

25 OTTOBRE 2021

#6 RUBRICA:  
GLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI NZEB

DALLA TEORIA ALLA PRATICA

Dott. Ing. Michele Vio



## Rubrica: Gli impianti negli edifici NZEB: dalla teoria alla pratica

### Progettazione di un edificio NZEB -

#### Influenza dell'isolamento termico degli edifici e carico richiesto ai generatori di calore

Scopo del presente articolo è mostrare l'influenza dell'isolamento termico sul fabbisogno richiesto dagli ambienti degli edifici e il conseguente carico richiesto ai generatori di calore.

Il confronto va necessariamente condotto a parità di condizioni al contorno, in particolare della temperatura dell'aria mantenuta all'interno degli ambienti quando sono vuoti e quando sono occupati.

Nell'articolo precedente, si è visto come la temperatura dell'aria di un ambiente occupato sia legata al benessere termico che si vuole ottenere e pertanto sia legate ai carichi endogeni e agli apporti solari, oltre che alla tipologia di abbigliamento. Questo può variare nel corso di una giornata, togliendo o aggiungendo un capo, ma ha comunque connotazione stagionale: le persone hanno di fatto due tipologie di abiti di pesantezza diversa, una primaverile estiva e una autunnale invernale.

Per tale motivo, il set point del riscaldamento è 20°C con edificio occupato e 16°C con edificio vuoto, mentre la temperatura dell'aria alla quale si avvia il raffrescamento non può essere costante tutto l'anno, ma deve variare in funzione delle stagioni, nei casi seguenti 22°C dal 15 ottobre al 15 aprile, 26°C negli altri mesi, sempre ad edificio occupato. Ad edificio vuoto il raffrescamento si avvia a 30°C.

#### Il legame tra fabbisogni termici dell'edificio e consumo totale di energia

La figura 1 mostra il legame esistente tra i fabbisogni termici dell'edificio, l'impianto, i generatori e il consumo totale di energia.

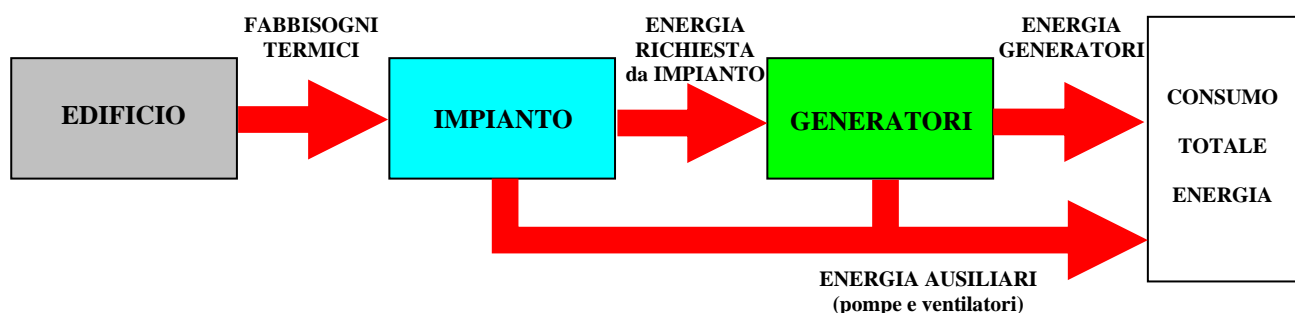


Figura 1: legame tra edificio e consumo totale di energia

A monte di tutto vi è il fabbisogno termico richiesto dall'edificio, che, a parità di ogni altra variabile, dipende dall'isolamento termico. Questo tema è l'oggetto principale del presente articolo. Vanno considerati inizialmente solo i fabbisogni non includendo l'aria di immissione, sia perché in casi estremi questa potrebbe anche non esserci (edifici utilizzati solo per ospitare apparecchiature), sia perché le caratteristiche della sua immissione variano in funzione della tipologia d'impianto.

I fabbisogni energetici dell'edificio devono essere soddisfatti dall'impianto. L'impianto può diminuire, aumentare o lasciare inalterata la richiesta energetica dell'edificio, a seconda delle sue

caratteristiche. Infatti, lo sfruttamento del free-cooling può diminuire i fabbisogni di raffrescamento in alcuni momenti dell'anno: è ovvio che impianti a tutta aria possono sfruttare molto di più il free-cooling rispetto agli impianti ad aria primaria, perché la portata d'aria esterna da immettere è superiore, quindi richiedono un minore carico richiesto ai generatori. Di questo tema si accenna solamente nell'ultima parte del presente articolo, ma verrà trattato approfonditamente negli articoli successivi.

Alla richiesta di energia dell'impianto devono far fronte i generatori. Il loro consumo è funzione della loro efficienza energetica.

Impianto e generatori di calore consumano energia per far funzionare i loro ausiliari, come pompe e ventilatori. Spesso il consumo degli ausiliari è comparabile, se non superiore, al consumo energetico dei generatori. Anche di questo tema si parlerà ampiamente nei prossimi articoli.

## **Il caso studio**

Come caso studio si prende quello descritto nell'articolo citato in bibliografia (Corgnati et al. 2016), cui si rimanda per ogni altro approfondimento.

L'edificio analizzato, posizionato a Milano, contenente uffici, si sviluppa su sette piani fuori terra e presenta una superficie netta climatizzata di circa 11620 m<sup>2</sup>; la pianta rettangolare prevede che i due lati più lunghi del fabbricato siano orientati a Nord e a Sud. Il piano tipo, caratterizzato da una superficie di circa 1660 m<sup>2</sup> e da un'altezza netta interpiano di 2,7 m, è costituito da un core centrale occupato da spazi distributivi e servizi igienici, e da una parte perimetrale interamente occupata da uffici. Non sono presenti ostacoli esterni che ombreggino l'edificio.

