite} = 2 \frac{1}{h}$ per norma, una volta ultimato, effettuo il BDT e riscontro un valore $n_{50} = 2.8 \frac{1}{h}$. La proposta è quella di maggiorare il valore di EP_{gl} di $5 \frac{kWh}{m^2a}$ per ogni $1 \frac{1}{h}$ oltre limite di legge. Ottenendo dalla formula:

$$EP_{gl-efettivo} = 33.7 + (2.8 - 2) \cdot 5 = 37.7$$

Per calcolare e confrontare i valori del fabbisogno energetico sono state prese in considerazioni le seguenti ipotesi:

- $0.15 \frac{V}{h}$ valore di infiltrazione da considerare incluso negli $0.30 \frac{V}{h}$ di legge;³

Esempio: $n_{50} = 2.0 \rightarrow n_{reale} = 0.20 \rightarrow n_{inf.ne} = 0.15 + n_{reale}$ ciò significa che 0.15 di infiltrazione vengono inclusi negli $0.3 \frac{V}{h}$ di legge

Excel APE		Classe A+ fascia:E		Classe A fascia:E		Classe B+ fascia:E	
n_{50}	$n_{inf.ne}$	EP_{gl}	$\frac{\Delta EP_{gl}^4}{\Delta n_{50}}$	EP_{gl}	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	EP_{gl}	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$
1.5	0.30	23.7		35.2		42.9	
2.0	0.35	25.7	4.0	37.6	4.8	45.4	5.0
2.5	0.40	27.8	4.2	40.0	4.8	47.9	5.0
3.0	0.45	30.0	4.4	42.5	5.0	50.5	5.2
3.5	0.50	32.3	4.6	45.0	5.0	53.1	5.2

³Garantire dai 20 ai $40 \frac{m^3}{h}$ per persona

TerMus		Classe A+ $f_{ascia:E}$		Classe A $f_{ascia:E}$		Classe B+ $f_{ascia:E}$	
n_{50}	$n_{inf.ne}$	EP_{gl}	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	EP_{gl}	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	EP_{gl}	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$
1.5	0.30			37.1		46.1	
2.0	0.35			39.6	4.9	48.6	4.9
2.5	0.40			42.1	5.0	51.1	5.0
3.0	0.45			44.5	4.9	53.6	5.0
3.5	0.50			47.0	4.9	56.1	5.0

Mc4		Classe A+ $f_{ascia:E}$		Classe A $f_{ascia:E}$		Classe B+ $f_{ascia:E}$	
n_{50}	$n_{inf.ne}$	EP_{gl}	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	EP_{gl}	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	EP_{gl}	ΔEP_{gl}
1.5	0.30					47.6	
2.0	0.35					50.5	5.9
2.5	0.40					53.5	5.9
3.0	0.45					56.5	6.0
3.5	0.50					59.5	6.0

EP_{gl-rif}	Q_V	Infiltr.	EP_{gl}	ΔEP_{gl}	ΔQ_V	n_{50}	Prog.EP	Prog. Q_V
23.7	15.9	0.00	23.7	-	-			
	15.9	0.30	23.7	-	-	1.5	-	-
	16.5	0.31	24.1	0.4	0.6	1.6	0.4	0.6
	17.0	0.32	24.5	0.4	0.5	1.7	0.8	1.1
	17.05	0.33	24.9	0.4	0.5	1.8	1.2	1.6
	18.1	0.34	25.3	0.4	0.6	1.9	1.6	2.2
	18.6	0.35	25.7	0.4	0.5	2.0	2.0	2.7
	19.1	0.36	26.1	0.4	0.5	2.1	2.4	3.2
	19.7	0.37	26.5	0.4	0.6	2.2	2.8	3.8
	20.2	0.38	27.0	0.5	0.5	2.3	3.3	4.3
	20.7	0.39	27.4	0.4	0.5	2.4	3.7	4.8
	21.3	0.4	27.8	0.4	0.6	2.5	4.1	5.4

Osservazioni

Si è considerata come riferimento la voce Q_V per diversi motivi:

- è indipendente dall' EP_{gl} di riferimento;
- è presente nel foglio di calcolo APE come, almeno in progetto, voce dedicata;
- è indipendente dal rendimento dell'impianto.

