

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

del Dott.Lorenzo Gabrielli<sup>1</sup>

March 27, 2014

<sup>1</sup>Grazie al Dir.Arch.Giacomo Carlino, al Dir.Ing.Daria Stringari e all'Arch.Chiera Benedetti, con il grande aiuto dell'Ing.Marco Marcolla e l'importante collaborazione dei tecnici: Arch.Diego Broilo, Ing.Emiliano Leoni, Ing.Silvano Beatrici, P.i. Enrico Zendron, P.i. Nicola Cimonetti



## PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Agenzia provinciale per le risorse idriche e l'energia  
I.D. per la pianificazione delle risorse idriche ed energetiche  
Via Gilli, 4 - 38121 Trento  
Tel. 0461-497318 - Fax 0461-497321  
E-mail: id.piani.acquenergia@provincia.tn.it  
PEC: id.piani.acquenergia@pec.provincia.tn.it

aprie

Trento, 27 MAR. 2014

Prot. n. I046/2014/171836

OGGETTO: Dichiarazione.

Il dott. Lorenzo Gabrielli ha condotto uno stage presso la scrivente Agenzia Provinciale per l'Energia e le Risorse Idriche, a seguito di accordi formali stipulati con i titolari di un progetto di formazione finanziato dal Fondo Sociale Europeo; lo stage si è svolto presso l'APRIE dal 27 Gennaio al 28 Marzo 2014 con il tutoraggio dei dirigenti e tecnici dell'Agenzia stessa. Durante questo periodo il dott. Gabrielli ha svolto un lavoro di ricerca al fine di approfondire la problematica segnalata dai tecnici operanti sul territorio concernente i valori limite del test di tenuta all'aria (Blower Door Test - BDT) per le classi di edifici ad alta prestazione energetica, contenuti nel Decreto del Presidente della Provincia 13 Luglio 2009, n.11-13/Leg. Tali valori risultano particolarmente severi rispetto alle normali prassi di costruzione degli edifici e non sono facili da interpretare per mancanza di conoscenza specifiche dell'argomento; inoltre, occorre valutarne l'incidenza sulle stesse prestazioni energetiche in caso di superamento delle soglie stabilite.

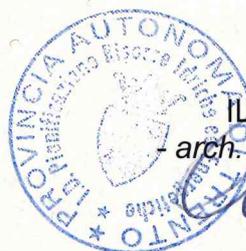
Il prodotto finale di questa ricerca è raccolto nel rapporto intitolato "Interpretazione del test di tenuta all'aria - Blower door test", riportato in allegato. Esso contiene: una descrizione del problema sotto osservazione; una teoria tecnico-scientifica sul come interpretare, in termini di consumi di energia primaria, i risultati (secondo la UNI EN 13829) del BDT; un confronto di questa analisi con le direttive in materia usate in Provincia Autonoma di Bolzano; dati e grafici esplicativi.

Con lo scopo di confrontare la teoria con il caso reale, il dott. Gabrielli ha raccolto le informazioni tecnico-scientifiche reperibili in letteratura e coinvolto alcuni professionisti, progettisti ed esperti nel BDT, per focalizzare le problematiche emerse, per raccogliere esperienze e formulare proposte operative. Sono stati organizzati dei tavoli tecnici per avere un primo confronto e una raccolta di dati, per la discussione sugli aspetti scientifici reperiti ed opportunamente rielaborati, per valutare una proposta di modifica dei parametri di legge attualmente vigenti.

Una volta raggiunto l'accordo riguardo i limiti ammissibili in funzione delle classi energetiche, l'idea proposta è quella di sfruttare l'elaborazione teorica sviluppata per parametrizzare gli esiti del BDT e quantificare la penalizzazione degli edifici che non dovessero rientrare nei nuovi limiti stabiliti.

Nel corso dell'attività sopra descritta, il dott. Gabrielli ha dato prova di buone capacità di comunicazione, sintesi e organizzazione, distinguendosi particolarmente per la scrupolosità. Si è rivelato essere una persona propositiva e flessibile. Si coglie questa occasione per formulare i migliori auguri per la carriera lavorativa e per il successivo inserimento professionale

Distinti saluti.



IL DIRIGENTE  
arch. Giacomo Carlino

IL DIRIGENTE  
Arch. Giacomo Carlino

GC/cs

## Indice:

1. Scopo
2. Teoria
3. Verifica
4. Politica tecnica
5. Confronto risultati
6. Considerazioni finali
7. Allegati
8. Bibliografia

## Scopo

Tal documento consiste in un lavoro di ricerca e confronto tecnico, durato 320 ore, presso la sede APRIE - Agenzia Provinciale per Risorse Idriche ed Energia di Trento, finalizzato ad approfondire il tema di tenuta all'aria degli edifici di nuova costruzione su territorio PAT - Provincia Autonoma di Trento.

Il problema, emerso dai tecnici operanti sul territorio, riguarda i parametri limite del test di tenuta all'aria (Blower Door Test - BDT), contenuti nel Decreto del Presidente della Provincia 13 Luglio 2009, n.11-13/Leg (nuove costruzioni in Classe A+), che risultano spesso restrittivi per essere rispettati e non sono facili da interpretare per mancanza di conoscenza generale dell'argomento.

Il seguente documento vorrebbe quindi offrire uno spunto su:

1. come interpretare i risultati di un BDT in termini di energia termica gravante sull'efficienza 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).

Il primo punto risulta fondamentale. Le domande sorte sono: che relazione sussiste tra i ricambi d'ora registrati dal BDT e la quantificazione in potenza termica al fine della certificazione energetica? Un esempio pratico potrebbe essere: nel qual caso un progetto sia previsto in Classe A+ (avente quindi diritto a bonus volumetrici) e, una volta ultimato, non dovesse rispettare i ricambi d'ora previsti dal regolamento, come interpretare il test? Come penalizzare l'efficienza energetica del costruito rispetto al progetto? Le risposte sono matematiche. Si tratta di trovare una relazione, con le dovute ipotesi sui dati in ingresso (es. velocità del vento, ricambi d'aria minimi etc.).

Gli spunti per i miglioramenti delle procedure, secondo punto, provengono da esperienze sul campo di esperti in materia. Queste prevedono di ricalibrare i limiti di legge in maniera sobria favorendo un naturale e progressivo assestamento del know-how degli attori coinvolti nel processo edilizio. Risulta infatti fondamentale il consolidamento di nozioni tecniche a riguardo in tutte le fasi: progettazione, esecuzione e verifica.

# Teoria

## Obiettivo

Determinare la relazione che lega la potenza termica dispersa per infiltrazione nel caso reale in relazione al risultato del BDT.

L'attenzione ricade sulla pressione. Il test considera una differenza di pressione  $P_{ext} - P_{int} = \Delta P = 50 Pa$  ma è ragionevole pensare che tal valore non si rifà a condizioni reali, infatti non si ha questa condizioni in media tutto l'anno e in tutte le ubicazioni. Sarebbe quindi opportuno ipotizzare una condizione locale di riferimento. Si noti che un test  $\Delta P = 50 Pa$  corrisponde alla simulazione di un vento con  $\omega_{BDT} = 9 \frac{m}{s}$ . Su territorio trentino questa velocità corrisponde approssimativamente alla media delle raffiche di picco (che potrebbero durare pochi secondi). La nostra zona è soggetta a una ventosità media giornaliera che può essere considerata  $\omega_{Media} = 1.1-1.6 \frac{m}{s}$ <sup>1</sup> per stagione invernale ed estiva. Questi dati possono essere ragionevolmente utilizzati per considerare l'efficacia del nostro involucro edilizio.

Tramite l'esempio di seguito, noto per la tenuta all'aria dei serramenti, ci si ricondurrà poi ad una relazione tra i valori BDT e Reali.

L'esempio teorico sul test di tenuta all'aria applicato ai serramenti in riferimento al testo ("L'isolamento termico negli edifici in relazione alla legge 373. Di C.Bianchi, U. Bielli, E. Pedrocchi. Edito da Italiana Vic").

## Osservazione

Il valore di  $n_{50}$  è definito come:

$$n_{50} = \frac{\Theta_{50}}{V_L}$$

$\Theta_{50}$  =portata d'aria registrata con BDT a 50 Pa;

$V_L$  =volume calcolato per BDT.<sup>2</sup>

Questo è il valore più comunemente usato a tal scopo.

Esiste però un altro parametro:

$$q_{50} = \frac{\Theta_{50}}{A_E}$$

$A_E$  =superficie esterna dell'involucro.

Questo secondo valore, usato in Svizzera, sarebbe il più corretto per la valutazione dell'involucro. Il primo infatti premia gli edifici di grande volume ma penalizza gli edifici di piccoli volumi.

---

<sup>1</sup>Vedi Allegato #6 MeteoTrentino. E' stato confermato che la norma tedesca del Passive Institute relaziona pure  $\Delta P$  con  $\omega$  dei dati meteo locali, CasaClima no.

<sup>2</sup>Attenzione al calcolo e all'operatore che ne è responsabile. Solitamente viene fatturato indipendente dal test per quanto rilevante.

## Esempio - Metodo di calcolo proposto da SIA (Società suisse des Ingénieurs et Architectes) <sup>3</sup>

**Dati:**

$$\omega_{BDT} = 9 \frac{m}{s}$$

(velocità del vento per test di tenuta all'aria, BDT)

$$\omega_{Media} = 1,1 \frac{m}{s}$$

(velocità del vento medio giornaliero Trento, UNI 10349 - 04.94)

### Calcolo delle pressioni correlate:

La relazione che lega  $\Delta P$  con i parametri fisici e climatici o comunque valutabili con approssimazioni accettabili risulta difficile e aleatoria e sicuramente necessita di uno studio a sè. I fenomeni che determinano l'installarsi di una differenza di pressione fra interno ed esterno degli infissi sono essenzialmente due: vento e gradiente di temperatura.

La differenza di pressione dovuta alla differenza di temperatura può provocare fastidiose infiltrazioni d'aria nelle strutture che formano le condotte verticali di edifici alti ma non solo. Se si pensa ad un edificio di tre piani ubicato nella nostra località in genere avremo che il piano terra risulta più caldo rispetto al sotto tetto. Questa differenza di temperatura porta ad una differenza di pressione, il primo piano in depressione rispetto al sotto tetto/terzo piano che è in pressione. Questo esercita una forza. Di conseguenza la trasmittanza delle pareti è importante per il gradiente di temperatura che influenza tal pressioni. Anche l'umidità relativa dipende dal tal parametri. Il rischio di condensa interna è appunto il rischio maggiore correlato all'infiltrazione d'aria e questo dipende anche dall'andamento della temperatura.

Nel seguente esempio verranno considerate solamente le infiltrazioni d'aria attraverso gli infissi dovute alle condizioni del vento. Le infiltrazioni dovute a  $\Delta T$  dovrebbero essere considerate a parte come le pressioni del vapore che pure necessita una trattazione a sè stante.

Ecco l'andamento di  $\Delta P$  <sup>4</sup> nel caso di incidenza normale, con fattore di forma  $k$ , alla parete di un edificio a forma di parallelepipedo:

$$\Delta P = k \cdot \rho \cdot \omega^2$$

$$\rho = 1,2 \frac{kg}{m^3}$$

$$k = \frac{1}{2}$$

$$\Delta P_{9 \frac{m}{s}} = 48,6 Pa \approx 50 Pa$$

$$\Delta P_{1,1 \frac{m}{s}} = 0.726 Pa$$

**Applico a volume tipo di:**

$$S = 100 m^2 = 10 m \times 10 m$$

$$h = 2.7 m$$

$$S_{finitrata} = \frac{1}{8} \cdot S = 12.5 m^2 \approx 13 m^2 \rightarrow 13 \text{ finestre}$$

<sup>3</sup> Allegato "L'isolamento termico negli edifici in relazione alla legge 373" Di C. Bianchi, U. Bielli, E. Pedrocchi. Editore Italiana Vic

<sup>4</sup> Allegato p.305 del testo "Il clima come elemento di progetto nell'edilizia"

### Calcolo portata d'aria infiltrazione:

$$\Theta = l \cdot a \cdot (\Delta P)^{\frac{2}{3}}$$

$l$  = lunghezza battute (lunghezza potenziali dispersioni)

$a^5$  = coefficiente di infiltrazione. Portata volumica d'aria infiltrata per metro di battuta e per un  $\Delta P = 1Pa$ . Per finestre con riquadro in metallo e sigillatura adeguata:  $0.22 \frac{m^3}{hmPa^{\frac{2}{3}}}$

$$\Theta_{BDT} = 141,15 \frac{m^3}{h}$$

$$\Theta_{Media} = 9,25 \frac{m^3}{h}$$

Calcolo  $n = \frac{\Theta}{V_L}$ :

$$n_{\Delta P} = \frac{\Theta}{V_L}$$

$$n_{50} = 0.523 \frac{1}{h}$$

$$n_{1,1} = 0.034 \frac{1}{h}$$

$$\frac{n_{1,1}}{n_{50}} = 0.06$$

### Osservazioni

Dai dati di MeteoTrentino (Gardolo) emerge che la velocità media giornaliera (dal 2000 al 2013) risulta di poco superiore al dato riportato nella UNI 10349. Dallo stesso rapporto si ottiene:

$$\frac{n_{1,36}}{n_{50}} = 0.08 \approx 0.1$$

Possiamo quindi approssimare a 0.1 (che corrisponde a  $\omega_{Media} = 1.6 \frac{m}{s}$ ).

Si osserva che un test di tenuta all'aria che registra  $n_{50} = 1 \frac{1}{h}$ , a condizione "media" di pressione normale alla superficie ricambi  $n_{1,36} = 0.1 \frac{1}{h}$  volumi d'aria <sup>6</sup>.

Essendo le formule caratterizzate da costanti, come  $a$  che parametrizza il "ponte d'aria" (concetto riconducibile al ponte termico) il rapporto tra le relazioni si rifà a quello delle velocità ottenendo così:

$$0,1 \approx \left( \frac{\omega_{Media} \frac{m}{s}}{\omega_{BDT}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{\Delta P_{Media}}{\Delta P_{BDT}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Conoscendo il risultato  $n_{50}$  del BDT conosciamo il valore di  $a$  (ponte d'aria) mediato sulla struttura. Per dei valori puntuali bisogna monitorare delle casistiche specifiche come per il serramento.

In tal modo, conoscendo il risultato del test  $n_{50}$ , sarebbe possibile calcolare l'eccedenza di dispersioni in condizioni normali, attraverso un'opportuna parametrizzazione della pressione standard, in funzione della topografia e locazione dell'immobile e sarebbe possibile quindi calcolare il surplus di energia dispersa per un test oltre limiti di legge.

Avremmo quindi che la relazione finale è:

<sup>5</sup>Con questa relazione sarebbe possibile, in futuro con i dati di progetto, raccogliere i "ponti d'aria" in funzione dei progetti.

<sup>6</sup>Tal relazione è citata anche nel testo "Manuale per le costruzioni a risparmio energetico" di Thomas Königstein ma non è stato possibile compararne il ragionamento

$$\Theta_{reale} = \left( \frac{\Delta P_{reale}}{\Delta P_{BDT}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \Theta_{50}$$

### Formula della potenza termica per infiltrazioni

La formula semplificata di calcolo della energia termica per Excel APE è la seguente:

$$\Phi = \frac{\alpha \cdot V \cdot \rho_a \cdot c \cdot 24 \cdot GG}{1000 \cdot S}$$

$$\alpha = n_{50} \left( \frac{\omega_{Media} \frac{m}{s}}{\omega_{BDT}} \right)^{\frac{4}{3}} = n_{50} \left( \frac{\Delta P_{Media}}{\Delta P_{BDT}} \right)^{\frac{2}{3}} : \text{infiltrazioni reali } \left[ \frac{1}{h} \right]$$

$\Delta P_{Media}$ : definito in funzione del vento medio locale [Pa]<sup>7</sup>

$\Delta P_{BDT}$ : definito dal BDT a n50 [Pa]

$GG$ : 2567 [°C]

$\rho_a$ : densità dell'aria [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$c_a$ : calore specifico a pressione costante dell'aria [ $\frac{J}{kgK}$ ]

$$0.33 = \frac{\rho_a \cdot c_a}{3600}$$

Questa formula risulta comunque maggiorata rispetto al conto con foglio di calcolo Excel APE che considera il fabbisogno mensilmente con opportune correzioni distribuite durante l'anno. Analogo discorso potrebbe essere fatto per regolare la ventosità del luogo nelle mensilità.

### Verifica

Si riportano di seguito i dati sperimentali con annesso risultato di formula e lo scostamento percentuale.

$$\Theta_{calc} = \left( \frac{\Delta P_{reale}}{\Delta P_{BDT}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \Theta$$

Questo confronto ha lo scopo di verificare l'attendibilità della relazione sopra. Le prime tre colonne riportano dati sperimentali offerti da test reali. Sono noti i dati relativi a  $\Theta$  misurato per valori di  $\Delta Pa$  (in pressione e depressione) pari a circa 50Pa ( $+\Delta P_{BDT}, -\Delta P_{BDT}$ ) e pari a circa 25Pa ( $+\Delta P_{reale}, -\Delta P_{reale}$ ). Dalla formula ricaveremo il  $\Theta_{calc}$  e ne definiremo lo scostamento rispetto a  $\Theta$  misurato con il test.