Sono state ipotizzate due differenti percentuali di vetratura, in modo da simulare il caso di un edificio prevalentemente opaco (rapporto superficie trasparente – superficie complessiva di parete per ogni esposizione pari al 33%) e quello di un edificio prevalentemente trasparente (60%).

Per ciascuna zona climatica, sono stati, inoltre, ipotizzati tre differenti livelli di isolamento termico per l'involucro edilizio, immaginando di simulare il caso di un edificio di nuova costruzione o interessato da un intervento di retrofit profondo raggiungendo valori di trasmittanza limite di legge (Tabella I, isolamento minimo di legge) (Ministero dello Sviluppo Economico, 2015) oppure valori di trasmittanza termica inferiori al limite (Tabella I, isolamento elevato), ed infine il caso di un edificio interessato dal retrofit della sola parte impiantistica, lasciando inalterati i valori di trasmittanza termica riferiti al ventennio '50 - '70 (Tabella I, isolamento scarso).

I componenti trasparenti dell'edificio sono dotati di un sistema di schermatura costituito da veneziane interne a lamelle orizzontali orientabili, azionati quando l'irradianza solare che incide sulle vetrate risulta essere superiore a 200 W/m<sup>2</sup> (Ministero dello Sviluppo Economico, 2015).

Per quanto concerne gli apporti interni, conformemente alle norme nazionali, è stato fissato un indice di affollamento di 8,4 m<sup>2</sup>/persona per tutti gli uffici (UNI, 1995), con la sola eccezione di quelli orientati a Nord che invece presentano un affollamento inferiore con un indice pari a 16,8 m<sup>2</sup>/persona; l'attività ivi svolta corrisponde ad un classico lavoro d'ufficio corrispondente a 0,9 met.

**Tabella I - Trasmittanze termiche dei diversi componenti di involucro riferite a Milano**

Titolo	Trasmittanza termica [W/m <sup>2</sup> K]		
	Isolamento scarso	Isolamento limite di legge	Isolamento elevato
Chiusure esterne opache verticali	1,19	0,30	0,15
Copertura	1,3	0,25	0,15
Pavimenti verso l'esterno	0,78	0,30	0,15
Chiusure trasparenti comprensive di infissi	5,5	1,8	1,2
Vetri	5,8	1,7	0,9

Nei giorni lavorativi settimanali il profilo di occupazione è stata fissato in base alla norma EN 15232 relativa ai sistemi di automazione negli edifici (CEN, 2012).

### **Riepilogo generale**

La figura 2 mostra i fabbisogni termici annuali suddivisi in riscaldamento e raffreddamento per 5 diversi edifici.

Solo nel caso di edificio poco isolato (33% di superficie vetrata) il fabbisogno in riscaldamento è consistente e superiore a quello in raffrescamento. Nel caso di edifici con isolamento di legge, il fabbisogno in riscaldamento è pari a meno del 10% rispetto al fabbisogno in raffrescamento, mentre con edifici con isolamento elevato il fabbisogno in riscaldamento è prossimo a 0, ma aumenta il fabbisogno in raffrescamento.

In valore assoluto, la somma dei due fabbisogni è minima per l'edificio con isolamento di legge con il 33% di superficie vetrata, mentre è massima per l'edificio con isolamento elevato e il 60% di superficie vetrata.

In ogni caso, più aumenta l'isolamento termico, più si riducono i fabbisogni in riscaldamento, ma più aumentano quelli in raffreddamento.