Insomma Q_V è il valore che più di tutti quantifica l'efficienza dell'involucro in riferimento ai dati sperimentali del BDT, indipendentemente dalla tipologia degli impianti.

Calcolo del rapporto tra BDT e condizione reale - rendimenti

Sono stati analizzati i dati anche in funzione del rendimento nel caso di impianto di ventilazione meccanica.

Per calcolare e confrontare i valori del fabbisogno energetico sono state prese in considerazione le seguenti ipotesi:

- utilizzo della formula di CasaClima:

$$\eta_{real} = 30\% + \frac{n_{50,lim}}{n_{50,measure}} \cdot (\eta_{product-cert.} - 30\%)$$

$$\begin{aligned} \eta_{product-cert.} &: 0.5 \div 0.9 \frac{1}{h} \\ n_{50,measure} &: 1.5 \div 2.5 \frac{1}{h} \\ \Phi_{ott} &= \Phi - \Phi \cdot \eta_{product-cert} \\ \Delta \eta \cdot \Phi + \Phi_{ott} &= \Phi_{reale} \end{aligned}$$

I risultati ottenuti sono rappresentati dal seguente grafico.

Osservazioni

Dal grafico emerge che a parità di n_{50} (parametro caratterizzante l'involucro) e sul medesimo edificio, si hanno differenti ΔEP_{gl} a seconda del rendimento dell'impianto. Questo, a nostra opinione, non risulta adeguato per la valutazione della prestazione energetica dell'edificio.

Proposta dei professionisti

Classe energetica	n_{50} (da 2014)	n_{50} (da 2016)	n_{50} (da 2018)
A+	1.5 ± 0.1	$1.0 \pm 0.1^*$	$0.6 \pm 0.1^{**}$
A	2.0 ± 0.1	1.5 ± 0.1	1.0 ± 0.1
B+	2.5 ± 0.1	2.0 ± 0.1	1.5 ± 0.1
B	No BDT		
Legno/Secco	1.5 ± 0.1	1.0 ± 0.1	0.6 ± 0.1
*penal. massima fino a 1.5 su fabbisogno complessivo			
**penal. massima fino a 1.0 su fabbisogno complessivo			

Proposta APRIE - Hard

Classe energetica	n_{50} (da 2014)	n_{50} (da 2015)	n_{50} (da 2017)	n_{50} (da 2019)
A+	$1.5 \pm 0.1^*$	$1.5 \pm 0.1^*$	$1.0 \pm 0.1^{**}$	$0.6 \pm 0.1^{***}$
A		$2.0 \pm 0.1^*$	$1.5 \pm 0.1^*$	$1.0 \pm 0.1^{**}$
B+			$2.0 \pm 0.1^*$	$1.5 \pm 0.1^*$
B	No BDT			
Legno/Secco ¹				
*fino a massimo di n_{50} pari a $3\frac{1}{h}$				
**fino a massimo di n_{50} pari a $2.5\frac{1}{h}$				
***fino a massimo di n_{50} pari a $2\frac{1}{h}$				
¹ vedi limiti Arca				

Proposta APRIE - Soft

Classe energetica	n_{50} (da 2014)	n_{50} (da 2017)	n_{50} (da 2019)
A+	$1.5 \pm 0.1^*$	$1.0 \pm 0.1^{**}$	$0.6 \pm 0.1^{***}$
A		$1.5 \pm 0.1^*$	$1.0 \pm 0.1^{**}$
B+			$1.5 \pm 0.1^*$
B	No BDT		
Legno/Secco ¹			
*fino a massimo di n_{50} pari a $3\frac{1}{h}$			
**fino a massimo di n_{50} pari a $2.5\frac{1}{h}$			
***fino a massimo di n_{50} pari a $2\frac{1}{h}$			
¹ vedi limiti Arca			