Lo scopo è di provare l'attendibilità della formula di riuscire a calcolare portate d'aria anche in relazione a pressioni molto più piccole e fuori dalla portata del BDT.<sup>8</sup>

Dati test	[Pa]	$\Theta \left[ \frac{m^3}{h} \right]^9$	$\Theta_{calc} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$	$\Delta\% = \frac{\Theta_{calc} - \Theta}{\Theta} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	49.8	443	$V=207m^3$	
$+\Delta P_{reale}$	25.3	279	282	1.1%
$-\Delta P_{BDT}$	50.4	383		
$-\Delta P_{reale}$	25.5	238	243	2.2%
Media	50.1	413		
Media	25.4	259	263	1.6%

<sup>7</sup>Vedi Allegato #6: MeteoTrentino

<sup>8</sup>I valori BDT registrano un andamento logaritmico. La funzione approssima bene i compo

Dati test	[Pa]	$\Theta[\frac{m^3}{h}]$	$\Theta_{calc}[\frac{m^3}{h}]$	$\Delta\% = \frac{\Theta_{calc}-\Theta}{\Theta} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	50.0	537	V=302m <sup>3</sup>	
$+\Delta P_{reale}$	24.7	347	336	-3.3%
$-\Delta P_{BDT}$	50.5	524		
$-\Delta P_{reale}$	25.3	330	331	0.2%
Media	50.2	531		
Media	25.0	339	333	-1.6%

Dati test	[Pa]	$\Theta[\frac{m^3}{h}]$	$\Theta_{calc}[\frac{m^3}{h}]$	$\Delta\% = \frac{\Theta_{calc}-\Theta}{\Theta} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	49.8	347	V=195m <sup>3</sup>	
$+\Delta P_{reale}$	24.8	226	218	-3.5%
$-\Delta P_{BDT}$	50.3	350		
$-\Delta P_{reale}$	25.2	226	221	-2.3%
Media	50.1	349		
Media	25.0	226	219	-2.9%

Dati test	[Pa]	$\Theta[\frac{m^3}{h}]$	$\Theta_{calc}[\frac{m^3}{h}]$	$\Delta\% = \frac{\Theta_{calc}-\Theta}{\Theta} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	50.0	453	V=274m <sup>3</sup>	
$+\Delta P_{reale}$	24.5	291	282	-3.2%
$-\Delta P_{BDT}$	50.7	447		
$-\Delta P_{reale}$	25.6	286	283	-0.9%
Media	50.4	450		
Media	25.1	289	283	-2.1%

Dati test	[Pa]	$\Theta[\frac{m^3}{h}]$	$\Theta_{calc}[\frac{m^3}{h}]$	$\Delta\% = \frac{\Theta_{calc}-\Theta}{\Theta} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	49.2	439	V=211m <sup>3</sup>	
$+\Delta P_{reale}$	24.9	282	279	-1.1%
$-\Delta P_{BDT}$	50.4	412		
$-\Delta P_{reale}$	25.2	257	260	1.0%
Media	49.8	426		
Media	25.1	270	269	-0.1%

Dati test	[Pa]	$\Theta[\frac{m^3}{h}]$	$\Theta_{calc}[\frac{m^3}{h}]$	$\Delta\% = \frac{\Theta_{calc}-\Theta}{\Theta} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	49.5	500	V=286m <sup>3</sup>	
$+\Delta P_{reale}$	24.7	316	315	-0.5%
$-\Delta P_{BDT}$	50.6	530		
$-\Delta P_{reale}$	25.3	331	334	0.9%
Media	50.1	515		
Media	25.0	324	324	0.2%

Dati test	[Pa]	$\Theta[\frac{m^3}{h}]$	$\Theta_{calc}[\frac{m^3}{h}]$	$\Delta\% = \frac{\Theta_{calc}-\Theta}{\Theta} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	49.7	537	V=221m <sup>3</sup>	
$+\Delta P_{reale}$	24.7	342	337	-1.5%
$-\Delta P_{BDT}$	49.9	494		
$-\Delta P_{reale}$	25.0	314	312	-0.8%
Media	49.8	516		
Media	24.9	328	324	-1.1%

Dati test	[Pa]	$\Theta[\frac{m^3}{h}]$	$\Theta_{calc}[\frac{m^3}{h}]$	$\Delta\% = \frac{\Theta_{calc}-\Theta}{\Theta} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	51.0	371	V=221m <sup>3</sup>	
$+\Delta P_{reale}$	11.0	135	133	-1.2%
$-\Delta P_{BDT}$	51.0	433		
$-\Delta P_{reale}$	13.0	119	174	46.3%
Media	51.0	402		
Media	12.0	127	153	20.6%

Dati Studio Erlacher di CasaClima

Dati test	[Pa]	$\Theta[\frac{m^3}{h}]$	$\Theta_{calc}[\frac{m^3}{h}]$	$\Delta\%n = \frac{\Theta_{reale}-\Theta_{calc}}{V} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	50	556	V=150m <sup>3</sup>	
$+\Delta P_{reale}$	11	204	202	-0.7%
$-\Delta P_{BDT}$	50	574		
$-\Delta P_{reale}$	11	183	209	-14.3%
Media	50	565		
Media	11	194	206	6.4%

Dati test	[Pa]	$\Theta[\frac{m^3}{h}]$	$\Theta_{calc}[\frac{m^3}{h}]$	$\Delta\%n = \frac{\Theta_{reale}-\Theta_{calc}}{V} \cdot 100$
$+\Delta P_{BDT}$	51	218	V=365m <sup>3</sup>	
$+\Delta P_{reale}$	12	61	83	36.2%
$-\Delta P_{BDT}$	51	197		
$-\Delta P_{reale}$	11	72	71	-1.6%
Media	51	208		
Media	11.5	67	77	15.6%

## Osservazioni

Confrontando i dati sperimentali con i dati ricavati dalla relazione si evince che lo scostamento, almeno per il range tra 25 e 50 Pa, non supera il 4% di errore. Errore massimo del 20% medio tra 12Pa e 50 Pa. Ciò significa che considerando  $n_{50} = 1 \frac{vol}{h} \rightarrow n_{reale} = 0.1 \frac{vol}{h}$  anche considerando un errore del 20% avremmo  $n_{reale} = 0.1 \pm 0.02$  che è comunque trascurabile considerando che la stessa sensibilità dello strumento è 0.1.

Risulta ragionevole considerare quindi tal relazione confrontabile e ammettere il rapporto  $n_{reale} \approx 10\% \cdot n_{50}$ <sup>10</sup>

NB. La semplificazione andrebbe rivista e adattata in funzione della ventosità dell'ubicazione.

## Proposta tecnica

La proposta tecnica comprende i seguenti passaggi fondamentali:

- intensificare la formazione di certificatori energetici, progettisti e direttore lavori (mancanza di fondamentali informazioni su come realizzare la tenuta all'aria);
- formare l'intera filiera esecutiva delle aziende operatrici in cantiere;
- dichiarare in modo chiaro: dati, operatore che ha eseguito il test, valore finale e limiti nel certificato APE;
- estendere BDT fino a classe B+ (possibilità di escludere classe B, per ristrutturazioni);

<sup>10</sup>Vedi allegato #1: Verifica teoria

- modificare il regolamento: non effettuare i fori in ogni caso nell'involucro (anche senza cucina a gas);<sup>11</sup>
- metodo A o B da valutare in conformità ai regolamenti e tipologia;
- modifica prezziario (costo nastri etc.).

Situazione attuale:

Classe energetica	$n_{50}$ (pre 2014)	$n_{50}$ (da 2014)	$n_{50}$ (da 2016)
A+	$1.5 \pm 0.1$	$1.0 \pm 0.1$	$0.6 \pm 0.1$

Situazione proposta:

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

---

<sup>11</sup>La cucina su territorio PAT. Fori da impedire, cappa non prevedibile, estrattori bagno prevedibili

# Confronto risultati

Tramite diversi software di calcolo si vuole vedere quanto varia il valore di infiltrazione (ventilazione naturale) e infiltrazione/rendimento (ventilazione forzata) in rapporto al risultato del BDT e di conseguenza il valore di fabbisogno energetico dell'edificio.

## Ventilazione naturale

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

- $n_{reale} \approx 10\% \cdot n_{50}$ ;
- $0.15 \frac{V}{h}$  valore massimo di infiltrazione da considerare incluso negli  $0.30 \frac{V}{h}$  di legge;<sup>12</sup>;
- Si considerano edifici solo A/B+ di progetto;
- I software di calcolo sono: Excel APE, TerMus, Mc4.

Di seguito, tabellati, gli scostamenti del tasso di infiltrazione in funzione del valore  $n_{50}$  misurato a partire dai valori limite di  $n_{50}$  proposte per le diverse classi energetiche. I nuovi valori di infiltrazione vanno inseriti nei programmi di calcolo di un progetto inizialmente certificato A e B+ per registrare la variazione del parametro  $EP_{gl}$ .

I valori vengono inseriti nella voce infiltrazione naturale<sup>13</sup> per evitare le diverse interpretazioni nei software di calcolo e ottenere un dato oggettivo e delle soglie di riferimento tra  $\frac{kWh}{m^2a}$  e  $\frac{1}{h}$ .

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

Classe A + /Legno fascia:E		Classe A fascia:E		Classe B + fascia:E	
$n_{50}$	$n_{inf.ne}^*$	$n_{50}$	$n_{inf.ne}^*$	$n_{50}$	$n_{inf.ne}^*$
1.5	0.3				
2	0.35	2	0.35		
2.5	0.4	2.5	0.4	2.5	0.4
3	0.45	3	0.45	3	0.45
3.5	0.5	3.5	0.5	3.5	0.5

## Risultati confronto EPgl (Energia primaria)

In questo caso gli edifici di riferimento sono privi di impianto di ventilazione forzata.

Excel APE		Legno/secco fascia:E		Classe A fascia:E		Classe B+ fascia:E	
$n_{50}$	$n_{inf.ne}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$ <sup>14</sup>	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$
1.5	0.30	23.7					
2.0		25.7	4.0	37.6			
2.5	0.40	27.8	4.2	40.0	4.8	47.9	
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

<sup>12</sup>Garantire dai 20 ai  $40 \frac{m^3}{h}$  per persona

<sup>13</sup>Spazio dove normalmente imposto i  $0.3 \frac{1}{h}$

TerMus		Legno/secco fascia:E		Classe A fascia:E		Classe B+ fascia: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						
2.0				39.6			
2.5	0.40			42.1	5.0	51.1	
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		Legno/secco fascia:E		Classe A fascia:E		Classe B+ fascia:E	
$n_{50}$	$n_{inf.ne}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$
2.0						50.5	
2.5	0.40					53.5	5.9
3.0	0.45					56.5	6.0
3.5	0.50					59.5	6.0

### Risultati confronto Qv con APE (Energia termica)<sup>15</sup>

$EP_{gl- rif}$	$Q_V$	Infiltr.	$EP_{gl}$	$\Delta EP_{gl}$	$\Delta Q_V$	$n_{50}$	Prog. EP	Prog. Qv
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

### Risultati finali

#### Classe A+

$EP_{gl} [\frac{kWh}{m^2a}]$	$Q_V [\frac{kWh}{m^2a}]$	$n_{BDT} [\frac{V}{h}]$	Infiltrazioni $[\frac{V}{h}]$	$\Delta EP_{gl} [\frac{kWh}{m^2a}]$	$\Delta Q_V [\frac{kWh}{m^2a}]$	Note
23.7	8.00	$\leq 1.5^{16}$	0.00	-	-	* $n_{BDT} \cdot 10\% + 0.15$
	8.50	1.6	0.31*	0.4	0.5	
	9.00	1.7	0.32*	0.4	0.5	
	9.60	1.8	0.33*	0.5	0.6	
	10.1	1.9	0.34*	0.4	0.5	
	10.6	2.0	0.35*	0.4	0.5	

Ne risulta, in riferimento alla potenza dispersa per ventilazione:

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

<sup>15</sup>Vedi Allegato #2: Naturale Qv

Dove:	$EP_{gl-effettivo-A+}$	fabbisogno di energia reale A+
	$EP_{gl}$	fabbisogno di energia di progetto
	$n_{50}$	$\frac{Vol}{h}$ del BDT
	$n_{limite}$	valore limite vigente

### Classe A

$EP_{gl}[\frac{kWh}{m^2a}]$	$Q_V[\frac{kWh}{m^2a}]$	$n_{BDT}[\frac{V}{h}]$	Infiltrazioni $[\frac{V}{h}]$	$\Delta EP_{gl}[\frac{kWh}{m^2a}]$	$\Delta Q_V[\frac{kWh}{m^2a}]$	Note
32.6	8.00	$\leq 2.0^{17}$	0.00		-	
	8.50	2.1	0.36*		0.5	* $n_{BDT} \cdot 10\% + 0.15$
	9.00	2.2	0.37*		0.5	
	9.60	2.3	0.38*		0.6	
	10.1	2.4	0.39*		0.5	
	10.6	2.5	0.40*		0.5	

Ne risulta, in riferimento alla potenza dispersa per ventilazione:

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

Dove:	$EP_{gl-effettivo-A}$	fabbisogno di energia reale classe A
	$EP_{gl}$	fabbisogno di energia di progetto
	$n_{50}$	$\frac{Vol}{h}$ del BDT
	$n_{limite}$	valore limite vigente

### Classe B+

$EP_{gl}[\frac{kWh}{m^2a}]$	$Q_V[\frac{kWh}{m^2a}]$	$n_{BDT}[\frac{V}{h}]$	Infiltrazioni $[\frac{V}{h}]$	$\Delta EP_{gl}[\frac{kWh}{m^2a}]$	$\Delta Q_V[\frac{kWh}{m^2a}]$	Note
43.7	8.00	$> 2.5^{18}$	0.40**		+2.6	** $\frac{n_{limite} - n_{limite-A}}{10} = \Delta \Theta$
	8.50	2.6	0.41*		0.5	* $n_{BDT} \cdot 10\% + 0.15$
	9.00	2.7	0.42*		0.5	
	9.60	2.8	0.43*		0.6	
	10.1	2.9	0.44*		0.5	
	10.6	3.0	0.45*		0.5	

Ne risulta, in riferimento alla potenza dispersa per ventilazione:

$$EP_{gl-effettivo} = 2.6 + EP_{gl} + (n_{50} - n_{limite}) \cdot 5$$

Dove:	$EP_{gl-effettivo-B+}$	fabbisogno di energia reale classe B+
	$EP_{gl}$	fabbisogno di energia di progetto
	$n_{50}$	$\frac{Vol}{h}$ del BDT
	$n_{limite}$	valore limite vigente
	2.6	surplus dovuto a inefficienza dell'involucro <sup>19</sup>

### Osservazioni

Si nota che  $\Delta EP_{gl}$  è lineare. In linea di massima, si potrebbe dire che ad ogni incremento di  $0.5 \frac{1}{h}$  rispetto a  $n_{50-limite}$  (considerando classi A+ e A) corrisponde un incremento di  $2.0 \div 3.0 \frac{kWh}{m^2a}$ . La perdita di efficienza di un progetto potrebbe essere tabellata in funzione delle condizioni di vento standard e i

limiti effettivamente imposti. Questo risultato risulta vantaggioso perchè rende l'idea dei limiti da considerare entro la quale progettare energeticamente in "sicurezza".

NB! L'ipotesi di considerare  $0.15 \frac{V}{h}$  di infiltrazione naturale comprensivi negli  $0.3 \frac{V}{h}$  di ventilazione previsti dalla legge è un'ipotesi elastica. Volendo fissare infatti a  $0.2 \frac{V}{h}$  la ventilazione, la somma della componente di infiltrazione naturale non ne varierebbe il rapporto e i risultati sono già compresi nella tabella.

## Ventilazione forzata

### Stime sui rendimenti della macchina

Per calcolare e confrontare i valori del fabbisogno energetico nel caso di ventilazione meccanica sono state prese in considerazione le seguenti ipotesi:

- utilizzo della formula di CasaClima:<sup>20</sup>

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

$$\eta_{product-cert.} : 0.5 \div 0.9$$

$$n_{50,measure} : 1.5 \div 2 \frac{1}{h}$$

$$\Phi_{ott} = \Phi - \Phi \cdot \eta_{product-cert}^{21}$$

$$\Delta\eta \cdot \Phi + \Phi_{ott} = \Phi_{reale}$$

- Non si considerano casi limite con altissime prestazioni impiantistiche e scarse prestazioni d'involucro;
- Si considera un tasso di ventilazione fisso a  $0.3 \frac{V}{h}$ ;
- Si considerano edifici solo A+/A di progetto;
- I software di calcolo sono: Excel APE, TerMus, Mc4. Sono state considerate le seguenti ipotesi: impianto a doppio flusso, recuperatore di tipo passivo (condizioni richiesta da CasaClima);
- Nel foglio Exel APE è stata considerata anche la seguente ipotesi:  $\frac{h}{g}$  convenzionale.

### Classe A+

#### Ipotesi Excel Ape

Qui è stata calcolata la potenza termica per una ventilazione di  $0.3 \frac{1}{h}$  per un  $V = 270m^3$ :

$$\Phi = \frac{0.3 \cdot 270 \cdot 0.33 \cdot 24 \cdot 2567}{1000 \cdot 100} = 16.47 \frac{kWh}{m^2a}$$

Di questa, è stata calcolata la dispersione minima ottenibile:

$$\Phi_{ott} = \Phi - \Phi \cdot \eta_{product-cert}$$

Infine i progressivi incrementi in funzione del rendimento.

<sup>20</sup>Formula empirica stabilita sul rendimento per mancanza di lavorare su infiltrazioni dirette. Il 30% non centra con  $0.3 \frac{V}{h}$  di legge (CasaClima usa  $0.4+0.1 \frac{V}{h}$  di ventilazione forzata).

CasaClima aggiunge +0.1 al limite di legge BDT, anche per la tolleranza dello strumento.

<sup>21</sup> $\Phi_{ott}$  : potenza per ventilazione dispersa ottima, massima ottenibile con rendimento pieno.