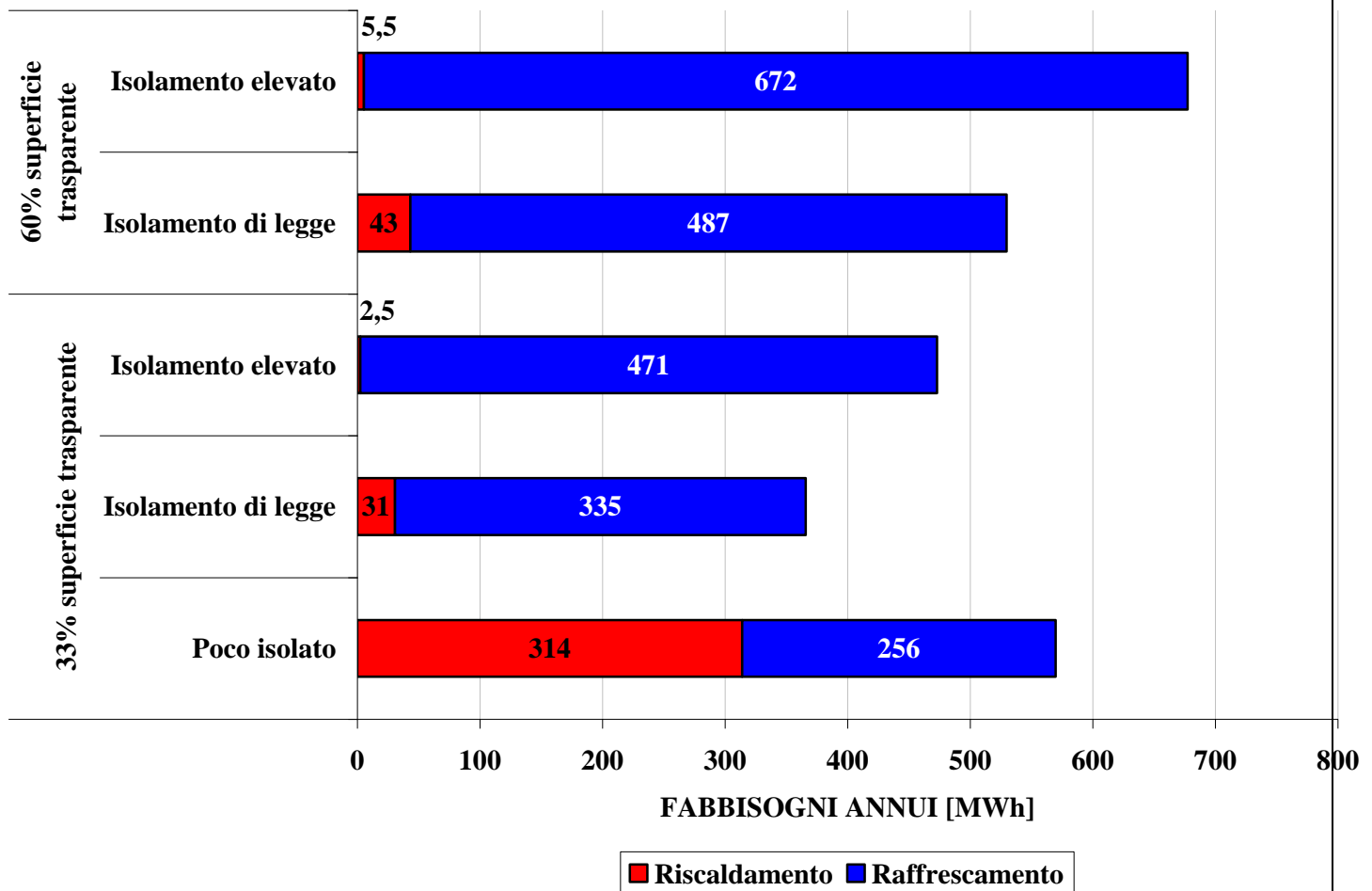


Figura 2: fabbisogni annui di 5 tipologie di edifici diversi

Conviene effettuare un'analisi più dettagliata dei fabbisogni in funzione sia della temperatura che della temperatura dell'aria esterna, dato fondamentale per capire quanto si possa sfruttare il free-cooling.

#### Analisi degli edifici prevalentemente opachi

In figura 3 è visibile l'andamento del fabbisogno termico in funzione delle ore dell'anno (grafico di sinistra) e della temperatura dell'aria esterna (grafico di destra: ogni punto rappresenta la potenza media di un'ora). I valori positivi rappresentano la richiesta di riscaldamento (linee e punti rossi), mentre i valori negativi la necessità di raffrescamento (linee e punti blu).

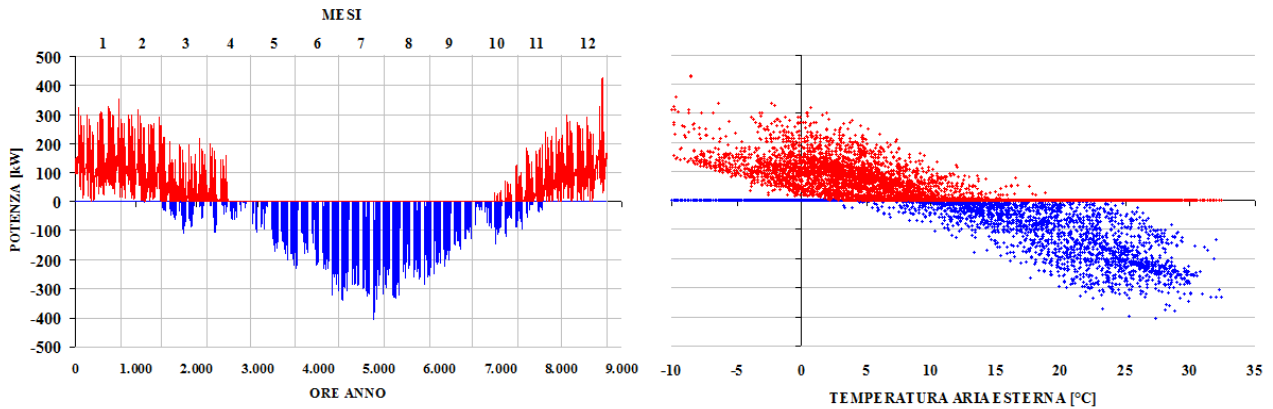


Figura 3: Edificio poco isolato (33% di superficie trasparente) - fabbisogni termici di riscaldamento (rosso) e raffrescamento (blu) in funzione dei mesi delle ore dell'anno (diagramma di sinistra) e della temperatura dell'aria esterna (diagramma di destra).

Come si può notare, la richiesta di riscaldamento va da metà ottobre a metà aprile, in termini temporali. In termini di temperatura dell'aria esterna i fabbisogni in riscaldamento si annullano totalmente a circa 10°C dell'aria esterna, tranne con solo qualche rara eccezione.

La richiesta di raffrescamento è sufficientemente elevata da maggio ad ottobre, e in alcune ore di marzo e aprile. In termini di temperatura, la richiesta parte sostanzialmente dall'annullarsi dei fabbisogni in raffreddamento, a circa 10°C di temperatura dell'aria esterna, tranne qualche eccezione a valori più bassi, probabilmente dovuti a forte irraggiamento nella parete a sud.

In figura 4 sono mostrati gli stessi fabbisogni per un edificio con isolamento di legge.

