



Studio sul modello di
zonificazione di Airzone
e confronto con un
sistema non zonificato



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

MODELLO ZONIFICATO DI AIRZONE. STUDIO ANALITICO

1. Introduzione

Le abitudini di vita dei paesi industrializzati, in cui le persone trascorrono la maggior parte del tempo in spazi chiusi, comportano dei cambiamenti significativi nel consumo all'interno degli edifici, nelle esigenze di comfort termico, di luce e qualità dell'aria interna, nonché nel modo di gestire tali servizi. La direttiva 2012/27/UE [1] calcola che il 40% del consumo finale dell'energia viene prodotto negli edifici, e che circa il 50% è attribuibile ai sistemi di raffreddamento e riscaldamento.

L'obiettivo di questo studio è dimostrare come l'implementazione di sistemi di controllo intelligenti negli impianti di climatizzazione contribuisca positivamente all'efficienza energetica di un edificio. Nello specifico, questo studio prende in esame il settore residenziale e i servizi di climatizzazione di piccola e media potenza, che utilizzano con frequenza sistemi solo aria, con unità inverter ad espansione diretta e una rete di condotti a portata costante. Corporación Empresarial Altra, mediante la sezione Airzone, vuole valutare la convenienza di un sistema di questo tipo, dal punto di vista del comfort degli occupanti, della domanda termica e del consumo elettrico annuo, rispetto a un sistema inverter convenzionale non zonificato.

2. Sistemi di controllo zonificato Airzone

Nel settore residenziale e dei servizi, che dispongono di unità di climatizzazione di piccola e media potenza, si utilizzano con frequenza sistemi solo aria, con unità inverter ad espansione diretta e una rete di condotti a portata costante. Questo tipo di sistema si basa sul controllo della temperatura di una singola zona, per mantenerla all'interno dell'intervallo di comfort. Per quanto riguarda il resto delle zone, anche se la rete di condotti è stata ben progettata ed è stata scelta la potenza massima dell'unità, le temperature possono situarsi al di fuori del livello di comfort se non presentano un profilo di carico simile a quello della zona di controllo (uso, orientamento, carico termico, e via dicendo).

I **sistemi zonificati** si basano invece sul controllo indipendente della temperatura di ognuna delle zone. A tale scopo viene installato un termostato in ogni stanza, che consente all'utente di conoscere la relativa domanda termica e di selezionare una temperatura impostata indipendente, in base alle sue preferenze. In questo modo, quando una zona raggiunge la temperatura impostata, quest'ultima invia un segnale di controllo alla serranda motorizzata della zona per farla chiudere e interrompere la mandata dell'aria condizionata. Nella figura 1 viene mostrato uno schema di un sistema zonificato.



Figura 1. Schema di un sistema zonificato

Oltre alla zonificazione termica, il sistema di controllo di Airzone basa il proprio funzionamento sull'**interfaccia di comunicazione**. Raggiungere un alto livello di comfort e una riduzione del consumo elettrico richiede un'adeguata comunicazione tra il sistema di zone e l'unità di climatizzazione. L'interfaccia di integrazione è il dispositivo che consente tale comunicazione bidirezionale tra la centrale di controllo e l'unità. Airzone dispone di accordi con i principali produttori, che prevedono la cessione dei protocolli di comunicazione utilizzati dalle loro unità. Tutto ciò le consente di disporre delle informazioni sui parametri relativi al funzionamento di tali unità, e realizzare azioni, tra cui:

- Accensione e spegnimento dell'unità.
- Cambio del modo di funzionamento.

Il modo di funzionamento dell'unità (raffreddamento, riscaldamento o ventilazione) sarà quello imposto dal termostato maestro dell'installazione. Quelle zone con inversione termica, vale a dire con una domanda

opposta al modo di funzionamento dell'unità, rimarranno chiuse.

- Controllo della velocità del ventilatore dell'unità interna.

Parametro regolato dall'algoritmo *Q-Adapt*, che adegua la portata di mandata del ventilatore dell'unità interna e che, a tale scopo, cambia dinamicamente la velocità di quest'ultimo.

- Limitazione della temperatura impostata della zona.

Parametro regolato dall'algoritmo *Eco-Adapt*, che controlla la temperatura impostata nelle diverse zone e limita la temperatura massima o minima selezionabile, laddove sia stato impostato il modo caldo o freddo rispettivamente. Il modo A fissa il livello di temperatura massima a 22 °C in inverno e a 24 °C in estate, il modo A+ a 21,5 °C e 25 °C e il modo A++ a 21 °C e 26 °C.

- Controllo della temperatura impostata dell'unità.

Parametro regolato dall'algoritmo *Efi-Adapt* (funzionalità dell'*Eco-Adapt* per unità aria-aria), che controlla in modo dinamico la temperatura impostata dell'unità in base alla temperatura di ogni zona e quella di ripresa, considerando l'effetto dell'inerzia termica di ogni zona.

Nella figura 2 viene mostrato uno schema grafico di un sistema di condotti zonificati in un edificio, dotati di centrale di controllo e interfaccia di comunicazione.