$\eta_{product-cert}$	$\Phi_{ott}$	$n_{50,lim}$	$n_{50,measure}$	$\eta_{real}$	$\Phi_{reale}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.5	8.24	1.5	1.5	0.50	8.24	0.0	0.0
			1.6	0.49	8.44	2.5	0.2
			1.7	0.48	8.62	4.7	0.4
			1.8	0.47	8.78	6.7	0.6
			1.9	0.46	8.93	8.4	0.7
			2.0	0.45	9.06	10.0	0.8

$\eta_{product-cert}$	$\Phi_{ott}$	$n_{50,lim}$	$n_{50,measure}$	$\eta_{real}$	$\Phi_{reale}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.6	6.59	1.5	1.5	0.60	6.59	0.0	0.0
			1.6	0.58	6.90	4.7	0.3
			1.7	0.56	7.17	8.8	0.6
			1.8	0.55	7.41	12.5	0.8
			1.9	0.54	7.63	15.8	1.0
			2.0	0.53	7.82	18.8	1.2

$\eta_{product-cert}$	$\Phi_{ott}$	$n_{50,lim}$	$n_{50,measure}$	$\eta_{real}$	$\Phi_{reale}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.7	4.94	1.5	1.5	0.70	4.94	0.0	0.0
			1.6	0.68	5.35	8.3	0.4
			1.7	0.65	5.72	15.7	0.8
			1.8	0.63	6.04	22.2	1.1
			1.9	0.62	6.33	28.1	1.4
			2.0	0.60	6.60	33.3	1.7

$\eta_{product-cert}$	$\Phi_{ott}$	$n_{50,lim}$	$n_{50,measure}$	$\eta_{real}$	$\Phi_{reale}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.8	3.29	1.5	1.5	0.80	3.29	0.0	0.0
			1.6	0.77	3.81	16.1	0.5
			1.7	0.74	4.26	29.0	1.0
			1.8	0.72	4.77	42.0	1.4
			1.9	0.69	5.03	53.0	1.7
			2.0	0.68	5.35	63.0	2.1

$\eta_{product-cert}$	$\Phi_{ott}$	$n_{50,lim}$	$n_{50,measure}$	$\eta_{real}$	$\Phi_{reale}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.9	1.65	1.5	1.5	0.9	1.65	0.0	0.0
			1.6	0.86	2.26	38.0	0.6
			1.7	0.83	2.81	71.0	1.2
			1.8	0.80	3.29	100.0	1.6
			1.9	0.77	3.73	126.0	2.1
			2.0	0.75	4.12	150.0	2.5

**Ipotesi TerMus** Creato un modello  $V=270m^3$  di  $EP_{gl} = 25.3 \frac{kWh}{m^2a}$ , sono stati modificati i rendimenti dell'impianto di ventilazione forzata:

$\eta_{product-cert}$	$\eta_{real}$	$EP_{gl}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.5	0.50	25.32	0.0	0.0
	0.48	25.59	1.1	0.27
	0.46	25.86	2.1	0.53

$\eta_{product-cert}$	$\eta_{real}$	$EP_{gl}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.6	0.60	24.01	0.0	0.0
	0.56	24.53	2.2	0.53
	0.54	24.79	3.3	0.80

$\eta_{product-cert}$	$\eta_{real}$	$EP_{gl}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.7	0.70	22.70	0.0	0.0
	0.65	23.35	2.9	0.65
	0.63	23.61	4.0	0.91

### Classe A

#### Ipotesi Excel Ape

$\eta_{product-cert}$	$\Phi_{ott}$	$n_{50,lim}$	$n_{50,measure}$	$\eta_{real}$	$\Phi_{reale}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.5	8.24	2.0	2.0	0.50	8.24	0.0	0.0
			2.1	0.49	8.39	1.9	0.2
			2.2	0.48	8.53	3.6	0.3
			2.3	0.47	8.66	5.2	0.4
			2.4	0.47	8.78	6.7	0.6
			2.5	0.46	8.89	8.0	0.7

$\eta_{product-cert}$	$\Phi_{ott}$	$n_{50,lim}$	$n_{50,measure}$	$\eta_{real}$	$\Phi_{reale}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.6	6.59	2.0	2.0	0.60	6.59	0.0	0.0
			2.1	0.59	6.82	3.6	0.2
			2.2	0.57	7.04	6.8	0.5
			2.3	0.56	7.23	9.8	0.6
			2.4	0.55	7.41	12.1	0.8
			2.5	0.54	7.58	15.0	1.0

$\eta_{product-cert}$	$\Phi_{ott}$	$n_{50,lim}$	$n_{50,measure}$	$\eta_{real}$	$\Phi_{reale}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.7	4.94	2.0	2.0	0.70	4.94	0.0	0.0
			2.1	0.68	5.25	6.4	0.3
			2.2	0.66	5.54	12.1	0.6
			2.3	0.65	5.80	17.4	0.9
			2.4	0.63	6.04	22.2	1.1
			2.5	0.62	6.26	26.7	1.3

#### Ipotesi TerMus:

$\eta_{product-cert}$	$\eta_{real}$	$EP_{gl}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.5	0.50	30.31	0.0	0.00
	0.48	30.58	0.9	0.27
	0.46	30.85	1.8	0.54

$\eta_{product-cert}$	$\eta_{real}$	$EP_{gl}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.6	0.60	28.97	0.0	0.00
	0.58	29.24	0.9	0.27
	0.56	29.51	1.8	0.53
	0.54	29.78	2.8	0.80
	0.52	28.71	3.8	1.10

$\eta_{product-cert}$	$\eta_{real}$	$EP_{gl}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
0.7	0.70	27.65	0.0	0.00
	0.68	27.91	1.0	0.26
	0.65	28.31	2.4	0.66
	0.62	28.71	3.8	1.10

### Ipotesi Mc4:

$\eta_{product-cert}$	$\eta_{real}$	$EP_{gl}$	$\Delta\%$	$\Delta EP_{gl}$
		49.94		
0.5		40.51		
0.6		38.63	4.6	1.88
0.8		34.86		
0.9		32.98		

### Osservazioni

In questo caso il confronto non è così chiaro. L'ipotesi della formula CasaClima presuppone l'adozione di soluzioni impiantistiche specifiche che non si è certi possano essere riprodotti negli altri software utilizzati. Le differenze sul rendimento, e quindi  $\Delta EP_{gl}$ , sono piuttosto limitate, come ci si aspettava, per rendimenti bassi. Mentre sono confrontabili per alti rendimenti. Di fatto il foglio di calcolo Excel APE risponde, con le dispersioni per ventilazione  $Q_v$  molto bene alla formula CasaClima <sup>22</sup> dimostrandosi aderente. Resta il fatto che penalizzare l'efficienza dell'involucro riducendo il valore di rendimento non si ritiene corretto. Infatti, a parità di  $n_{50} = 2.5$  su un edificio A+ in funzione del rendimento dell'impianto si ha un incremento variabile da 3.8 a  $1.3 \frac{kWh}{m^2a}$  di energia termica, anche se di fatto l'involucro non è cambiato.

L'alternativa è quella di ragionare, ancora una volta, sulle infiltrazioni in ingresso <sup>23</sup> stimando il conseguente surplus dell'energia termica <sup>24</sup> e tralasciando l'incidenza dell'infiltrazione sul rendimento della macchina.

### Stime sull'infiltrazione naturale dell'involucro

#### Ipotesi Excel Ape

Si calcola  $\Delta Q_V$  in funzione della variazione di  $\frac{V}{h}$  della voce infiltrazioni a parità di portate d'aria della macchina pari a  $0.3 \frac{V}{h}$ . <sup>25</sup>

$n_{limite-2014}$	$n_{limite-2016}$	$n_{50}$ riferimento (da 2014)
1.5	1	1

#### Classe A+

$EP_{gl} [\frac{kWh}{m^2a}]$	$Q_V [\frac{kWh}{m^2a}]$	$n_{BDT} [\frac{V}{h}]$	Infiltrazioni $[\frac{V}{h}]$	$\Delta EP_{gl} [\frac{kWh}{m^2a}]$	$\Delta Q_V [\frac{kWh}{m^2a}]$	Note
24.8	8.00	$\leq 1.5$ <sup>26</sup>	0.00	0.0	0.0	
	8.50	1.6	0.01*	0.4	0.5	* $\frac{(n_{BDT} - n_{limite})}{10}$
	9.00	1.7	0.02*	0.4	0.5	
	9.60	1.8	0.03*	0.5	0.6	
	10.1	1.9	0.04*	0.4	0.5	
	10.6	2.0	0.05*	0.4	0.5	

Ne risulta, in riferimento all'energia dispersa per ventilazione:

<sup>22</sup>Vedi Allegato #3: Rendimenti teorico vs APE

<sup>23</sup>Questa operazione è possibile solo con l'utilizzo del foglio Excel APE, che ha voce dedicata all'infiltrazione

<sup>24</sup> $Q_V$ , quindi non energia primaria

<sup>25</sup>La voce infiltrazioni del foglio Excel aveva già previsto l'inserimento di  $n_{50}$ , ma non è stato attivato. Vedi commento foglio Excel con password.

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

Dove:	$EP_{gl-efettivo-A+}$	fabbisogno di energia reale classe A+
	$EP_{gl}$	fabbisogno di energia di progetto
	$n_{50}$	$\frac{Vol}{h}$ del BDT
	$n_{limite}$	valore limite vigente

### ESEMPIO

Supponiamo di avere un edificio di progetto in classe A+ con impianto di ventilazione forzata. Una volta ultimato, effettuo il BDT e riscontro un valore  $n_{50} = 1.8 \frac{1}{h}$ . L'idea è quella di aumentare il valore di  $EP_{gl}$  di  $5 \frac{kWh}{m^2a}$  per ogni  $1 \frac{V}{h}$  oltre limite di legge. Esattamente come nel caso di ventilazione naturale, si va ad influire sull'involucro e non sui sistemi attivi.

### Classe A

$EP_{gl} [\frac{kWh}{m^2a}]$	$Q_V [\frac{kWh}{m^2a}]$	$n_{BDT} [\frac{V}{h}]$	Infiltrazioni $[\frac{V}{h}]$	$\Delta EP_{gl} [\frac{kWh}{m^2a}]$	$\Delta Q_V [\frac{kWh}{m^2a}]$	Note
32.6	8.00	$\leq 2.0^{27}$	0.00		0.0	
	8.50	2.1	0.01*		0.5	$* \frac{(n_{BDT} - n_{limite})}{10}$
	9.00	2.2	0.02*		0.5	
	9.60	2.3	0.03*		0.6	
	10.1	2.4	0.04*		0.5	
	10.6	2.5	0.05*		0.5	

Ne risulta, in riferimento all' energia dispersa per ventilazione:

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

Dove:	$EP_{gl-efettivo-A}$	fabbisogno di energia reale classe A
	$EP_{gl}$	fabbisogno di energia di progetto
	$n_{50}$	$\frac{Vol}{h}$ del BDT
	$n_{limite}$	valore limite vigente

### Classe B+

$EP_{gl} [\frac{kWh}{m^2a}]$	$Q_V [\frac{kWh}{m^2a}]$	$n_{BDT} [\frac{V}{h}]$	Infiltrazioni $[\frac{V}{h}]$	$\Delta EP_{gl} [\frac{kWh}{m^2a}]$	$\Delta Q_V [\frac{kWh}{m^2a}]$	Note
43.7	8.00	$> 2.5^{28}$	0.05**		2.6	$** \frac{n_{limite} - n_{limite-A}}{10} = \Delta \Theta$
	8.50	2.6	0.06*		0.5	$* \frac{[n_{BDT} - n_{limite} + \Delta \Theta]}{10}$
	9.00	2.7	0.07*		0.5	
	9.60	2.8	0.08*		0.5	
	10.1	2.9	0.09*		0.5	
	10.6	3.0	0.10*		0.5	

Ne risulta, in riferimento all' energia dispersa per ventilazione:

$$EP_{gl-efettivo} = 2.6 + EP_{gl} + (n_{50} - n_{limite}) \cdot 5$$

Dove:	$EP_{gl-efettivo-B+}$	fabbisogno di energia reale classe B+
	$EP_{gl}$	fabbisogno di energia di progetto
	$n_{50}$	$\frac{Vol}{h}$ del BDT
	$n_{limite}$	valore limite vigente
	2.6	surplus dovuto a inefficienza dell'involucro <sup>29</sup>

## Osservazioni

Non è stato possibile verificare tal risultato con altri software di calcolo come EdilClima e TerMus in quanto non è presente la voce infiltrazioni ma bensì soltanto quella di ventilazione che però viene interpretata in maniera diversa e spesso manca. Il valore infiltrazioni viene inserito considerando una ventilazione meccanica di portata  $0.3 \frac{V}{h}$ .

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 è il valore che più di tutti quantifica l'efficienza dell'involucro in riferimento ai dati sperimentali del BDT.

Nel caso considerassimo come riferimento  $EP_{gl}$  <sup>30</sup> e  $n_{50}$  si nota un incremento non lineare del  $\Delta EP_{gl}$  <sup>31</sup> e quindi non di facile parametrizzazione.

## Esempio

$EP_{gl}[\frac{kWh}{m^2a}]$	$n_{BDT}[\frac{V}{h}]$	Infiltrazioni $[\frac{V}{h}]$	$\Delta EP_{gl}[\frac{kWh}{m^2a}]$
19.0	1.7	0.02	0.6
	1.9	0.04	0.7
	2.1	0.06	0.7
	2.3	0.08	0.7
	2.5	0.10	0.8
	2.7	0.12	0.8
	2.9	0.14	0.7
	3.1	0.16	0.9

## Conclusioni

La soluzione presa in esame considera esclusivamente un impianto di ventilazione meccanica con recuperatore passivo senza considerare i consumi di energia primaria dell'impianto<sup>32</sup>. Risulta non completa, forse, in toto pertanto la formula sopra citata dal momento che un'entità di energia termica viene sommata al  $EP_{gl}$  con il fine di incrementare il valore di energia primaria  $EP_{gl-efettivo}$ . Di fatto andrebbero distinti due valori: uno relativo all'efficienza dell'involucro ( $2.6 + (n_{50} - n_{limite}) \cdot 5 = \Delta EP_{infiltrazioni}$ ) e uno riguardante i parametri di utilizzo effettivo dell'impianto ( $\Delta EP_{impianto}$ ). Di fatto l'efficienza dell'involucro risulterebbe di quantità pari a quella stabilita per il caso di ventilazione naturale, mentre, per esempio nel caso di ventilazione meccanica <sup>33</sup>, questa andrebbe a modificare la prestazione

<sup>30</sup>Vedi Allegato #4:  $EP_{gl}$  vs  $Q_V$  vs  $\eta$

<sup>31</sup>Vedi formula:  $(-0.0269 \cdot EP_{gl}^2 + 2.2304 \cdot EP_{gl} + 3.857) \cdot n_{50} \cdot 10\% + EP_{gl}$

<sup>32</sup>Costi elettrici

<sup>33</sup>ma più in generale su tutti gli impianti installati

dell'impianto stesso<sup>34</sup>. Queste sono quindi le due quantità che andrebbero considerare per ricavare l' $EP_{gl-effettivo}$ .

$$EP_{gl-effettivo} = EP_{gl} + \Delta EP_{infiltrazioni} + \Delta EP_{impianto}$$

---

<sup>34</sup>Espresso in energia primaria

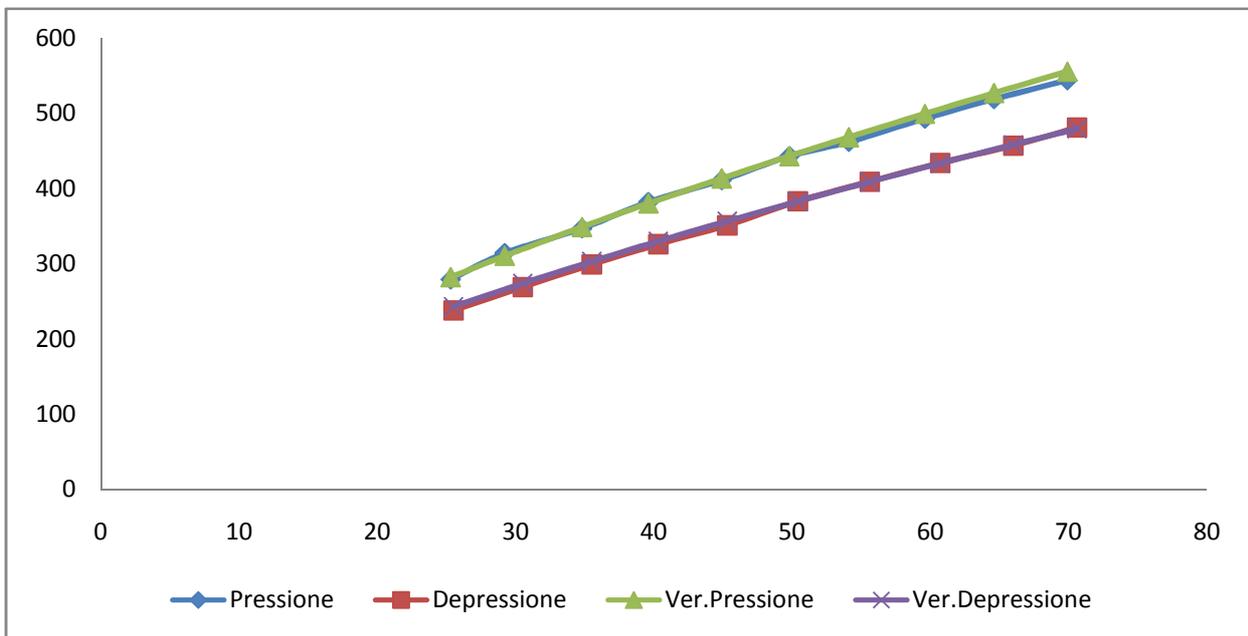
# Allegati

- Allegato #1: Verifica teoria
- Allegato #2: Naturale  $Q_v$
- Allegato #3: Rendimenti teorici vs APE
- Allegato #4:  $EP_{gt}$  vs  $Q_v$  vs  $\eta$
- Allegato #5: Proposta finale
- Allegato #6: MeteoTrentino - Ventosità Roncafort
- Allegato #7: p.305 “Il clima come elemento di progetto nell’edilizia”, cap.7° “I serramenti”
- Allegato #8: p.70 “L’isolamento termico negli edifici”, cap.5.2 p.70
- Allegato #9: Riassunto Tavolo tecnico 26 Marzo 2014

# Verifica Teorica

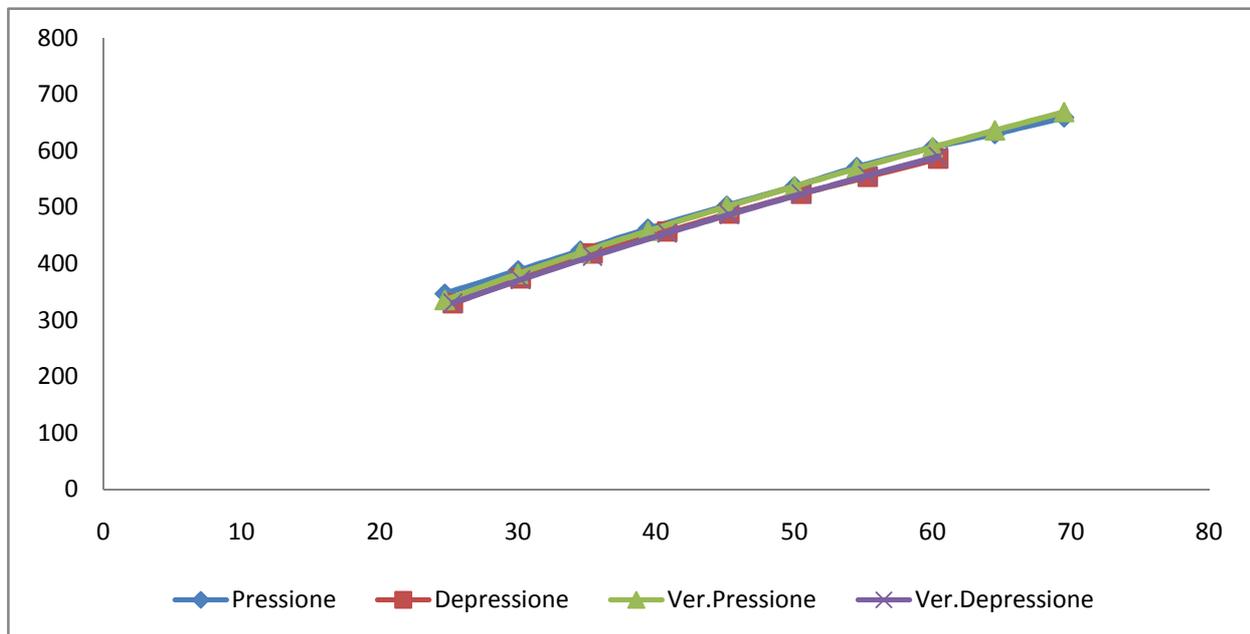
VOLUME: 207	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	49,8	443			
PRESS RIF	25,3	279	282	1,1%	
DEPRESS 50	50,4	383			
DEPRESS RIF	25,5	238	243	2,2%	
MEDIA	50,1	413			
MEDIA	25,4	259	263	1,6%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
69,9	544	555	70,6	481	479
64,6	519	527	66,0	457	458
59,6	493	499	60,7	434	434
54,1	462	468	55,6	409	409
49,8	443	443	50,4	383	383
44,9	411	413	45,3	351	357
39,6	382	380	40,3	326	330
34,8	347	349	35,5	299	303
29,2	314	310	30,5	269	274
25,3	279	282	25,5	238	243