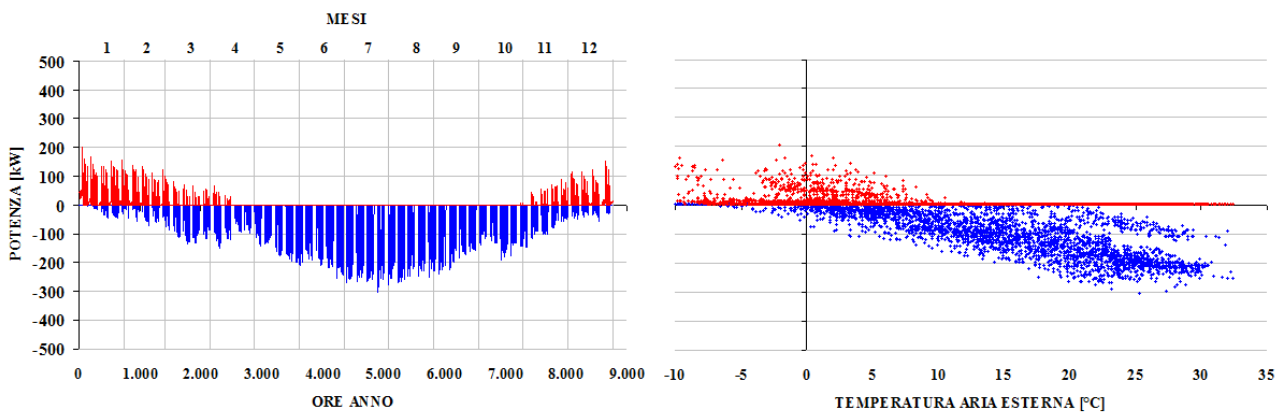


Figura 4: Edificio con isolamento di legge (33% di superficie trasparente) - fabbisogni termici di riscaldamento (rosso) e raffrescamento (blu) in funzione dei mesi delle ore dell'anno (diagramma di sinistra) e della temperatura dell'aria esterna (diagramma di destra).

Rispetto all'edificio poco isolato, il fabbisogno di riscaldamento è decisamente diminuito, sia in termini assoluti che in numero di ore. Di contro sono aumentate il numero di ore in cui è necessario raffrescare, anche se la potenza massima richiesta si riduce. Aumenta il numero delle ore in cui è necessario raffrescare una zona dell'edificio e riscaldarne un'altra: i carichi termici sono contemporanei di segno inverso e questo può influire molto sulla scelta dei generatori di calore.

L'andamento della potenza media oraria in raffrescamento in funzione della temperatura dell'aria esterna (figura di destra, punti blu) risulta meno inclinato dell'edificio poco isolato. Inoltre è

chiaramente visibile al di sopra dei 20°C la separazione tra ore di funzionamento dell'impianto a edificio vuoto (la potenza è minore), dalle ore con edificio occupato.

In figura 5 sono mostrati gli stessi fabbisogni per un edificio con isolamento elevato.

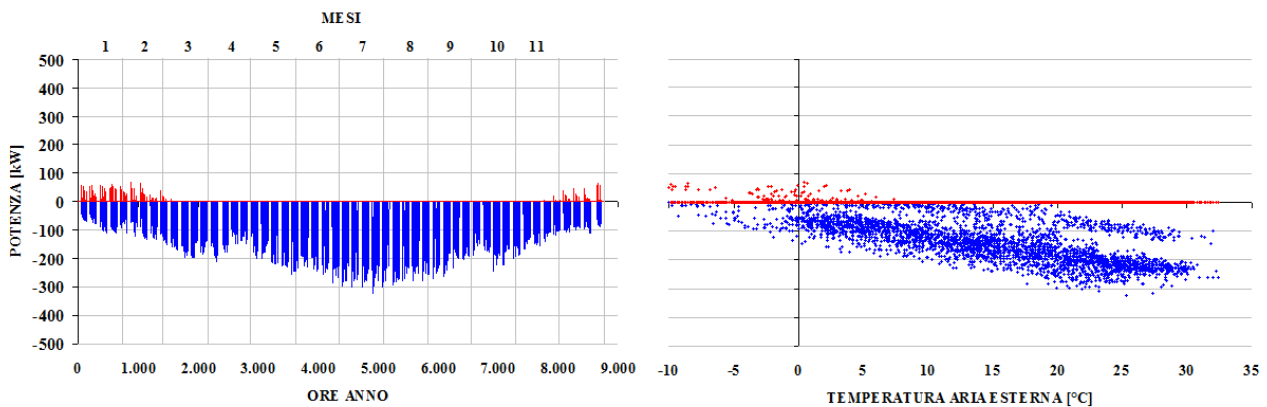


Figura 5: Edificio con isolamento elevato (33% di superficie trasparente) - fabbisogni termici di riscaldamento (rosso) e raffrescamento (blu) in funzione dei mesi delle ore dell'anno (diagramma di sinistra) e della temperatura dell'aria esterna (diagramma di destra).

Il fabbisogno in riscaldamento si è ridotto a poche ore l'anno ed è limitato solo alla zona a nord, caratterizzata anche da minori carichi endogeni. Altre zone dell'edificio richiedono il raffrescamento durante tutto l'anno. L'andamento della potenza media oraria in raffrescamento in funzione della temperatura dell'aria esterna (figura di destra, punti blu) risulta ancora meno inclinato degli edifici precedenti, perché l'elevato isolamento limita di molto gli scambi tra esterno e interno per cui i carichi endogeni diventano prevalenti.

### Analisi degli edifici prevalentemente trasparenti

Le figure 6 e 7 mostrano i fabbisogni termici annui di edifici con il 60% di superficie vetrata. La figura 6 è relativa ad un edificio con isolamento di legge e la figura 7 ad edificio molto isolato.