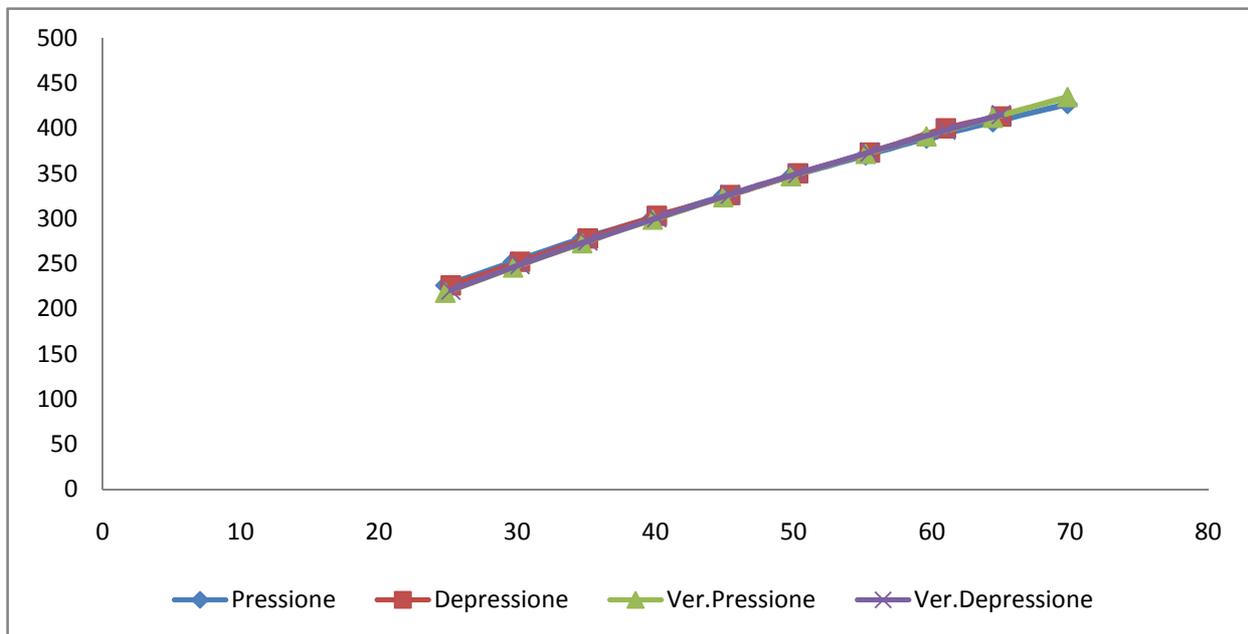
VOLUME: 302	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	50,0	537			
PRESS RIF	24,7	347	336	-3,3%	
DEPRESS 50	50,5	524			
DEPRESS RIF	25,3	330	331	0,2%	
MEDIA	50,3	531			
MEDIA	25,0	339	333	-1,6%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
69,5	659	669			
64,5	630	636			
60,0	606	606	60,4	586	590
54,5	571	569	55,3	554	557
50,0	537	537	50,5	524	524
45,1	503	501	45,3	489	487
39,4	462	458	40,8	457	455
34,5	423	419	35,4	418	413
30,0	388	382	30,2	374	372
24,7	347	336	25,3	330	331



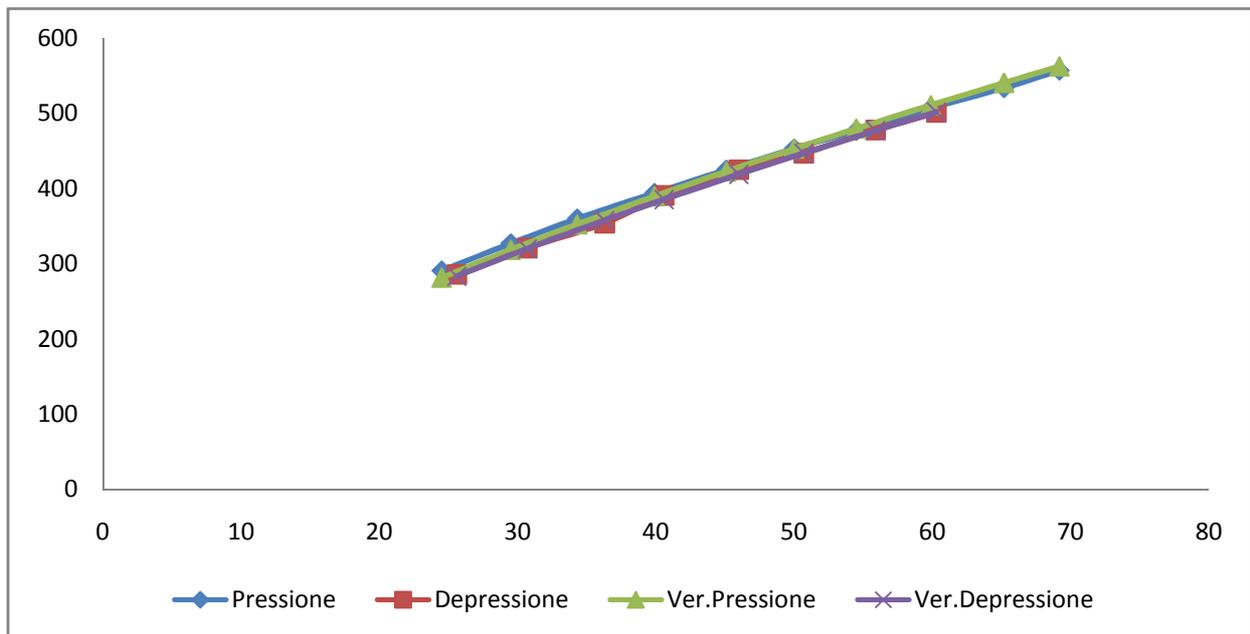
VOLUME: 195	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	49,8	347			
PRESS RIF	24,8	226	218	-3,5%	
DEPRESS 50	50,3	350			
DEPRESS RIF	25,2	226	221	-2,3%	
MEDIA	50,1	349			
MEDIA	25,0	226	219	-2,9%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
69,8	427	435			
64,4	407	412	65,0	413	415
59,6	389	391	61	400	398
55,2	370	372	55,5	373	374
49,8	347	347	50,3	350	350
44,9	325	324	45,4	326	327
39,8	301	299	40,1	303	301
34,7	278	273	35,1	278	275
29,7	252	246	30,2	252	249
24,8	226	218	25,2	226	221



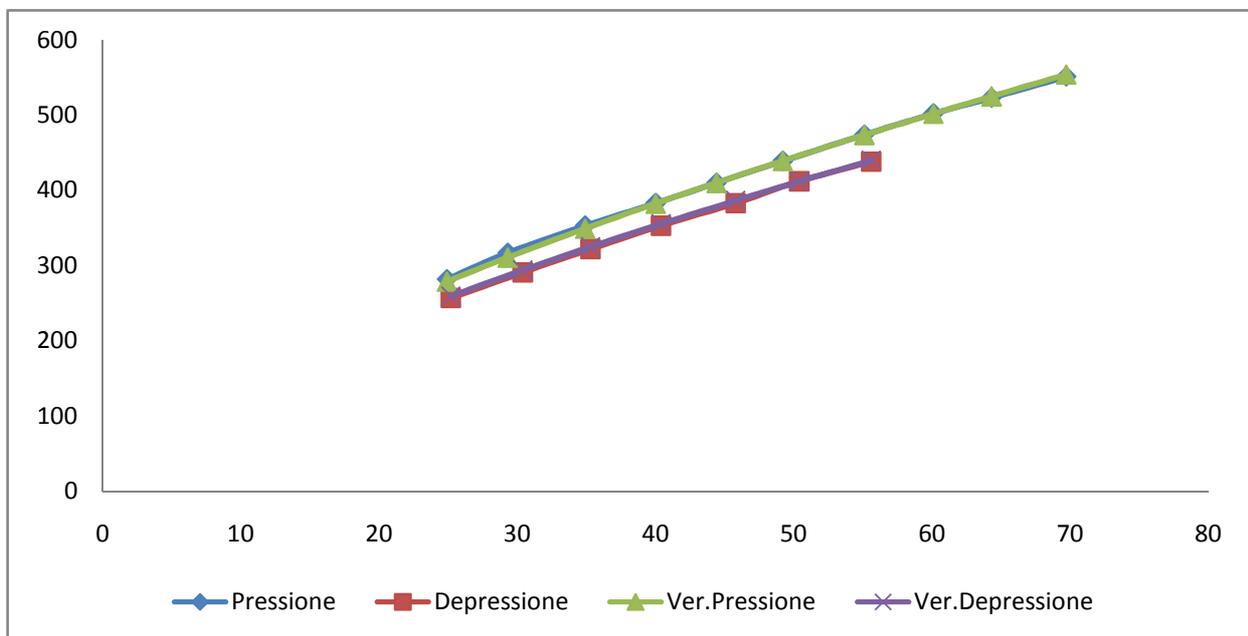
VOLUME: 274	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	50,0	453			
PRESS RIF	24,5	291	282	-3,2%	
DEPRESS 50	50,7	447			
DEPRESS RIF	25,6	286	283	-0,9%	
MEDIA	50,4	450			
MEDIA	25,1	289	283	-2,1%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
69,2	557	563			
65,2	534	541			
59,9	507	511	60,3	501	502
54,5	477	480	55,9	478	477
50,0	453	453	50,7	447	447
45,1	425	423	46	425	419
39,9	394	390	40,6	391	385
34,3	360	352	36,3	354	358
29,5	327	319	30,7	321	320
24,5	291	282	25,6	286	283



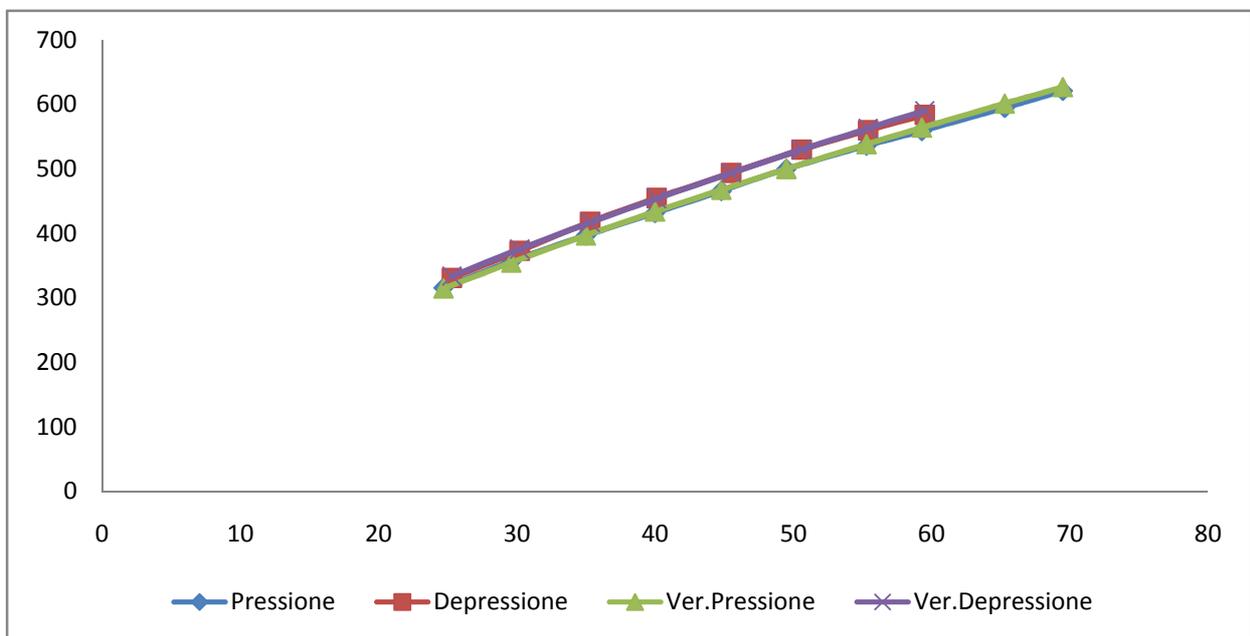
VOLUME: 211	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	49,2	439			
PRESS RIF	24,9	282	279	-1,1%	
DEPRESS 50	50,4	412			
DEPRESS RIF	25,2	257	260	1,0%	
MEDIA	49,8	426			
MEDIA	25,1	270	269	-0,1%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
69,7	551	554			
64,3	523	525			
60,1	502	502			
55,1	474	473	55,6	438	440
49,2	439	439	50,4	412	412
44,4	410	410	45,8	383	387
40	383	382	40,4	353	356
34,9	353	349	35,3	322	325
29,3	317	311	30,4	291	294
24,9	282	279	25,2	257	260



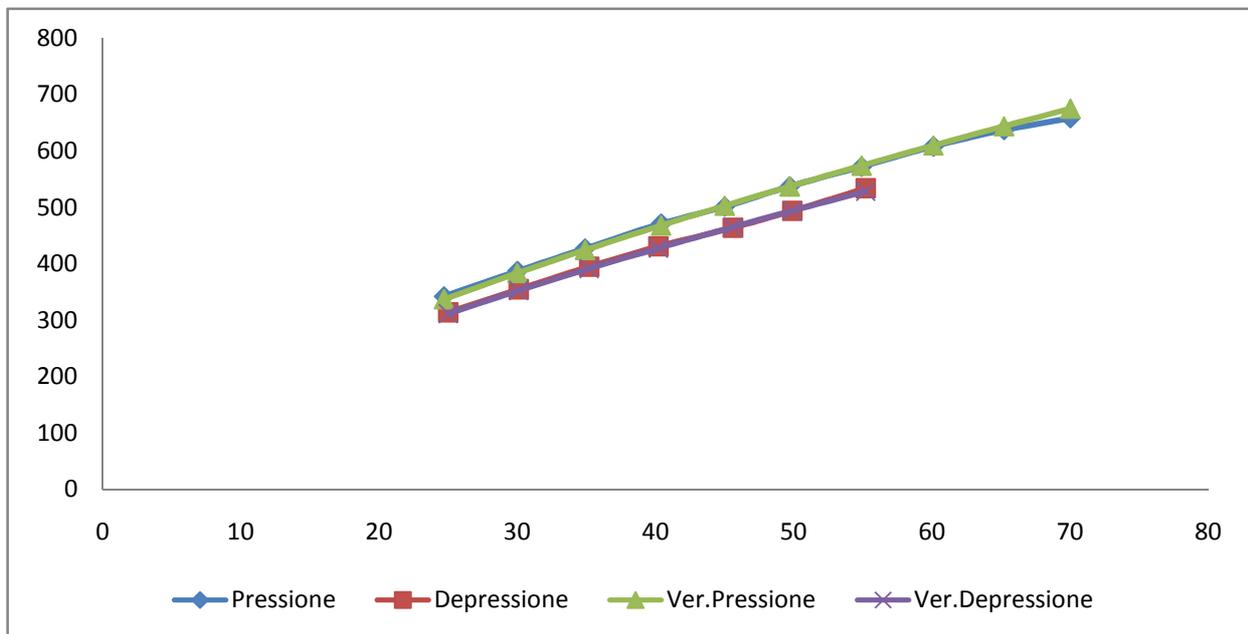
VOLUME: 286	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	49,5	500			
PRESS RIF	24,7	316	315	-0,5%	
DEPRESS 50	50,6	530			
DEPRESS RIF	25,3	331	334	0,9%	
MEDIA	50,1	515			
MEDIA	25,0	324	324	0,2%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
69,5	621	627			
65,3	595	601			
59,3	559	564	59,5	584	590
55,3	536	538	55,4	560	563
49,5	500	500	50,6	530	530
44,8	466	468	45,5	494	494
40	432	434	40,1	455	454
35	397	397	35,3	418	417
29,6	357	355	30,2	373	376
24,7	316	315	25,3	331	334



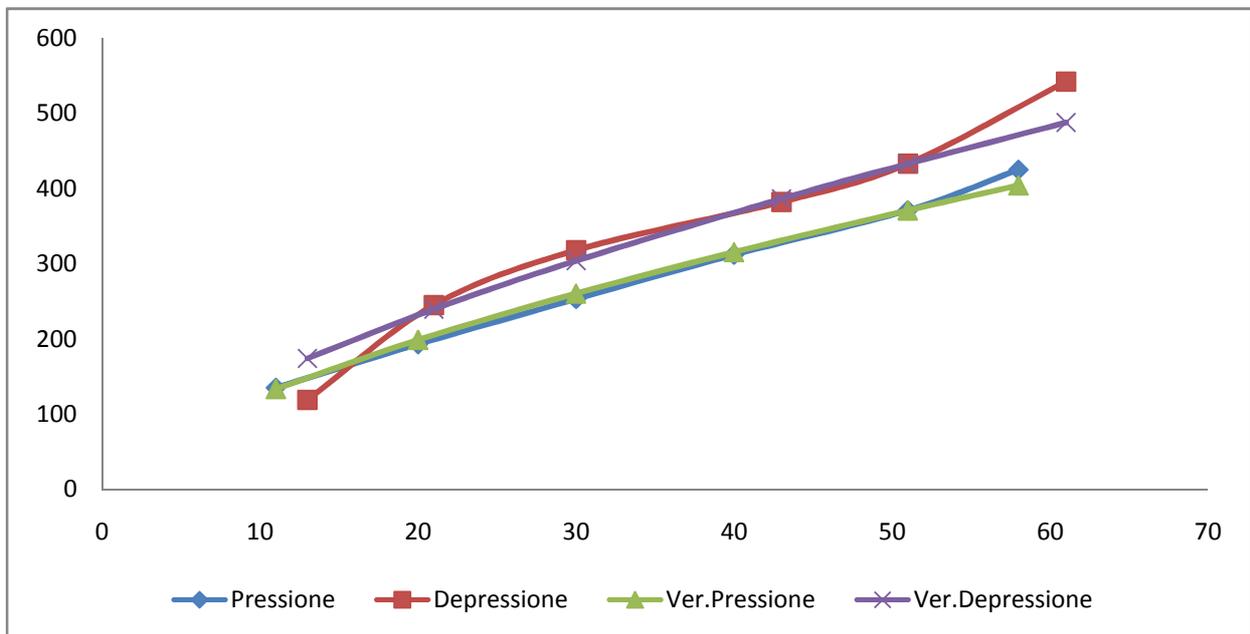
VOLUME: 221	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	49,7	537			
PRESS RIF	24,7	342	337	-1,5%	
DEPRESS 50	49,9	494			
DEPRESS RIF	25,0	314	312	-0,8%	
MEDIA	49,8	516			
MEDIA	24,9	328	324	-1,1%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
70	658	675			
65,2	637	644			
60,1	608	610			
54,9	572	574	55,2	534	528
49,7	537	537	49,9	494	494
45	501	503	45,6	464	465
40,4	471	468	40,2	431	428
34,9	427	424	35,2	395	391
30,0	387	384	30,1	355	353
24,7	342	337	25	314	312



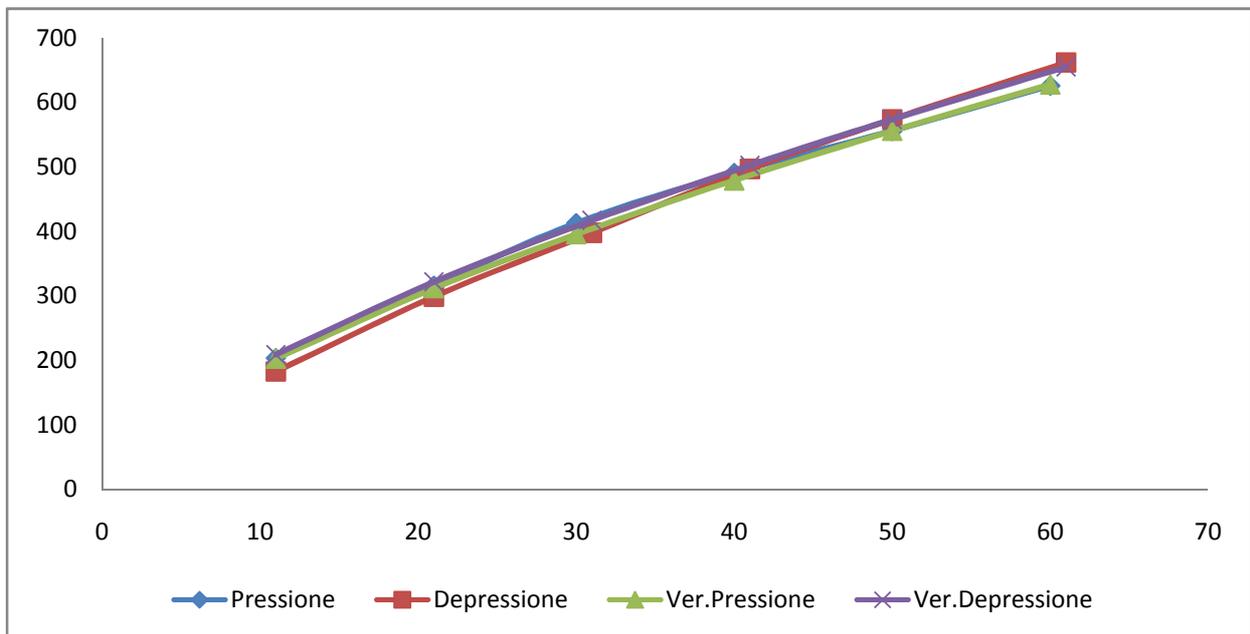
VOLUME: 584	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	51,0	371			
PRESS RIF	11,0	135	133	-1,2%	
DEPRESS 50	51,0	433			
DEPRESS RIF	13,0	119	174	46,3%	
MEDIA	51,0	402			
MEDIA	12,0	127	153	20,6%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
58	425	404	61	542	488
51,0	371	371	51	433	433
40	312	316	43	382	386
30	253	260	30	318	304
20	193	199	21	245	240
11,0	135	133	13	119	174



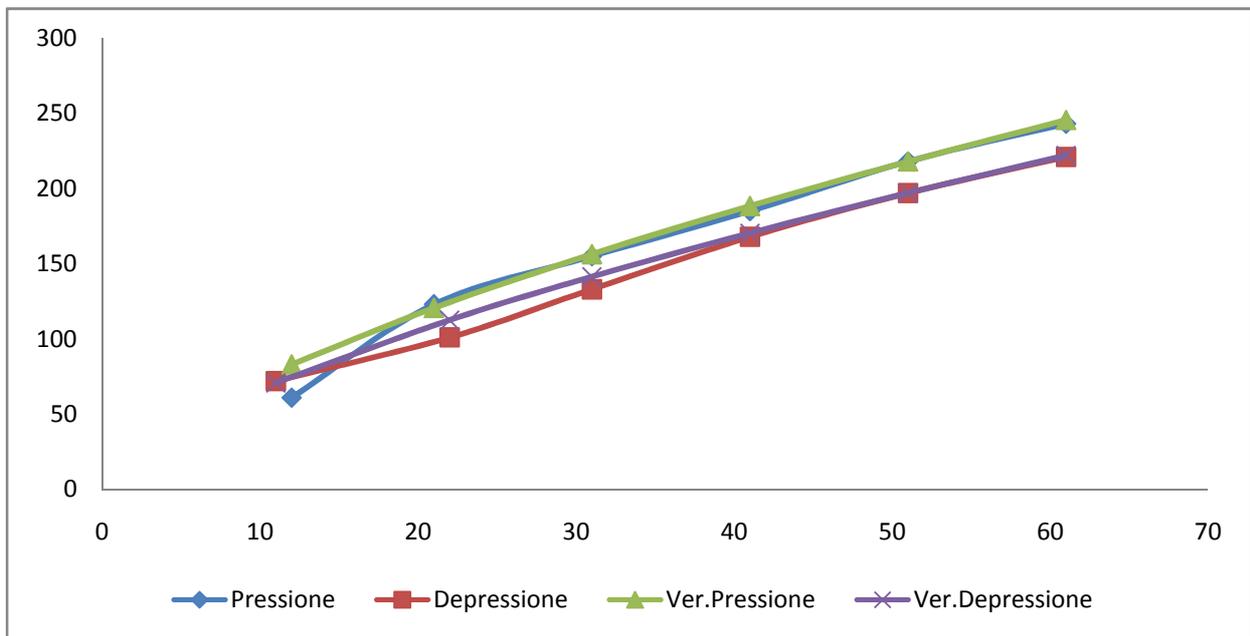
VOLUME: 150	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	50,0	556			
PRESS RIF	11,0	204	203	-0,7%	
DEPRESS 50	50,0	574			
DEPRESS RIF	11,0	183	209	14,3%	
MEDIA	50,0	565			
MEDIA	11,0	194	206	6,4%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
60	626	628	61	662	655
50,0	556	556	50	574	574
40	491	479	41	497	503
30	413	396	31	398	417
21	316	312	21	299	322
11,0	204	203	11	183	209



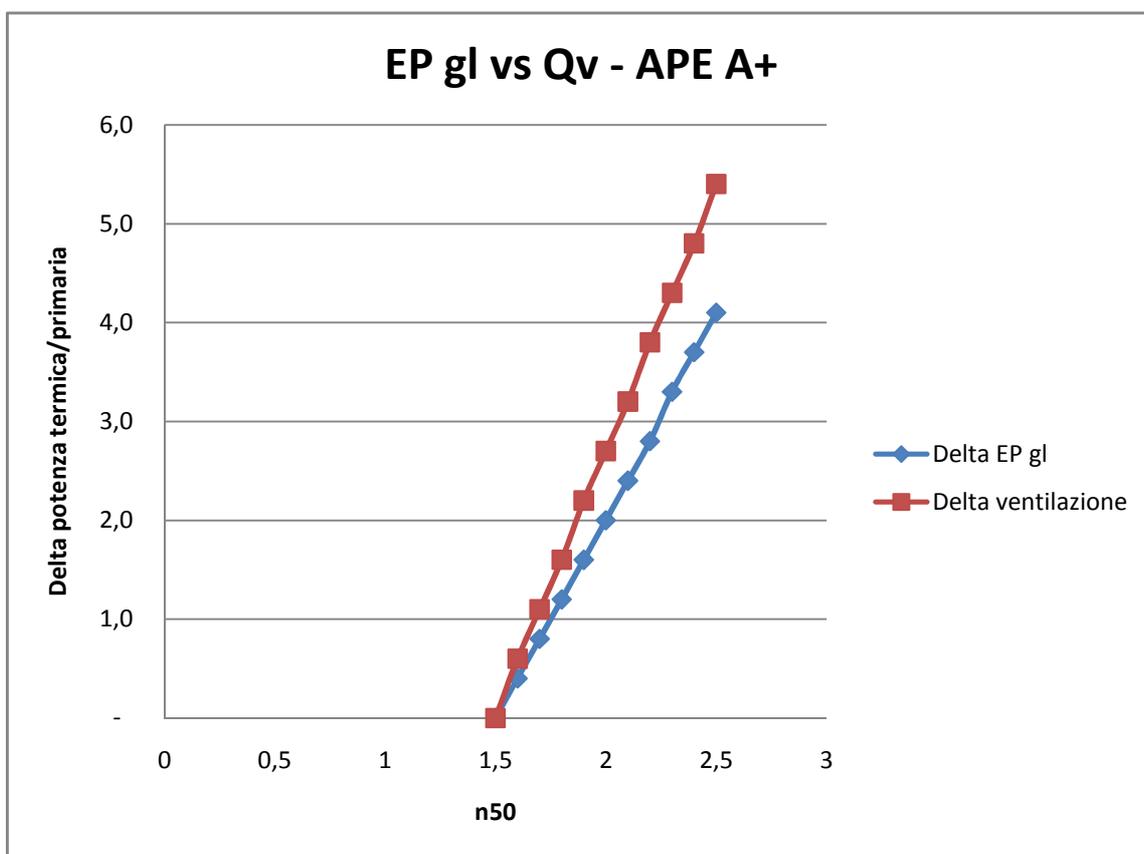
VOLUME: 365	ATT. Pressione Atm non calcolata				
DATI BDT	PRESSIONE	PORT.REAL	PORT.CALC	DELTA %	
PRESS 50	51,0	218			
PRESS RIF	12,0	61	83	36,2%	
DEPRESS 50	51,0	197			
DEPRESS RIF	11,0	72	71	-1,6%	
MEDIA	51,0	208			
MEDIA	11,5	67	77	15,6%	

PRESSIONE		VERIFICA	DEPRESSIONE		VERIFICA
PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC	PRESSIONE	PORT. REAL	PORT.CALC
61	243	246	61	221	222
51,0	218	218	51	197	197
41	185	188	41	168	170
31	155	156	31	133	141
21	123	121	22	101	112
12,0	61	83	11	72	71



Naturale  $Q_v$

RACCOLTA DATI DELTA VENTILAZIONE - CONFRONTO								
Epgl Base	Vent.Base	Infiltraz.	EPgl	Delta EP gl	Delta Qv	n50	Prog.EP	Prog.Qv
23,7	15,90	0,00	23,7	-	-			
	15,90	0,30	23,7	-	-	1,5	-	-
	16,5	0,31	24,1	0,4	0,6	1,6	0,4	0,6
	17	0,32	24,5	0,4	0,5	1,7	0,8	1,1
	17,5	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	0,5	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	0,40	27,8	0,4	0,6	2,5	4,1	5,4



Le conclusioni nel dire che ogni 1 vol/h perdo 5 di potenza è quindi confermato anche dal confronto con Delta Qv

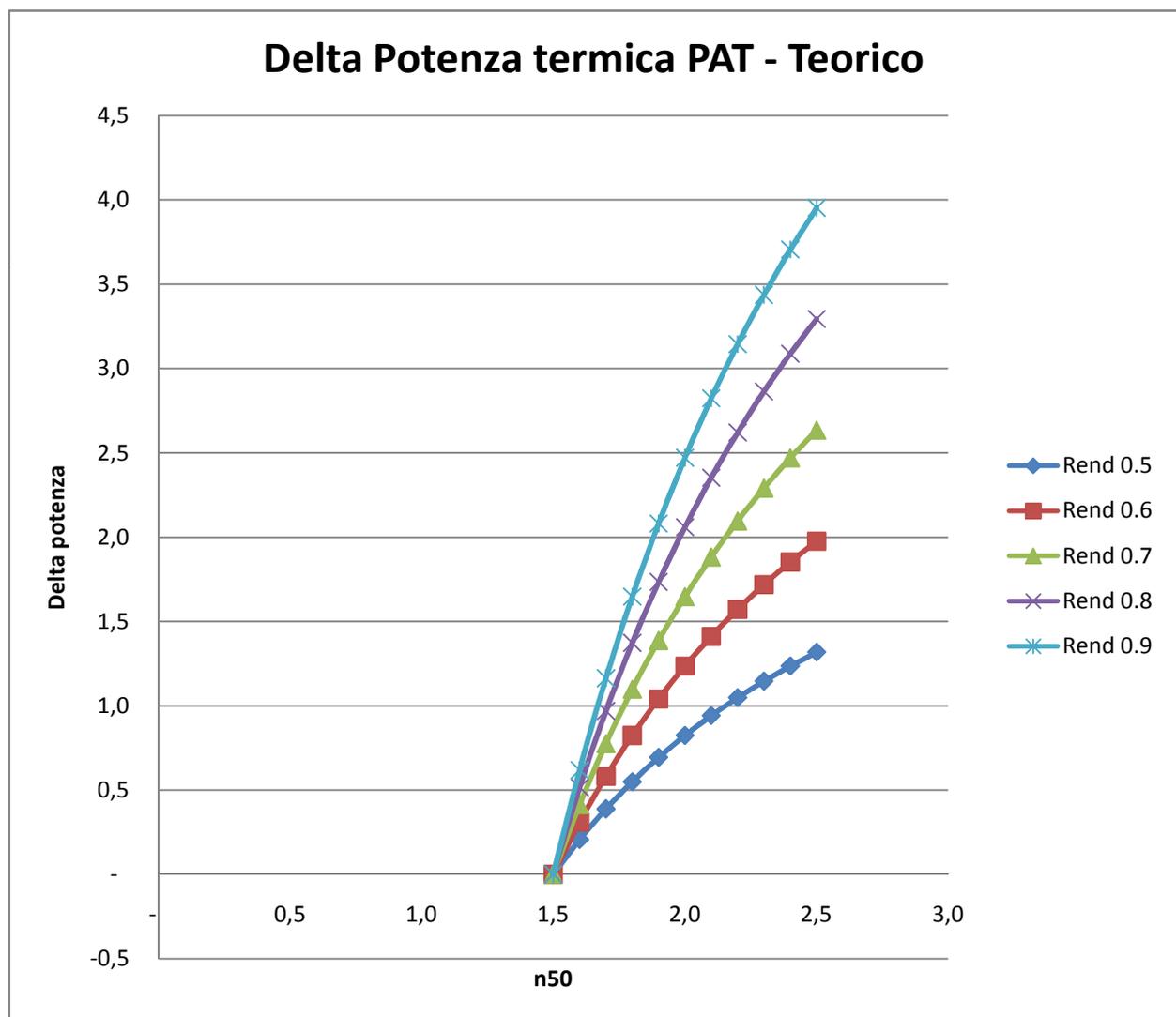
# Rendimenti teorici vs APE

**VALORI TEORICI**

Q VENTILAZIONE RIFERIMENTO: **16,47**

REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,5	8,24	1,5	1,5	0,50	8,24	0%	-
			1,6	0,49	8,44	3%	0,2
			1,7	0,48	8,62	5%	0,4
			1,8	0,47	8,78	7%	0,5
			1,9	0,46	8,93	8%	0,7
			2	0,45	9,06	10%	0,8
			2,1	0,44	9,18	11%	0,9
			2,2	0,44	9,28	13%	1,0
			2,3	0,43	9,38	14%	1,1
			2,4	0,43	9,47	15%	1,2
			2,5	0,42	9,55	16%	1,3
REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,6	6,59	1,5	1,5	0,60	6,59	0%	-
			1,6	0,58	6,90	5%	0,3
			1,7	0,56	7,17	9%	0,6
			1,8	0,55	7,41	13%	0,8
			1,9	0,54	7,63	16%	1,0
			2	0,53	7,82	19%	1,2
			2,1	0,51	8,00	21%	1,4
			2,2	0,50	8,16	24%	1,6
			2,3	0,50	8,31	26%	1,7
			2,4	0,49	8,44	28%	1,9
			2,5	0,48	8,56	30%	2,0
REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,7	4,94	1,5	1,5	0,70	4,94	0%	-
			1,6	0,68	5,35	8%	0,4
			1,7	0,65	5,72	16%	0,8
			1,8	0,63	6,04	22%	1,1
			1,9	0,62	6,33	28%	1,4
			2	0,60	6,59	33%	1,6
			2,1	0,59	6,82	38%	1,9
			2,2	0,57	7,04	42%	2,1
			2,3	0,56	7,23	46%	2,3
			2,4	0,55	7,41	50%	2,5
			2,5	0,54	7,58	53%	2,6
REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,8	3,29	1,5	1,5	0,80	3,29	0%	-
			1,6	0,77	3,81	16%	0,5
			1,7	0,74	4,26	29%	1,0
			1,8	0,72	4,67	42%	1,4
			1,9	0,69	5,03	53%	1,7
			2	0,68	5,35	63%	2,1
			2,1	0,66	5,65	71%	2,4
			2,2	0,64	5,91	80%	2,6
			2,3	0,63	6,16	87%	2,9
			2,4	0,61	6,38	94%	3,1
			2,5	0,60	6,59	100%	3,3

REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,9	1,65	1,5	1,5	0,90	1,65	0%	0,0
			1,6	0,86	2,26	38%	0,6
			1,7	0,83	2,81	71%	1,2
			1,8	0,80	3,29	100%	1,6
			1,9	0,77	3,73	126%	2,1
			2	0,75	4,12	150%	2,5
			2,1	0,73	4,47	171%	2,8
			2,2	0,71	4,79	191%	3,1
			2,3	0,69	5,08	209%	3,4
			2,4	0,68	5,35	225%	3,7
			2,5	0,66	5,60	240%	4,0

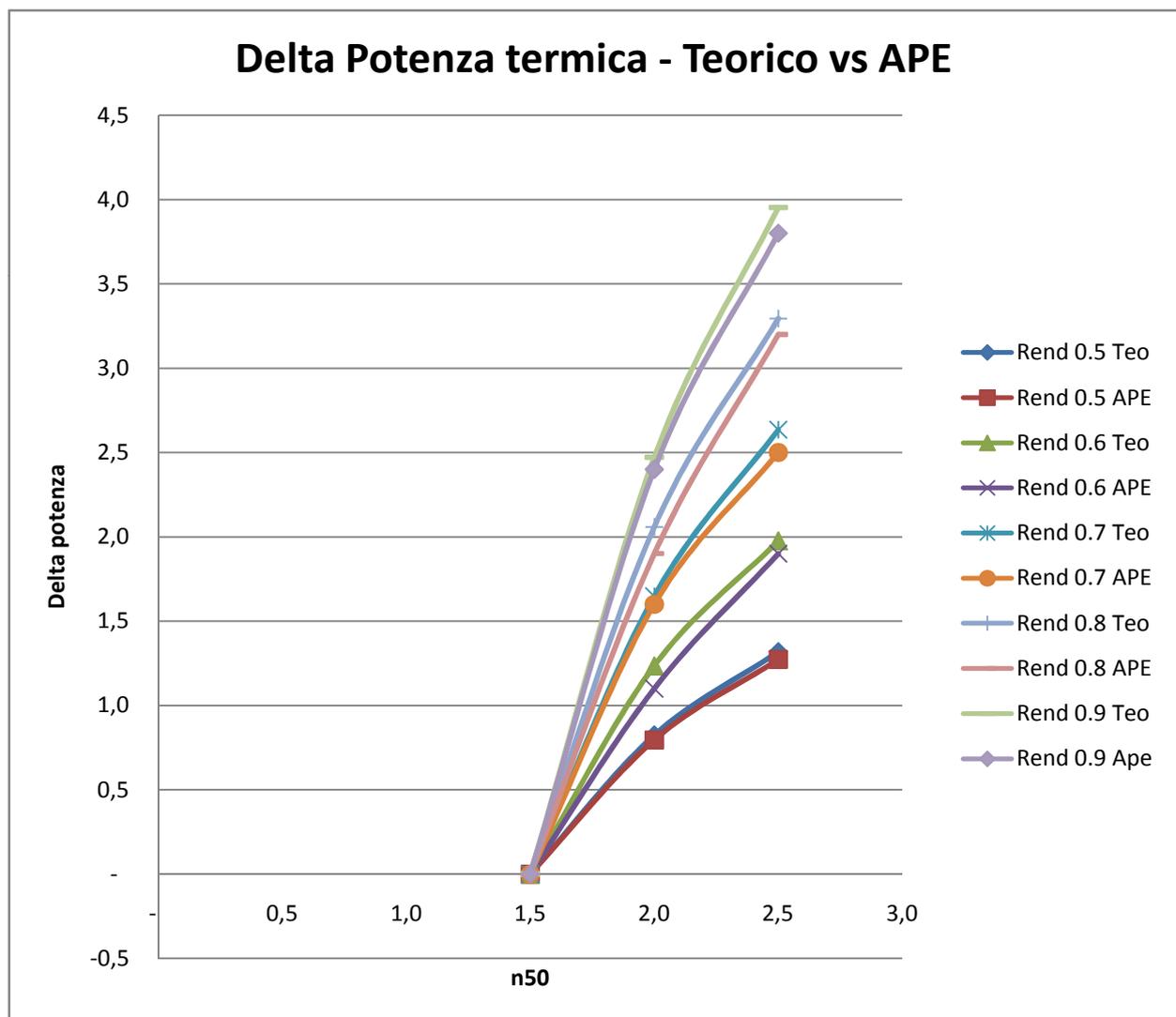


**VALORI APE**

Q VENTILAZIONE RIFERIMENTO: 15,9

REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,5	8	1,5	1,5	0,50	8,00	0%	-
			1,6	0,49			
			1,7	0,48			
			1,8	0,47			
			1,9	0,46			
			2	0,45	8,80	10%	0,8
			2,1	0,44			
			2,2	0,44			
			2,3	0,43			
			2,4	0,43			
			2,5	0,42	9,27	16%	1,3
REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,6	6,4	1,5	1,5	0,60	6,40	0%	-
			1,6	0,58			
			1,7	0,56			
			1,8	0,55			
			1,9	0,54			
			2	0,53	7,5	17%	1,1
			2,1	0,51			
			2,2	0,50			
			2,3	0,50			
			2,4	0,49			
			2,5	0,48	8,3	30%	1,9
REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,7	4,8	1,5	1,5	0,70	4,80	0%	-
			1,6	0,68			
			1,7	0,65			
			1,8	0,63			
			1,9	0,62			
			2	0,60	6,4	33%	1,6
			2,1	0,59			
			2,2	0,57			
			2,3	0,56			
			2,4	0,55			
			2,5	0,54	7,3	52%	2,5
REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,8	3,2	1,5	1,5	0,80	3,20	0%	-
			1,6	0,77			
			1,7	0,74			
			1,8	0,72			
			1,9	0,69			
			2	0,68	5,10	59%	1,9
			2,1	0,66			
			2,2	0,64			
			2,3	0,63			
			2,4	0,61			
			2,5	0,60	6,4	100%	3,2

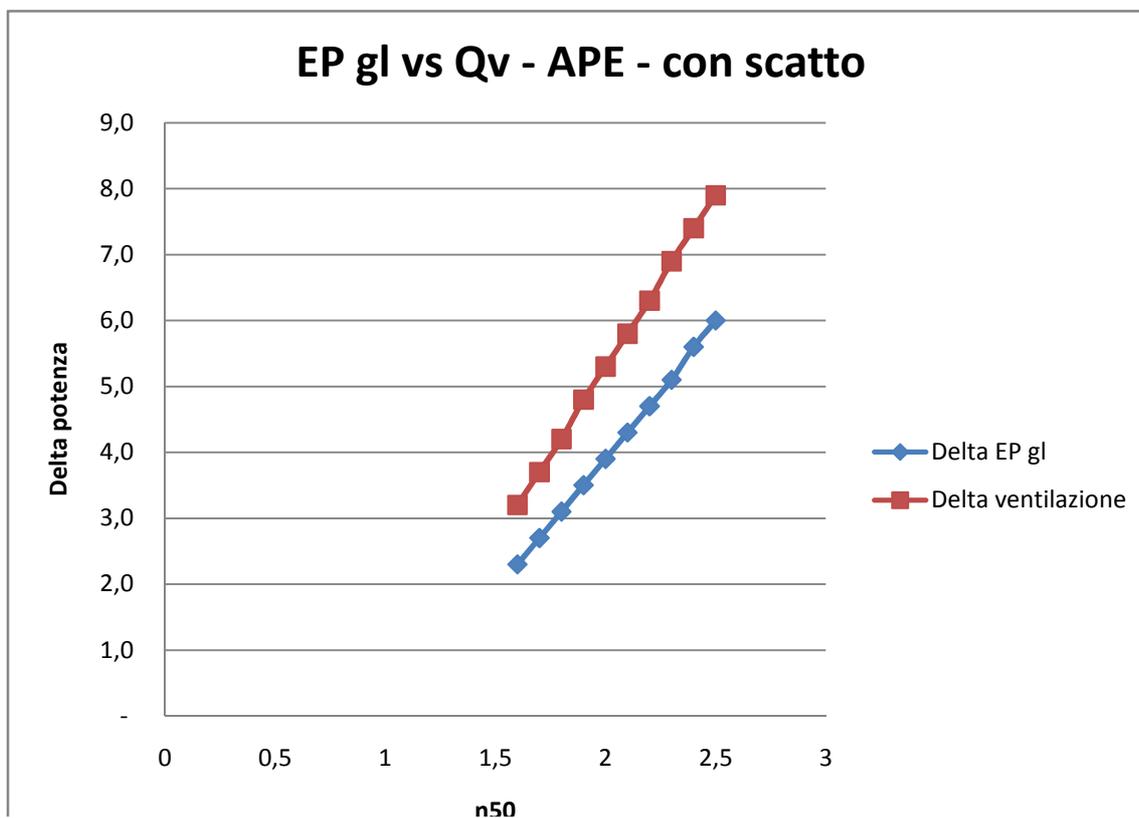
REND.	POTENZA	N50 LIM.	N50 MIS.	REND.REAL.	POT.REAL.	DELTA%	DELTA POT.
0,9	1,6	1,5	1,5	0,90	1,60	0%	-
			1,6	0,86			
			1,7	0,83			
			1,8	0,80			
			1,9	0,77			
			2	0,75	4,00	150%	2,4
			2,1	0,73			
			2,2	0,71			
			2,3	0,69			
			2,4	0,68			
			2,5	0,66	5,40	238%	3,8



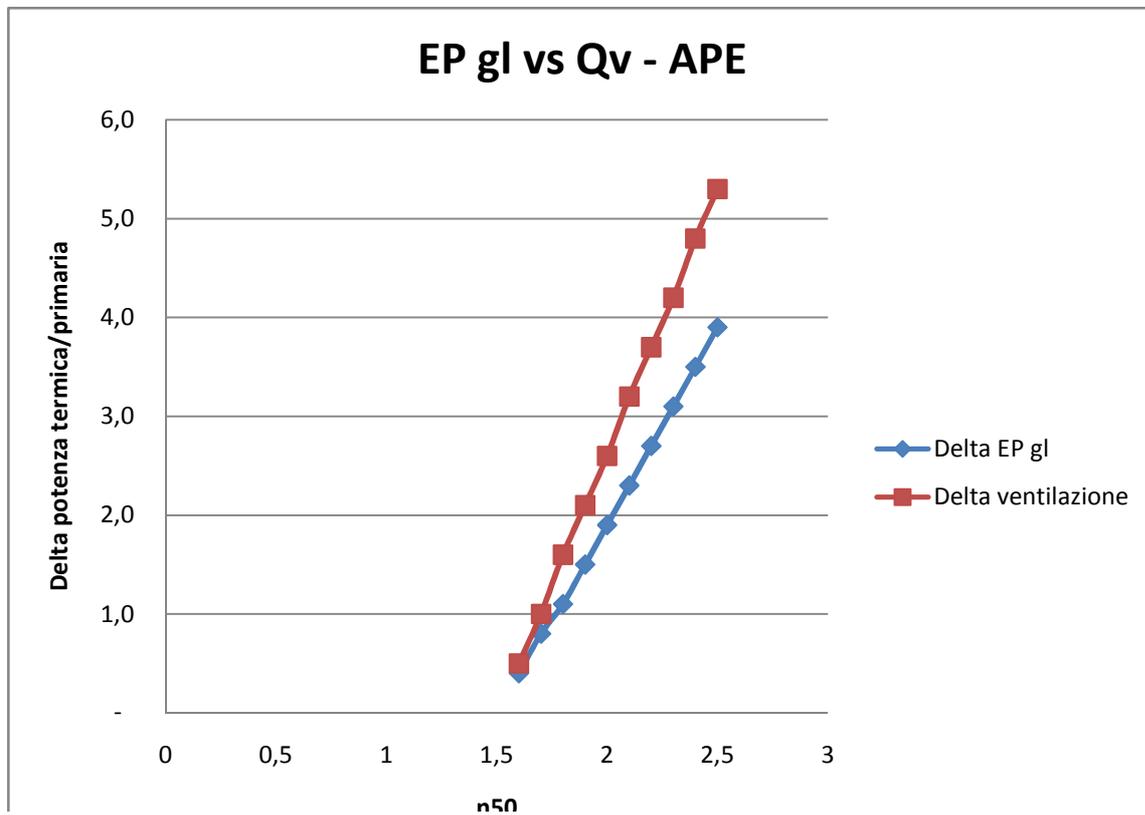
*EP<sub>gl</sub> vs Q<sub>v</sub> vs η*

DELTA PERC. VENTILAZIONE VS EP gl					
Epgl	Vent.base	Infiltraz.	EPgl	Delta EP gl	Delta Qv
19,0	8,00	0,00	19,0	-	-
	10,6	0,05	20,6	1,6	2,6
25,3	8,00	0,00	25,3	-	-
	10,6	0,05	27,4	2,1	2,6
32,6	8,00	0,00	32,6	-	-
	10,6	0,05	35,0	2,4	2,6

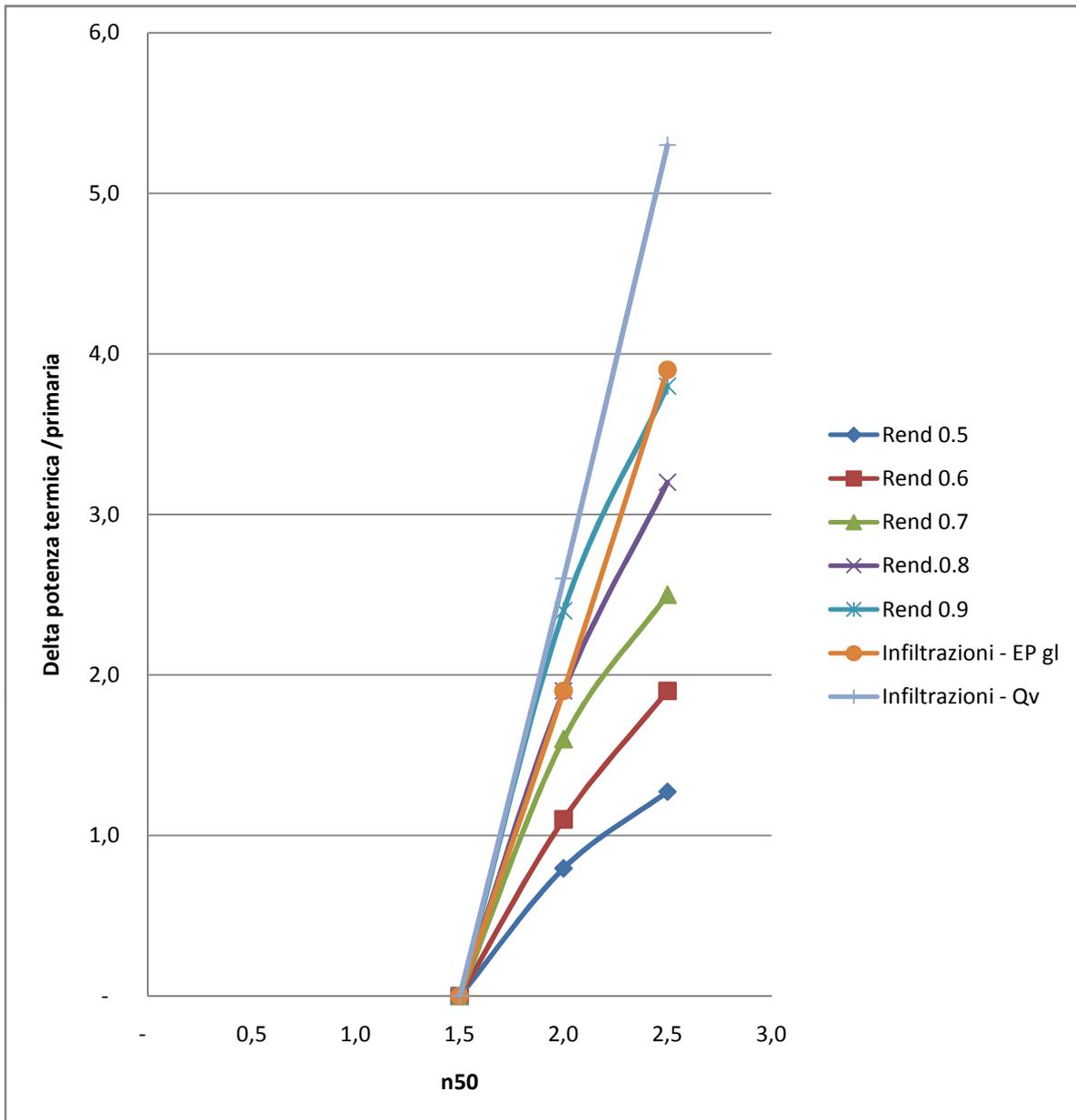
CASO CON STACCO INIZIALE CON RIFERIMENTO LIMITI 2016								
RACCOLTA DATI DELTA VENTILAZIONE - CONFRONTO - REND.50%								
Epgl Base	Vent.Base	Infiltraz.	EPgl	Delta EP gl	Delta Qv	n50	Prog.EP	Prog.Qv
21,6	8,00	0,00	21,6	-	-			
	10,6	0,05	23,5	1,9	2,6	1,5	1,9	2,6
	11,2	0,06	23,9	0,4	0,6	1,6	2,3	3,2
	11,7	0,07	24,3	0,4	0,5	1,7	2,7	3,7
	12,2	0,08	24,7	0,4	0,5	1,8	3,1	4,2
	12,8	0,09	25,1	0,4	0,6	1,9	3,5	4,8
	13,3	0,10	25,5	0,4	0,5	2,0	3,9	5,3
	13,8	0,11	25,9	0,4	0,5	2,1	4,3	5,8
	14,3	0,12	26,3	0,4	0,5	2,2	4,7	6,3
	14,9	0,13	26,7	0,4	0,6	2,3	5,1	6,9
	15,4	0,14	27,2	0,5	0,5	2,4	5,6	7,4
	15,9	0,15	27,6	0,4	0,5	2,5	6,0	7,9
n50 limite 2014:			1,5					
n50 limite 2016:			1					
n50 limite 2018:			0,6					



CASO SENZA STACCO INIZIALE								
RACCOLTA DATI DELTA VENTILAZIONE - CONFRONTO - REND 50 %								
Epgl Base	Vent.Base	Infiltraz.	EPgl	Delta EP gl	Delta Qv	n50	Prog.EP	Prog.Qv
21,6	8,00	0,00	21,6	-	-	1,5	-	-
	8,50	0,01	22,0	0,4	0,5	1,6	0,4	0,5
	9,00	0,02	22,4	0,4	0,5	1,7	0,8	1,0
	9,60	0,03	22,7	0,3	0,6	1,8	1,1	1,6
	10,1	0,04	23,1	0,4	0,5	1,9	1,5	2,1
	10,6	0,05	23,5	0,4	0,5	2,0	1,9	2,6
	11,2	0,06	23,9	0,4	0,6	2,1	2,3	3,2
	11,7	0,07	24,3	0,4	0,5	2,2	2,7	3,7
	12,2	0,08	24,7	0,4	0,5	2,3	3,1	4,2
	12,8	0,09	25,1	0,4	0,6	2,4	3,5	4,8
	13,3	0,10	25,5	0,4	0,5	2,5	3,9	5,3



## CONFRONTO SU POTENZA TERMICA



NB! La potenza termica per ventilazione viene convertita in energia primaria.