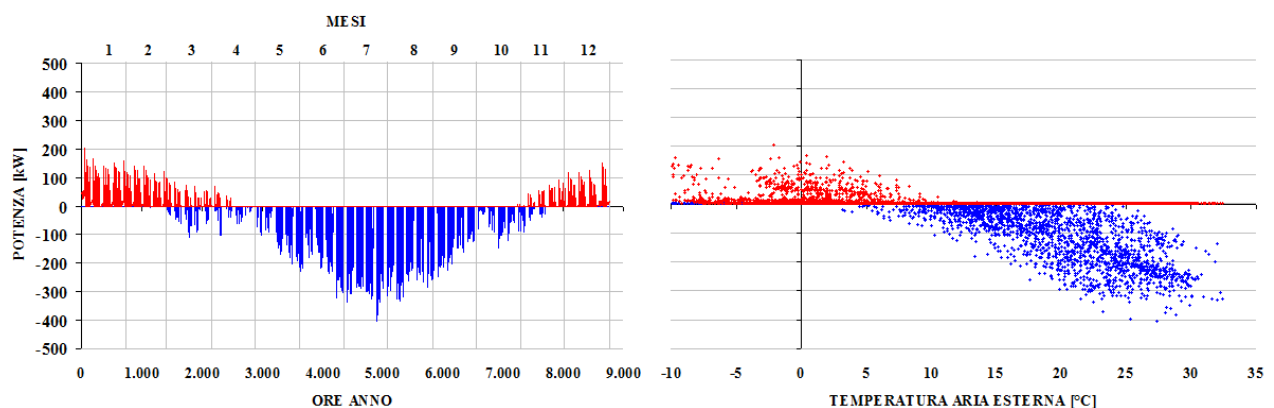


Figura 6: Edificio con isolamento di legge (60% di superficie trasparente) - fabbisogni termici di riscaldamento (rosso) e raffrescamento (blu) in funzione dei mesi delle ore dell'anno (diagramma di sinistra) e della temperatura dell'aria esterna (diagramma di destra).

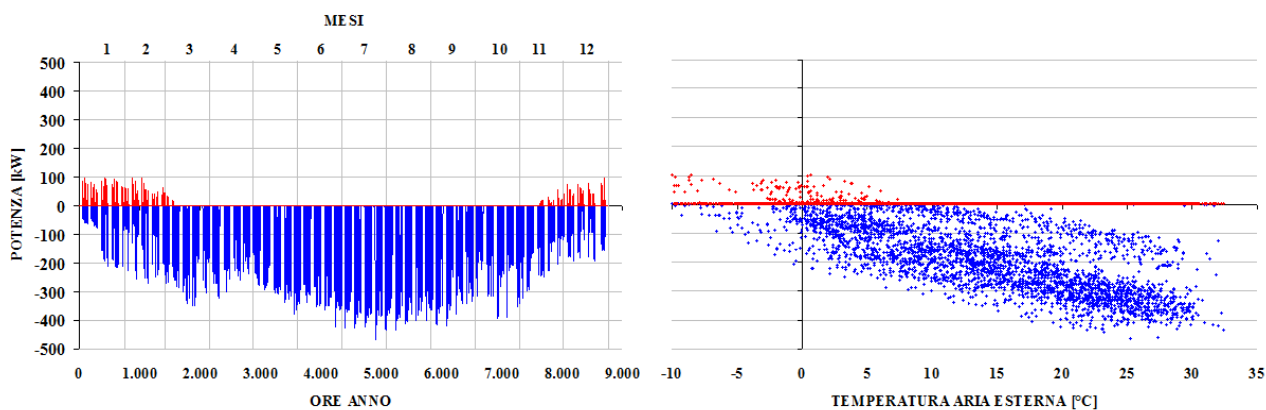


Figura 7: Edificio con isolamento elevato (60% di superficie trasparente) - fabbisogni termici di riscaldamento (rosso) e raffrescamento (blu) in funzione dei mesi delle ore dell'anno (diagramma di sinistra) e della temperatura dell'aria esterna (diagramma di destra).

In confronto agli edifici col 33% di superfici vetrate, di pari isolamento, questi denotano sia più elevati picchi di potenza media oraria che una conseguente maggiore dispersione della stessa in funzione della temperatura dell'aria esterna. Ciò è dovuto principalmente agli apporti solari dovuti alla maggiore superficie finestrata.

Mentre l'edificio con isolamento di legge deve essere raffrescato solamente da marzo (in poche zone) a ottobre, quello con isolamento elevato va raffrescato sempre.

### **Dai fabbisogni termici all'energia richiesta ai generatori: influenza dell'impianto**

Finora si sono visti solamente i fabbisogni degli edifici. Per passare all'energia richiesta ai generatori bisogna considerare in primo luogo la quantità d'aria da immettere all'interno degli ambienti, per garantire un'adeguata qualità dell'aria, e in secondo luogo scegliere l'impianto più adeguato, fan-coil + aria primaria o tutta aria VAV. Entrambi gli argomenti verranno approfonditi negli articoli successivi: nei paragrafi che seguono si danno solamente degli accenni per inquadrare meglio le problematiche legate alle scelte e i risultati ottenibili.

Le ipotesi sono che la quantità d'aria sia pari a  $40 \text{ m}^3/\text{h}$  a persona e sia variabile in funzione dell'occupazione, cosa facile negli impianti VAV, più complessa negli impianti ad aria primaria e fan-coil. Il recuperatore di calore è del tipo sensibile a flussi incrociati con un'efficienza nominale del 73%.