Il valore calcolato usando la voce "infiltrazioni" e considerando la variazione Qv risulta più lineare e facile da prendere in riferimento. Questo infatti è indipendente dalla classe energetica EP gl di partenza e dal rendimento stabilito.

# Proposta finale

**SENZA STACCO INIZIALE PER A+**

Vent.Base	Infiltraz.	Delta Qv	n50	Prog.Qv
8,00	0,00	-	1,5	-
8,50	0,01	0,5	1,6	0,5
9,00	0,02	0,5	1,7	1,0
9,60	0,03	0,6	1,8	1,6
10,1	0,04	0,5	1,9	2,1
10,6	0,05	0,5	2,0	2,6
11,2	0,06	0,6	2,1	3,2
11,7	0,07	0,5	2,2	3,7
12,2	0,08	0,5	2,3	4,2
12,8	0,09	0,6	2,4	4,8
13,3	0,10	0,5	2,5	5,3
n50 limite 2014:			1,5	
n50 limite 2016:			1	
n50 limite 2018:			0,6	

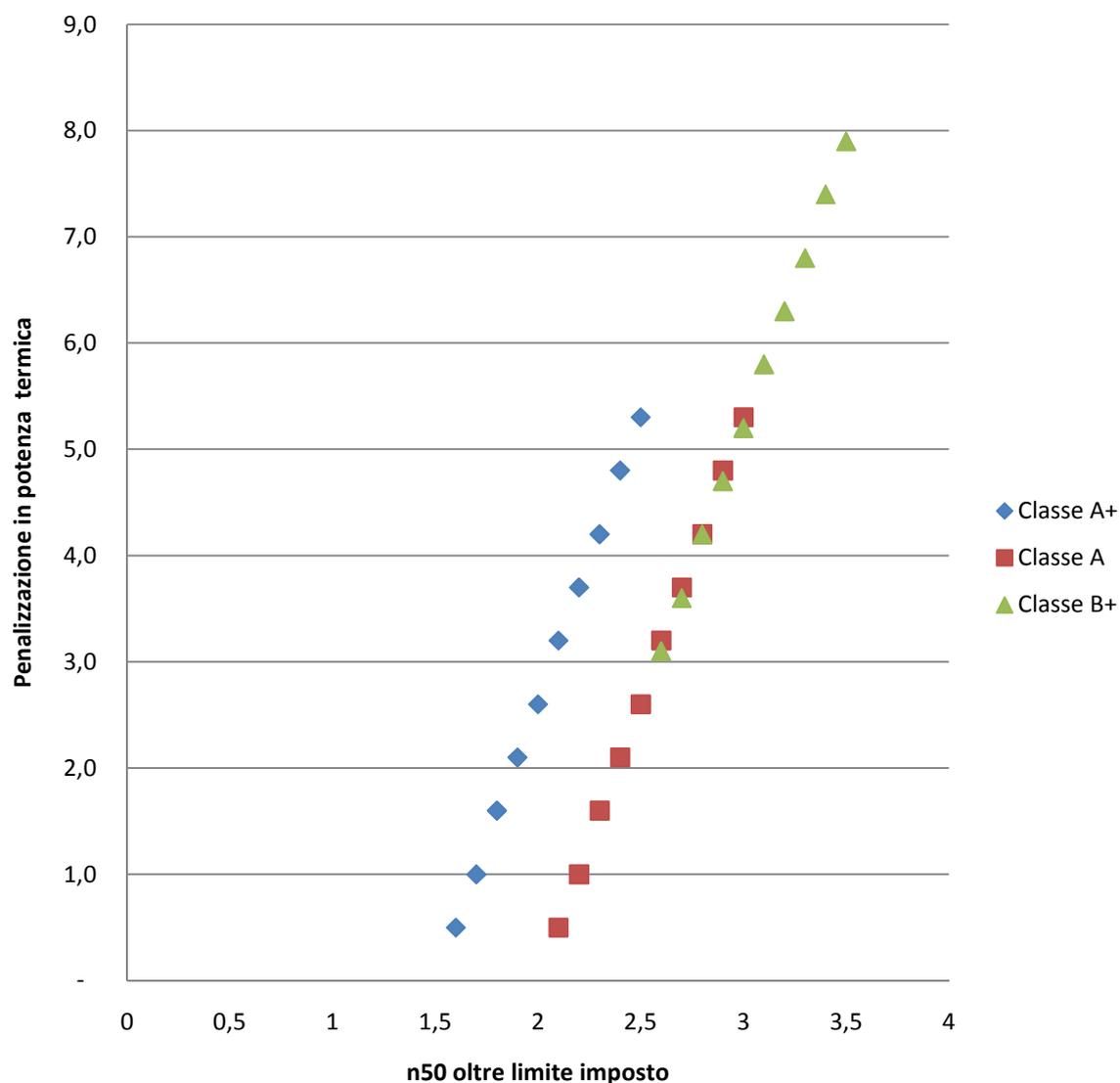
**SENZA STACCO INIZIALE PER A**

Vent.Base	Infiltraz.	Excel APE	Delta Qv	n50	Prog.Qv
8,00	0,00	0,35	-	2	-
8,50	0,01	0,36	0,5	2,1	0,5
9,00	0,02	0,37	0,5	2,2	1,0
9,60	0,03	0,38	0,6	2,3	1,6
10,1	0,04	0,39	0,5	2,4	2,1
10,6	0,05	0,40	0,5	2,5	2,6
11,2	0,06	0,41	0,6	2,6	3,2
11,7	0,07	0,42	0,5	2,7	3,7
12,2	0,08	0,43	0,5	2,8	4,2
12,8	0,09	0,44	0,6	2,9	4,8
13,3	0,10	0,45	0,5	3	5,3
n50 limite 2014:			2		
n50 limite 2016:			1,5		
n50 limite 2018:			1		

**CON STACCO INIZIALE PER B+**

Vent.Base	Infiltraz.	Excel APE	Delta Qv	n50	Prog.Qv
8,00	0,05	0,40	2,6	2,5	2,6
8,50	0,06	0,41	0,5	2,6	3,1
9,00	0,07	0,42	0,5	2,7	3,6
9,60	0,08	0,43	0,6	2,8	4,2
10,1	0,09	0,44	0,5	2,9	4,7
10,6	0,10	0,45	0,5	3	5,2
11,2	0,11	0,46	0,6	3,1	5,8
11,7	0,12	0,47	0,5	3,2	6,3
12,2	0,13	0,48	0,5	3,3	6,8
12,8	0,14	0,49	0,6	3,4	7,4
13,3	0,15	0,50	0,5	3,5	7,9
n50 limite 2014:			2,5		
n50 limite 2016:			2		
n50 limite 2018:			1,5		

## Penalizzazioni



Si nota che la Classe A+ e A partono con penalizzazione nulla sul limite di legge di 1,5 e 2,0. Questo non è lo stesso per la Classe B+. Dal momento che un BDT di 2,5 non implica certo che l'involucro sia perfettamente performato, si aggiunge a questo (solo nel caso si superi il limite di 2,5) la potenza in riferimento al livello della classe A. In questo modo si introduce il limite di legge che verrà nel 2016 e ci si proietta per una migliore qualità e attenzione dell'insieme.

# Meteo Trentino - Ventosità Roncafort

Sito T0135 Trento (Roncafort) Sito T0135  
 Variabile 515.00 Media Velocita', vento media in metri/secondo  
 Figures are for period fine 24:00

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media Mensile	Media Mensile	Missing Giorni	Yr
2000	[ 1.2 ]	[ 1.5 ]	[ 1.7 ]	[ 2.2 ]	[ 1.6 ]	[ 2.1 ]	1.9	1.6	1.4	[1.2]	1.2	0.9	[1.5]	[1.4]	178	2000
2001	0.8	1.3	2.0	1.8	1.6	2.0	1.9	1.6	1.5	1.0	1.3	1.3	1.6	1.6	0	2001
2002	1.4	1.6	1.6?	1.5?	[1.5]	1.8	1.5	1.4	1.4	1.2	1.3	1.0	1.4	1.4	0	2002
2003	1.2	1.6	1.7	1.9	[1.8]	1.5	[1.6]	1.0?	0.0?	0.1?	1.0	1.2	[1.2]	[1.4]	4	2003
2004	[1.5]	1.8	1.5	1.5	[1.9]	[0.5]	0.5	0.5	0.4?	0.8	1.3	1.0	[1.3]	[1.3]	12	2004
2005	1.1	1.0	1.9	1.0	0.6?	0.5?	0.2?	0.3?	0.2?	[0.3]	0.3?	0.5?	[0.7]	[0.5]	7	2006
2006	0.6?	[0.3]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[0.4]	[0.4]	323	2007
2007	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	366	2008
2008	[ ]	[ ]	[ ]	1.6?	2.3?	2.5?	2.2?	2.2?	1.7?	1.6?	1.0?	1.3?	[1.8]	[1.7]	90	2009
2009	1.5?	1.6?	2.0?	2.4?	2.4?	2.5?	2.3?	2.4?	1.7?	1.3?	1.3?	1.1?	1.9?	1.9?	0	2010
2010	0.8?	[1.1]	[1.8]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[1.2]	[1.1]	291	2011
2011	[ ]	[1.5]	2.1	1.9	2.3	2.2	2.1	2.1	1.6	1.3	1.2	1.2	[1.8]	[1.9]	46	2012
2012	[1.4]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[1.4]	[1.4]	345	2013
Media	[1.1]	[1.3]	[1.8]	1.7?	[1.7]	[1.7]	[1.5]	1.3?	1.1?	[1.0]	1.1?	1.1?	[1.3]	[1.4]	1664	Total
Med.	[1.2]	[1.5]	[1.8]	1.8?	[1.6]	[1.9]	[1.7]	1.5?	1.4?	[1.1]	1.2?	1.2?	[1.3]	[1.4]		Media
Max	[1.5]	[1.8]	[2.1]	2.4?	[2.4]	[2.5]	[2.3]	2.4?	1.7?	[1.6]	1.3?	1.3?	[1.9]	[1.4]		Med.
Min	[0.6]	[0.3]	[1.5]	1.0?	[0.6]	[0.5]	[0.2]	0.1?	0.0?	[0.1]	0.3?	0.5?	[0.4]	[1.4]		Max
OK	96%	88%	95%	100%	98%	89%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	97%	[1.4]		Min
Cnt	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	13	[1.4]		OK
																Cnt

----- Nota -----  
 Tutti i dati sono continui e attendibili ad eccezione  
 di quelli contrassegnati dai seguenti simboli...  
 ? dato incerto per malfunzionamento  
 [ ] dato mancante

Trento (Roncafort)  
 Massimo Velocita' vento media in metri/secondo  
 Figures are for period fine 24:00

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Annuale Max	Missing Giorni	Yr
2000	[ 7.5	[ 8.2	[ 9.9	[ 9.5	[ 8.4	[10.1]	8.5	7.6	9.6	[7.6]	7.3	6.1	[10.1]	178	2000
2001	3.4	9.4	8.8	8.7	7.1	8.8	6.5	7.3	7.8	7.5	8.2	7.1	9.9	0	2001
2002	5.8	7.4	9.0?	8.5?	[9.6]	7.1	7.7	6.4	6.2	9.7	6.6	5.8	9.7	0	2002
2003	6.4	7.3	9.7	8.8	[8.3]	[7.4]	[12.8]	6.4?	0.0?	2.9?	7.1	7.0	[12.8]	4	2003
2004	[8.6]	7.6	9.5	7.9	7.1	[5.7]	8.1	7.2?	4.3?	6.3	12.6	6.4	[12.6]	12	2004
2005															2005
2006	5.8	6.2	9.1	8.0	5.6?	5.9?	1.5?	3.8?	2.0?	[5.0]	2.7?	3.1?	[9.1]	7	2006
2007	5.5?	[1.8]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[5.5]	323	2007
2008	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	366	2008
2009	[ ]	[ ]	[ ]	8.7?	9.2?	9.2?	11.6?	9.3?	8.4?	7.4?	5.1?	8.6?	[11.6]	90	2009
2010	8.7?	7.9?	9.2?	10.1?	9.0?	10.6?	9.1?	8.3?	7.8?	6.8?	7.5?	6.9?	10.6?	0	2010
2011	5.5?	[7.9]	[10.2]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[10.2]	291	2011
2012	[ ]	[10.0]	11.0	10.1	9.7	9.8	8.9	10.3	8.2	9.7	6.0	6.3	[11.0]	46	2012
2013	[7.9]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[7.9]	345	2013
Media	[6.5]	[7.4]	[9.6]	8.9?	[8.2]	[8.3]	[8.4]	7.1?	5.9?	[6.8]	6.8?	6.5?	[10.0]		Media
Med.	[6.1]	[7.7]	[9.5]	8.7?	[8.4]	[8.4]	[8.7]	7.2?	7.0?	[7.1]	6.8?	6.6?	[10.0]		Med.
Max	[8.7]	[10.0]	[11.0]	10.1?	[9.7]	[10.6]	[12.8]	10.3?	9.6?	[9.7]	12.6?	8.6?	[12.8]		Max
Min	[3.4]	[1.8]	[8.8]	7.9?	[5.6]	[5.7]	[1.5]	3.8?	0.0?	[2.9]	2.7?	3.1?	[5.5]		Min
OK	96%	88%	95%	100%	98%	89%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	97%		OK
Cnt	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	13		Cnt
														1664	Total

----- Nota -----  
 Tutti i dati sono continui e attendibili ad eccezione  
 di quelli contrassegnati dai seguenti simboli....  
 ? dato incerto per malfunzionamento  
 [ ] dato mancante

p.305 “Il clima come elemento nell’edilizia”

( $\rho$  è la densità dell'aria) graficata a tratto pieno.

La relazione

$$(VII.6.3) \quad \Delta p = K \rho v^2$$

può essere giustificata considerando la variazione della quantità di moto del vento incidente sulla parete dell'edificio; il fattore di forma  $K$  risulta quindi, nel nostro caso,  $1/2$ .

Sostituendo la (VII.6.2) nella (VII.6.1) si ottiene:

$$(VII.6.4) \quad Q_1 = k c L \left(\frac{1}{2} \rho\right)^{2/3} v^{4/3} = k' c L v^{4/3}$$

Qualora  $Q_1$  sia espresso in  $m^3/h$ ,  $L$  in  $m$  e  $v$  in  $m/sec$  il coefficiente  $k'$  risulta pari a 0.067.

Le norme UNI [1] forniscono le seguenti indicazioni relative a  $c$ :

- $c =$
- 2.5 per buoni serramenti doppi;
  - 4 per giunti ad incastro di buoni serramenti in legno o metallo;
  - 10 per serramenti in metallo a semplice battuta;
  - 15 per le aperture sotto le porte;

Nelle Figg. VII.6.2, VII.6.3 e VII.6.4 sono mostrati alcuni dati sperimentali ricavati da [5]. Si vede che la legge (VII.6.4) è valida solo approssimativamente ( $c$  non è costante al variare di  $v$ ).

E' interessante notare che una finestra di pessima qualità, una volta dotata di guarnizioni (commercialmente disponibili a prezzi assai modesti e facilmente applicabili anche dai singoli utenti) risulta dotata di una tenuta confrontabile con quella di finestre di buona qualità. Per rendere più facilmente utilizzabili i dati delle Figg. VII.6.2, VII.6.3 e VII.6.4 mostriamo anche, in Fig. VII.6.5, l'andamento delle infiltrazioni, in  $m^3/h$   $m$ , in funzione di  $\Delta P$  ( $N/m^2$ ) e di  $v$  ( $m/sec$ ) e per  $c = 2, 4$  e 10.

La qualità degli infissi deve essere scelta in modo tale che in ogni stanza le infiltrazioni si mantengano, anche nei periodi più ventosi, inferiori a quanto dettato da esigenze di confortevolezza; in pratica si richiede che le infiltrazioni non provochino mai un ricambio superiore ad un 1 volume/h.

La scelta della qualità degli infissi viene a dipendere, in tal modo, dalle dimensioni sia della stanza, sia dell'infisso.

Nel seguito, a titolo illustrativo, sono riportate due possibili parametrizza-

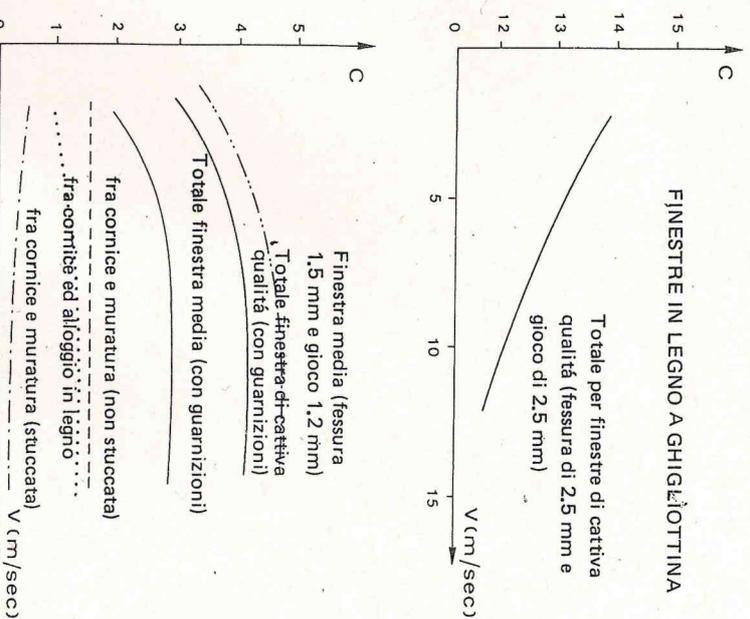
zioni che legano  $c$  alle dimensioni del locale, che è supposto approssimativamente quadrato (lato di base 1) e di altezza  $h$ , ed alle dimensioni degli infissi. Nel primo caso, sia  $x$  il rapporto fra le dimensioni lineari della finestra e quelle della parete in cui è inserita (la finestra è supposta geometricamente simile alla parete).

Prendendo come tipico il caso di finestra a due ante, il perimetro della finestra è allora  $x(3h + 21)$ .

Applicando la (VII.6.4) si ricava, per il flusso d'aria infiltrato:

$$(VII.6.5) \quad Q_1 = k' L c v^{4/3} x(3h + 21) = k \Delta P^{2/3} x(3h + 21)$$

Figure VII.6.2-VII.6.4 - Andamento del parametro  $c$  in funzione della velocità del vento, per finestre con diverse caratteristiche [5].



Per determinare l'ammontare delle infiltrazioni in un edificio, è dunque necessario conoscere le dimensioni degli infissi, il coefficiente  $c$  e la differenza di pressione fra l'interno e l'esterno.

Il numero  $c$  dovrebbe essere misurato dal costruttore dell'infisso e fornito come una delle specifiche tecniche dell'infisso, ma in realtà ciò avviene molto raramente opaco.

Tipo di finestra	$E_n$ (Kwh/m <sup>2</sup> anno)			
	Milano		Napoli	
	$\delta = 1$ cm	$\delta = 10$ cm	$\delta = 1$ cm	$\delta = 10$ cm
Veneziana	103	97	56	52
1 vetro con Avvolgibile in legno	83	79	44	42
serramento Avvolgibile in plastica	75	72	40	39
Veneziana	70	64	38	35
2 vetri con Avvolgibile in legno	60	56	32	30
serramento Avvolgibile in plastica	57	54	31	29
Veneziana	46	39	25	21
3 vetri con Avvolgibile in legno	41	36	22	20
serramento Avvolgibile in plastica	41	35	22	19

ramente; cercheremo pertanto di fornire delle valutazioni di massima per infissi comuni, ricavate in analogia con infissi per cui tale coefficiente è stato misurato.

Ben più aleatorio e difficile risulta il problema di mettere in relazione la differenza di pressione  $\Delta p$  con parametri fisici e climatici o comunque valutabi-

li con approssimazioni accettabili.

I fenomeni che determinano l'instaurarsi di una differenza di pressione fra l'interno e l'esterno degli infissi sono essenzialmente due: vento e gradiente di temperatura.

La differenza di pressione dovuta alla differenza di temperatura può provocare fastidiose infiltrazioni d'aria nelle strutture che formano le condotte verticali di edifici alti (tromba delle scale; vani degli ascensori, etc), ma in linea di massima produce effetti trascurabili per quanto riguarda l'infiltrazione d'aria attraverso gli infissi.

Tali infiltrazioni sono, in realtà, prevalentemente legate alle condizioni di vento esterno.

In Fig. VII.6.1 sono mostrati gli andamenti di  $\Delta p$  (N/m<sup>2</sup>) in funzione del-

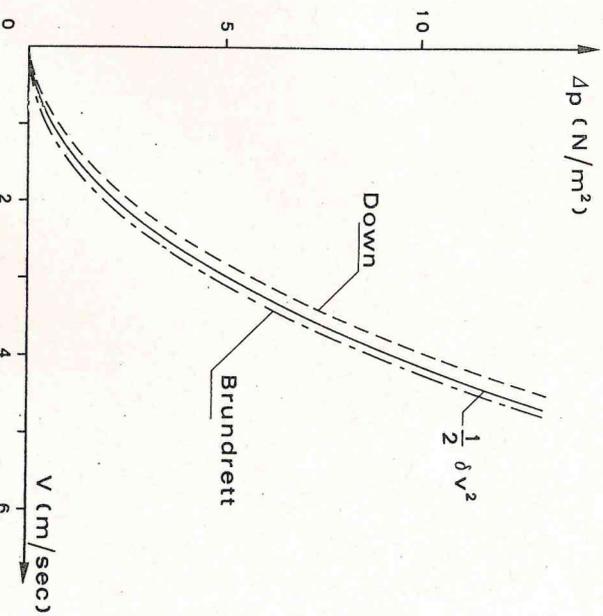


Figura VII.6.1 - Andamento di  $\Delta p$  in funzione della velocità del vento.

la velocità del vento  $v$  (m/sec) riportati rispettivamente da [3] e [4] nel caso di incidenza normale sulla parete di un edificio a forma di parallelepipedo. Tali curve hanno un andamento ben riproducibile dalla relazione

(VII.6.2)

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho v^2$$

p.70 “L’isolamento termico negli edifici”

ma in una maggior spesa per l'isolamento dell'edificio sia perché la superficie da isolare è maggiore sia perché è in generale più difficile da isolare. Risulta opportuno invece far ricorso alla interpretazione meno restrittiva, che comporta una maggiore potenza globalmente disponibile, nel caso in cui si sia in difficoltà a soddisfare con l'impianto tutte le funzioni a cui esso deve rispondere: infatti in tal caso mettendo un buon isolamento fra locali e vano scala, praticamente si riesce ad avere le stesse dispersioni del caso precedente, ma con una maggior potenza a disposizione.

Nel cap. 7 è presentato un metodo di calcolo mediante la compilazione di appositi moduli, i quadri A, B e C di tali moduli si riferiscono ai dati discussi finora.

## 5.2. Logica di progetto dell'isolamento per il rispetto della legge.

### 5.2.1. Generalità

Quanto visto finora mostra come la legge attribuisca ad ogni edificio un valore massimo per la potenza installabile; tale valore non può essere incrementato in alcun modo nel caso di impianto centralizzato salvo, a nostro giudizio, il fatto che, poiché i generatori di calore disponibili sul mercato hanno una gamma discreta di potenze, si possa scegliere il generatore con la potenza reperibile in commercio appena superiore al valore consentito dalla legge.

Comunque non è mai conveniente installare un generatore di calore che abbia una potenza nominale troppo superiore alle effettive esigenze poiché finirebbe per funzionare con rendimenti troppo bassi.

Del caso di edificio con diverse unità immobiliari con impianti autonomi si dirà in seguito.

Determinata così la potenza disponibile  $Q_{disp}$ , rimane ora da progettare l'isolamento dell'edificio perché con tale potenza si possa sopperire a tutte le funzioni che l'impianto di riscaldamento deve espletare.

Oltre al riscaldamento al livello di temperatura permesso dalla legge a regime permanente, garantendo un buon grado di conforto termico in tutti i locali abitati, l'impianto deve anche permettere di sopperire al riscaldamento dell'edificio partendo da una temperatura più o meno bassa in un tempo ragionevole in relazione alle finalità dell'edificio stesso e, qualora sia previsto, permettere la produzione concomitante dell'acqua calda sanitaria. Sarebbe estremamente dannoso che il progettista, una volta ricavata la potenza disponibile, progettasse l'isolamento in modo che quella coincidesse con la potenza dispersa in condizioni di regime permanente con  $T_i$  e  $T_e$  ai valori di progetto.

In ogni caso è sull'isolamento che si può essenzialmente giocare e pertanto esso è la variabile dipendente da determinare in quanto gli altri contributi, a cui la potenza del generatore deve poter sopperire, sono praticamente

seguito bilancio

$$Q_{disp} = (Q_{dt}^* + Q_{dra}^*) \cdot b + Q_{ac} \quad (5-7)$$

dove:

$Q_{dt}^*$  potenza dispersa per trasmissione a regime con  $T_i$  e  $T_e$

$Q_{dra}^*$  potenza dispersa per ricambio aria a regime con  $T_i$  e  $T_e$

$b$  coefficiente di maggiorazione per tener conto della possibilità di riscaldare l'edificio nei transitori (o per intermittenza o per ripresa del servizio dopo che lo stesso è rimasto spento o attenuato).

$Q_{ac}$  potenza necessaria per l'eventuale fabbisogno di acqua sanitaria.

Nei paragrafi che seguono viene indicato il modo per valutare i valori delle grandezze che intervengono nella equazione suscritta.

### 5.2.2. Calcolo della potenza necessaria per il ricambio dell'aria $Q_{dra}^*$

La legge prevede come potenza disponibile per le dispersioni per ricambio d'aria il valore

$$Q_{disp \cdot ra} = C_v \cdot V \cdot \Delta T$$

dove

$C_v$  è il coefficiente volumico (vedi par. 5.1.2. c).

$V$  è il volume lordo della parte riscaldata dell'edificio

$\Delta T$  è la differenza fra la temperatura interna e quella esterna di progetto.

Questa potenza è superiore rispetto alla potenza effettivamente necessaria qualora il  $\Delta T$  sia quello di progetto ed il numero di ricambi orari sia effettivamente quello previsto, per il fatto che il volume da computarsi sarebbe quello netto e non quello lordo che può risultare anche del 20% superiore a quello netto. In pratica è difficile controllare, nel caso non ci sia ventilazione meccanica controllata, i ricambi d'aria effettivi; pertanto è opportuno tenere quel margine di sicurezza ed assumere  $Q_{dra}^* = Q_{disp \cdot ra} = C_v \cdot V \cdot \Delta T$ .

Qualora si voglia fare un calcolo più esatto è opportuno poter calcolare i ricambi d'aria che effettivamente si hanno nel volume in esame, in tal caso si rimanda alle norme UNI 7357.

Riportiamo inoltre il metodo di calcolo proposto dalla SIA (Società suisse des ingénieurs et architectes) che ci sembra particolarmente ben impostato pur essendo sufficientemente semplice. Premesso che le infiltrazioni d'aria dipendono dalla differenza di pressione tra le facciate esposte al vento e quelle protette dal vento, la potenza termica dispersa si calcola come

$$Q_{dra}^* = 0,35 \cdot \dot{V} \cdot (T_i - T_e) \quad [W] \quad (5-N1)$$

$T_e$  = temperatura dell'aria esterna [°C]  
 La portata d'aria esterna d'infiltrazione si calcola come

$$\dot{V} = k \cdot a \cdot (P_e - P_i)^{2/3} = k \cdot \dot{v} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (5-N2)$$

in cui

$l$  = lunghezza totale delle battute di porte e finestre [m]  
 $a$  = coefficiente d'infiltrazione ossia portata volumica d'aria infiltrata per metro di battuta e per una differenza di pressione di 1 Pa [ $\text{m}^3/\text{h}\text{mPa}^{2/3}$ ]

$P_e$  = pressione esistente sulla facciata esposta al vento [Pa]

$P_i$  = pressione esistente sulla facciata protetta dal vento [Pa]

$\dot{v} = a \cdot (P_e - P_i)^{2/3}$  = portata volumica d'aria infiltrata per metro di battuta [ $\text{m}^3/\text{h m}$ ].

I coefficienti  $a$  sono reperibili nella tabella seguente nella quale si suppone che il giunto tra il telaio della finestra e la muratura sia eseguito a regola d'arte

	$a$ [ $\text{m}^3/\text{h}\text{mPa}^{2/3}$ ]
finestra con riquadro in legno o in materiale plastico	0,54
finestra con riquadro in metallo o combinato legno metallo senza cure particolari	0,32
finestre con riquadro in metallo e sigillatura adeguata	0,22

La differenza di pressione ( $P_e - P_i$ ) è funzione

- 1) della pressione dinamica del vento sulle facciate esposte
- 2) dell'angolo di incidenza del vento sulle facciate

Non è possibile calcolare con precisione la differenza di pressione tenendo conto di tutti i fattori, per cui si fa ricorso a delle semplificazioni ragionevoli introducendo delle categorie di vento e delle condizioni di esposizioni. La tabella che segue fornisce per l'appunto i differenti valori di  $\Delta P$  da applicare.

condizioni locali del vento	situazione	$\Delta P$	
		insieme di alloggi, case a schiera	case isolate
normale (valida per tutte le facciate)	protetta	6	10
	libera	14	22
regioni ventose (valida solo per le facciate esposte ai venti)	libera	24	40
	protetta	14	18
regioni ventose (valida solo per le facciate esposte ai venti)	libera	24	40
	protetta	38	62

La portata volumica d'infiltrazione  $\dot{v}$  per metro di battuta può essere agevolmente determinata a mezzo del grafico che segue per differenti valori del coefficiente "a".

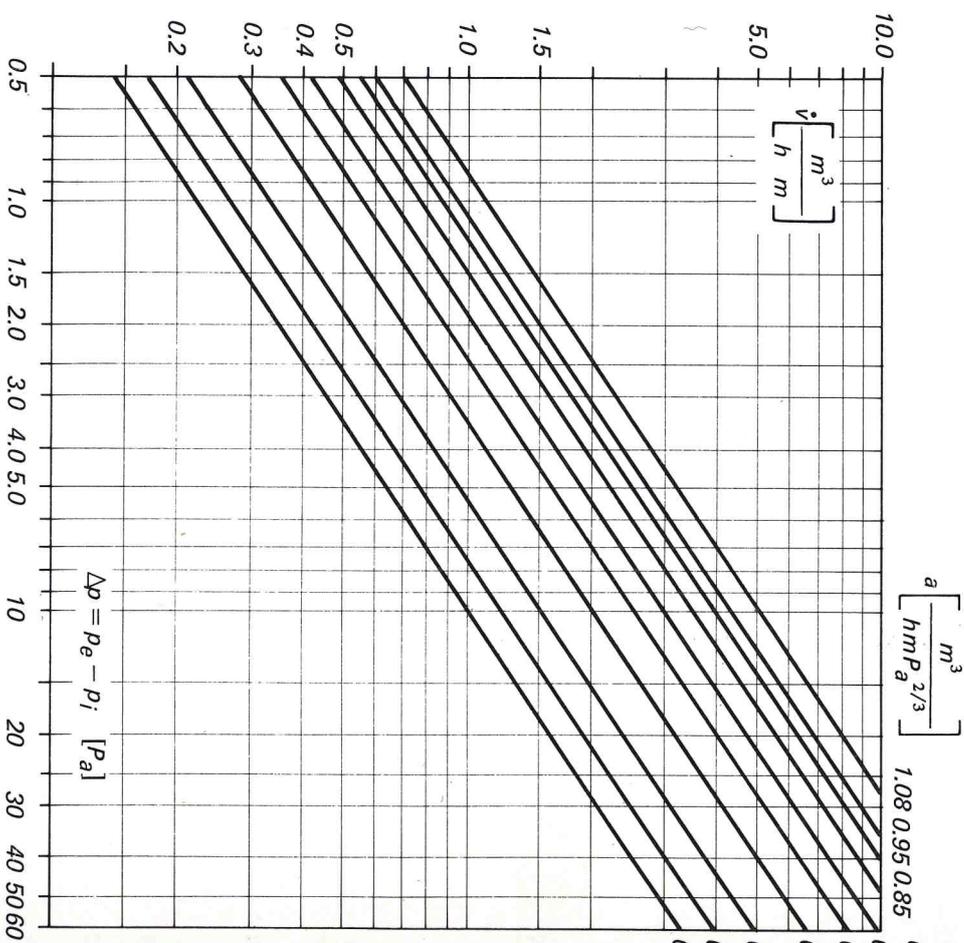


Fig. 5.N

# Riassunto tavolo tecnico 26 Marzo 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  $\Delta P = 1.11Pa$ )<sup>1</sup>.

### 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:	$n_{1.11} \approx 10\% \cdot n_{50}$

$\Delta P$	differenza di pressione [Pa]
$k$	fattore di forma
$\rho$	densità dell'aria [ $\frac{kg}{m^3}$ ]
$\omega$	velocità del vento [ $\frac{m}{s}$ ]
$\Theta$	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:

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

$\alpha = (n_{50} - n_{limite}) \cdot \left( \frac{\omega_{1.36 \frac{m}{s}}}{\omega_{9 \frac{m}{s}}} \right)^{\frac{4}{3}} = (n_{50} - n_{limite}) \cdot \left( \frac{\Delta P_{1.11}}{\Delta P_{50}} \right)^{\frac{2}{3}}$	infiltrazioni reali [ $\frac{1}{h}$ ]
$\Delta P_{1.11}$	definito in funzione del vento medio locale [Pa] <sup>2</sup>
$\Delta P_{50}$	definito dal BDT a n50 [Pa]
$GG$	2567 [°C]
$\rho_a$	densità dell'aria [ $\frac{kg}{m^3}$ ]
$c_a$	calore specifico a pressione costante dell'aria [ $\frac{J}{kgK}$ ]
0.33	$\frac{\rho_a \cdot c_a}{3600}$
$\Phi$	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:

<sup>1</sup>Vedi Allegato #6 MeteoTrentino. E' stato confermato che la norma tedesca del Passive Institute relaziona pure  $\Delta P$  con  $\omega$  dei dati meteo locali, CasaClima no.

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

$EP_{gl-effettivo}$	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

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:

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

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;<sup>3</sup>

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+ $fascia:E$	
$n_{50}$	$n_{inf.ne}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$ <sup>4</sup>	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$
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

TerMus		Classe A+ $fascia:E$		Classe A $fascia:E$		Classe B+ $fascia:E$	
$n_{50}$	$n_{inf.ne}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$
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+ $fascia:E$		Classe A $fascia:E$		Classe B+ $fascia:E$	
$n_{50}$	$n_{inf.ne}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	$EP_{gl}$	$\frac{\Delta EP_{gl}}{\Delta n_{50}}$	$EP_{gl}$	$\Delta EP_{gl}$
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

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

$EP_{gl-rif}$	$Q_V$	Infiltr.	$EP_{gl}$	$\Delta EP_{gl}$	$\Delta Q_V$	$n_{50}$	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  $\Delta EP_{gl}$  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+	$1.5 \pm 0.1$	$1.0 \pm 0.1^*$	$0.6 \pm 0.1^{**}$
A	$2.0 \pm 0.1$	$1.5 \pm 0.1$	$1.0 \pm 0.1$
B+	$2.5 \pm 0.1$	$2.0 \pm 0.1$	$1.5 \pm 0.1$
B	No BDT		
Legno/Secco	$1.5 \pm 0.1$	$1.0 \pm 0.1$	$0.6 \pm 0.1$
*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 <sup>1</sup>				
*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 $2\frac{1}{h}$				
<sup>1</sup> 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 <sup>1</sup>			
*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 $2\frac{1}{h}$			
<sup>1</sup> vedi limiti Arca			

# Bibliography

["Il clima come elemento di progetto nell'edilizia" Liguori Editore, La società e la scienza]

["L'isolamento termico negli edifici in relazione alla legge 373", Vic Italiana ]

["Manuale della certificazione energetica degli edifici", Kyoto Club]

[Dati MeteoTrentino]

["Manuale per le costruzioni a risparmio energetico" di Thomas Königstein]

["Guidelines for BDT of Passive Houses", Gavin O Sé]

[Direttiva Tecnica Agenzia CasaClima 2011 1.3]

[UNI 10349 - Dati ventosità ]