La figura 8 mostra l'energia annua complessiva richiesta al generatore caldo e al refrigeratore d'acqua per le due tipologie d'impianto, nel caso dei 5 edifici esaminati in precedenza. I valori di energia sono quelli che i generatori devono produrre: quelli effettivamente consumati dipendono dalla loro efficienza e dalla capacità di recuperare energia di segno opposto da quella principale prodotta (è il caso delle pompe di calore polivalenti a recupero totale). Il tema sarà sviluppato in uno dei prossimi articoli. La figura 8 è comunque indicativa perché dà un'idea precisa dell'effetto dell'isolamento e della superficie vetrata sul consumo degli edifici,

Conviene cominciare l'analisi dagli edifici prevalentemente opachi, con il 33% di superficie vetrata. In termini di energia richiesta ai generatori l'edificio con isolamento di legge è quello che richiede la minor energia in assoluto. Aumentare l'isolamento termico, riduce la richiesta di energia al generatore caldo di 21 MWh, ma la aumenta di 148 MWh al refrigeratore d'acqua. Nel caso di impianto a tutta aria VAV, invece, il passaggio da un isolamento di legge riduce di 50 MWh la richiesta al generatore caldo e aumenta di solo 25 MWh anno quella al refrigeratore. Quindi, in apparenza, sembrerebbe conveniente isolare molto l'edificio laddove sia possibile inserire un



impianto a tutta aria VAV, isolarlo di meno se l'impianto fosse a fan-coil + aria primaria (o anche un VRF con aria primaria: a livello di richiesta di energia ai generatori non vi è differenza alcuna).

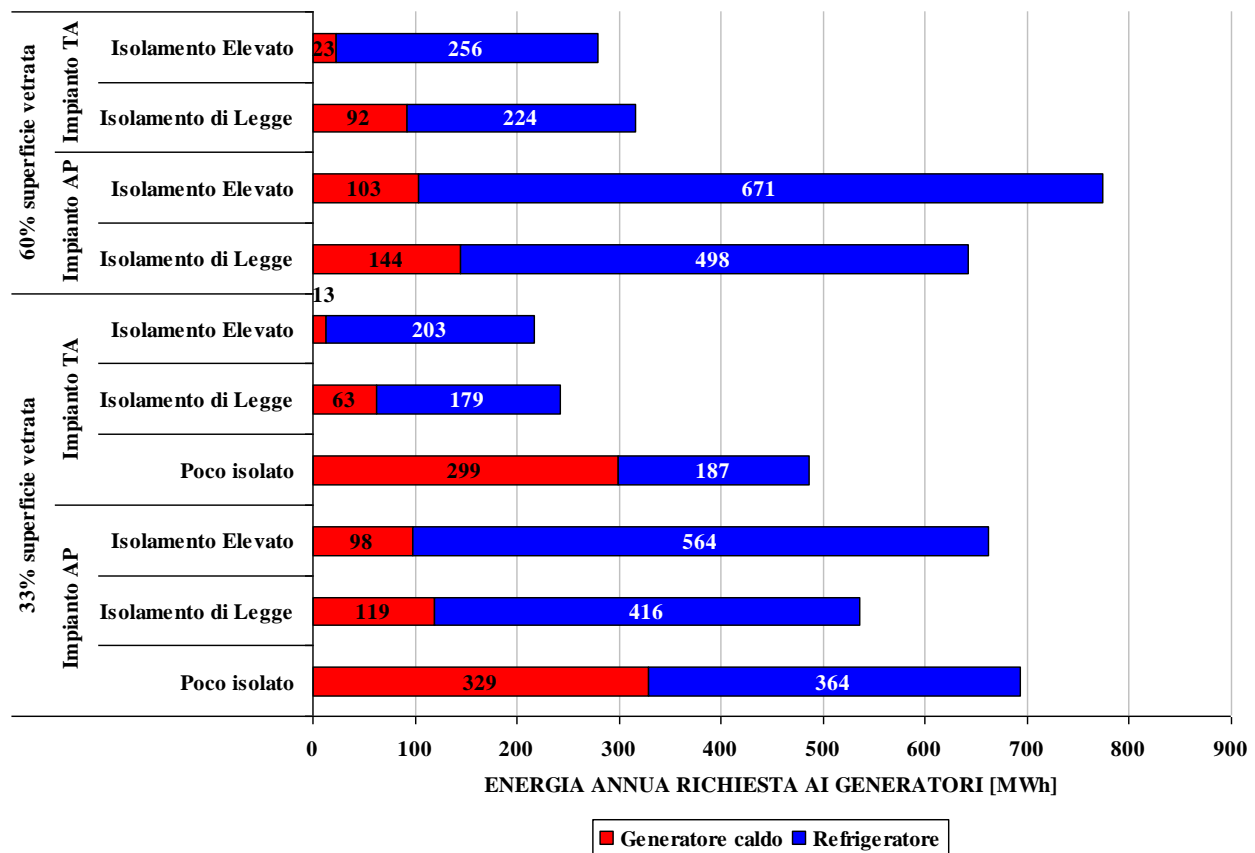


Figura 8: Richiesta di energia annua ai generatori di calore per i cinque edifici considerati in precedenza

Le stesse valutazioni valgono anche per gli edifici con maggiori superfici vetrate, che, a parità di isolamento termico, denotano una maggiore richiesta di energia.

### Impianti ad aria primaria o impianti a tutta aria?

Se si osserva la figura 8, quindi se si ragiona in termini di energia richiesta ai generatori, gli impianti a tutta aria VAV sembrano molto più adatti agli edifici Nzeb, perché il consumo di energia è molto inferiore.

I motivi si capiscono osservando le figura 9 e 10 che confrontano tra loro la potenza richiesta ai generatori da un impianto ad aria primaria (diagramma di sinistra) e un impianto a tutta aria VAV (diagramma di destra), nel caso di edificio prevalentemente opaco (33% di superficie vetrata) con isolamento di legge. La figura 9 mostra l'andamento in funzione delle ore dell'anno, mentre la figura 10 mostra l'andamento in funzione della temperatura dell'aria esterna. In entrambi i casi la regolazione della batteria fredda della o delle UTA viene effettuata sulla base dell'umidità dell'aria in ambiente (set point 55%).

L'impianto a tutta aria VAV è in grado di sfruttare maggiormente il free-cooling perché alla bisogna ha la possibilità di immettere una quantità di aria esterna molto maggiore di quello ad aria primaria: per questo motivo il refrigeratore si deve avviare solamente al di sopra di una temperatura dell'aria

esterna di 14°C quindi da maggio a ottobre, con qualche rara eccezione anche a marzo, aprile e novembre. Nel caso di impianto ad aria primaria, invece, il refrigeratore si deve avviare anche con temperature dell'aria inferiore a 0°C.

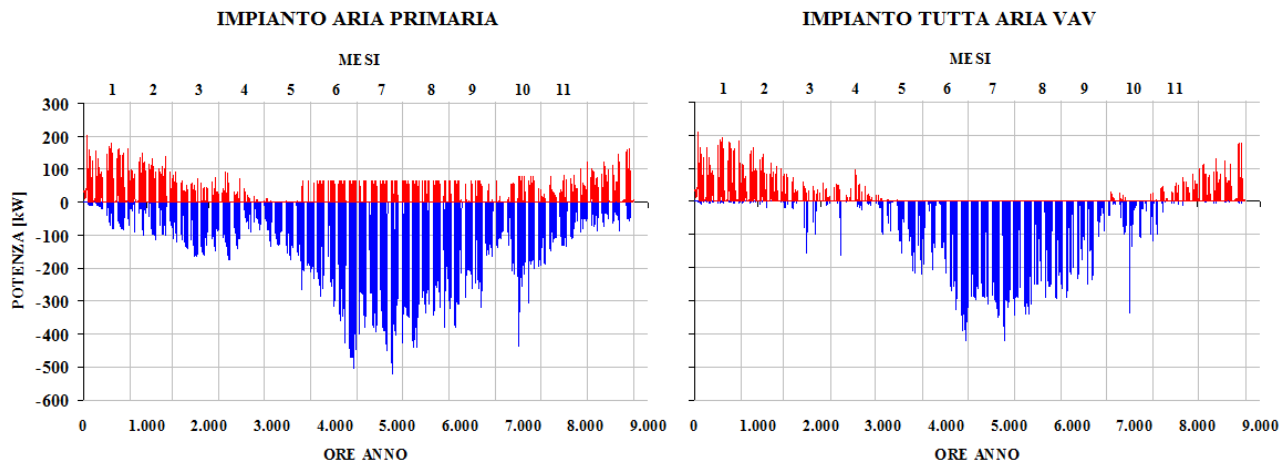


Figura 9: potenza richiesta ai generatori in funzione delle ore dell'anno

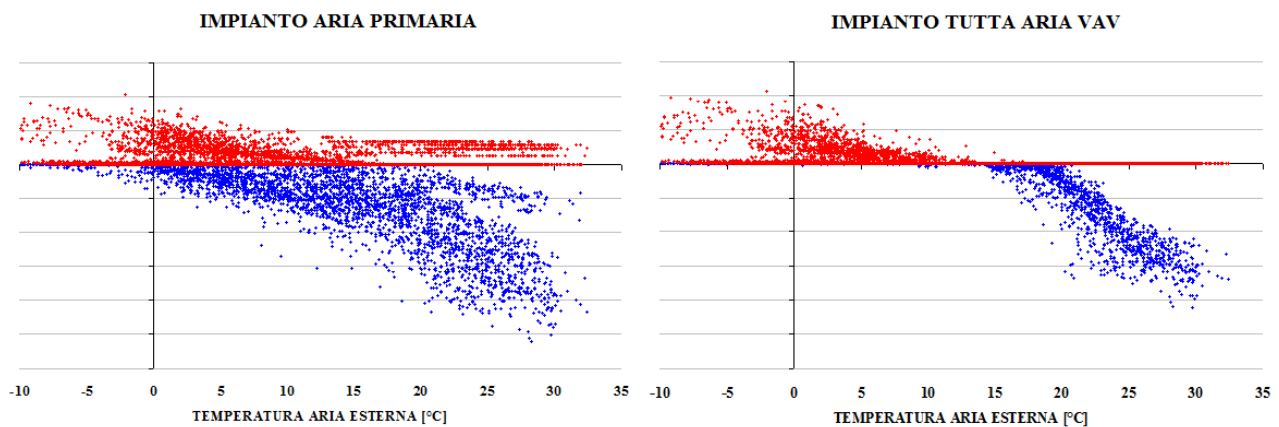


Figura 10: potenza richiesta ai generatori in funzione della temperatura dell'aria esterna

Inoltre, l'impianto ad aria primaria ha bisogno di post riscaldamento estivo per controllare l'umidità (mantenuta al 55% massimo), mentre l'impianto a tutta aria no. La spiegazione di questo comportamento sarà data nei prossimi articoli: per adesso basta segnalarlo per spiegare la maggiore richiesta di energia al generatore caldo, che si riflette anche sul refrigeratore.

Il fenomeno è osservabile sia in figura 9, nei mesi estivi, sia in figura 10, a salire da una temperatura dell'aria esterna di 15°C.

Tuttavia, considerare solo la richiesta di energia ai generatori è limitativo, per una serie di motivi:

- 1 bisogna considerare la possibilità di recuperare calore nel caso di richiesta contemporanea di energia di segno opposto, condizione spesso presente negli impianti ad aria primaria, spesso assente negli impianti a tutta aria VAV;
- 2 i refrigeratori lavorano con efficienza diversa, tanto maggiore quanto minore è la temperatura dell'aria esterna: nel caso di impianti a tutta aria VAV il refrigeratori si attiva a 15°C dell'aria esterna, mentre si attiva anche a temperature inferiori a 0°C negli impianti a aria primaria;

- 3 esistono recuperatori di calore in grado di abbattere la richiesta di post-riscaldamento;
- 4 bisogna considerare il peso degli ausiliari, pompe e ventilatori.

Tutti questi temi saranno approfonditi in altri articoli. Qui vale la pena concludere la trattazione mostrando il consumo degli ausiliari degli impianti per i 5 edifici presi in considerazione (figura 11), considerando la portata d'acqua costante.

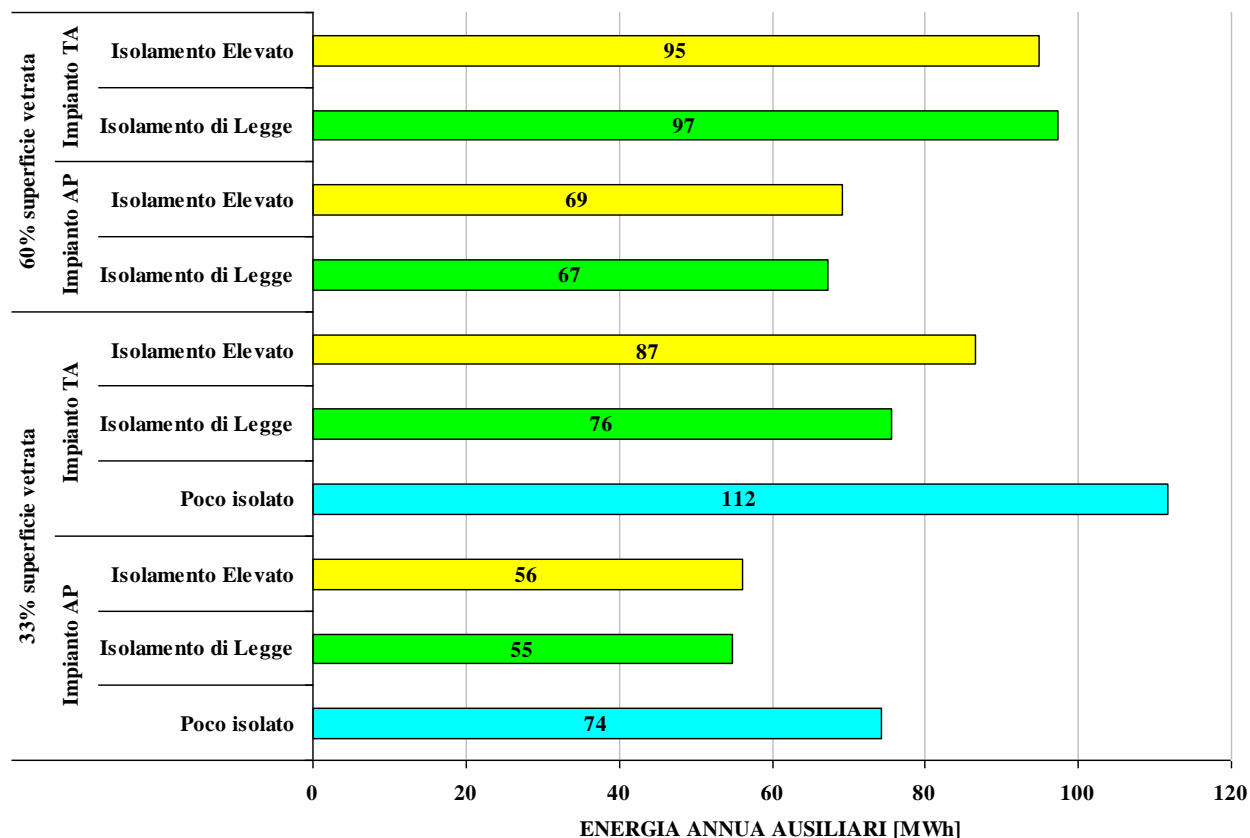


Figura 11: consumi annui degli ausiliari (pompe e ventilatori)

Come si può notare, nel caso di impianti a tutta aria il consumo è sempre maggiore rispetto agli impianti ad aria primaria, a causa della maggiore quantità di aria mossa attraverso i canali. I consumi mostrati sono ideali, ovvero con canali dimensionati correttamente in modo da minimizzare i consumi energetici. Ciò richiede spazi, non sempre disponibili nei nuovi edifici, quasi mai nelle ristrutturazioni. Quindi, mentre per gli impianti ad aria primaria è possibile abbattere fortemente i consumi adottando sistemi di pompaggio a portata variabile, negli impianti a tutta aria VAV le possibilità sono molto più ridotte.

Ecco perché le differenze tra tipologie d'impianto possono essere alla fine molto più ridotte.

Nei prossimi articoli si approfondirà il tema di come progettare gli impianti AP e VAV, con un accenno anche ai sistemi radianti a soffitto. Poi sarà preso in esame l'effetto dei vari recuperatori di calore, in funzione anche dei generatori scelti. Per finire sarà data una panoramica totale del consumo di energia di alcune tipologie di edificio, posizionati anche in climi diversi da quelli di Milano.

## **Bibliografia**

P. Corgnati, C. Becchio, M. Vio, L. Prendin, M. Magagnioni "Influenza delle scelte progettuali sui consumi globali dell'edificio", atti del Convegno Aicarr, Padova 2016

Ministero dello Sviluppo Economico. 2015. Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici. Decreto Legislativo 26 Giugno 2015. Gazzetta Ufficiale.

CEN. 2012. Energy performance of buildings – Impact of building automation, controls and building management. Standard EN 15232. Bruxelles: European Committee for Standardization