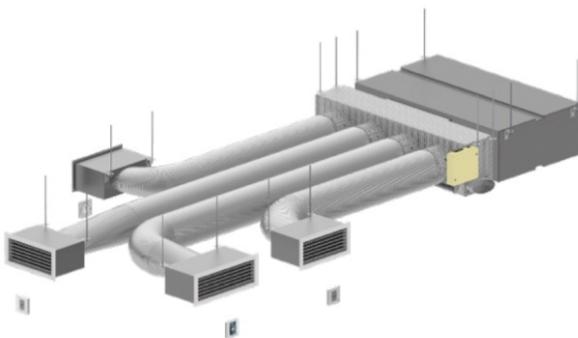


Figura 2. Schema di un sistema zonificato

3. Implementazione dei modelli in TRNSYS

Il presente studio è stato realizzato utilizzando il programma TRNSYS [2], un punto di riferimento per quanto riguarda la ricerca sugli impianti termoenergetici. Su questa piattaforma di calcolo sono stati implementati i modelli matematici di tutti i sistemi di climatizzazione definiti nella sezione anteriore. Questi modelli sono stati ottenuti grazie agli studi sperimentali su un'unità ad espansione diretta in una doppia camera climatica. L'idea è determinare il comportamento dell'unità in base alle condizioni di lavoro a cui viene sottoposta in un impianto reale. In questo modo è possibile trovare il sistema più idoneo al tipo di edificio (figura 3).

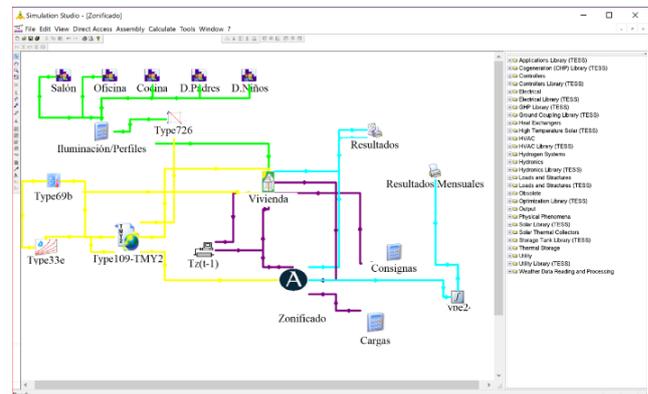


Figura 3. Montaggio del sistema zonificato in TRNSYS

Nella modellazione di un'unità inverter ad espansione diretta, per determinare il comportamento dell'unità è necessario considerare che il modo di funzionamento, il rendimento e il consumo elettrico desiderato variano in base alle condizioni operative. A tale scopo, è stata sperimentata un'unità di questo tipo e sono state ottenute le differenti curve di comportamento caratteristiche con i coefficienti corrispondenti.

Un'unità inverter è in grado di regolare il proprio regime di lavoro per adattare la produzione di energia termica in base alla domanda. Il fattore di carico parziale (PLR) è definito come la relazione tra il carico sensibile richiesto e quello massimo che l'unità è capace di fornire nelle stesse condizioni di lavoro:

$$PLR = \frac{Q_{richiesta}}{Q_{sens, mass}}$$

La figura 4 rappresenta i 3 regimi di lavoro di un'unità inverter con l'evoluzione del rendimento dell'unità in base al fattore di carico parziale.

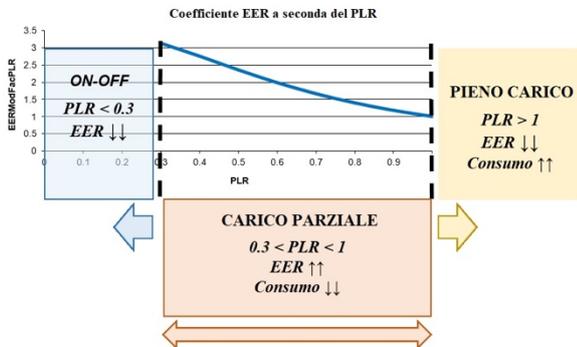


Figura 4. Schema dei vari regimi di lavoro di un'unità Inverter

I regimi di lavoro sono i seguenti:

- Con un PLR inferiore a 0,3 si attiva una velocità minima per la quale l'unità smette di funzionare come un sistema inverter diventando un tutto-niente, poiché il flusso di massa del refrigerante non può essere arbitrariamente piccolo.
- Con un PLR compreso fra 0,3 e 1, l'unità lavora a carico parziale consentendo un elevato EER (Energy Efficiency Ratio, Indice di efficienza energetica).
- Con un PLR superiore a 1, l'unità lavora a pieno carico, comportando una significativa diminuzione del rendimento.

4. Risultati. Studio analitico

L'obiettivo del presente studio è mettere a confronto la convenienza di un sistema inverter zonificato configurato con le soluzioni di controllo proposte da Airzone con un sistema inverter non zonificato. I criteri di confronto utilizzati sono il consumo elettrico annuo e il grado di comfort fornito da ognuno di essi. Per questo, la presente sezione si suddividerà in due parti: da un lato verificheremo i livelli di comfort forniti e dall'altro studieremo il consumo elettrico annuo associato a tali sistemi.

Studio analitico

L'abitazione (figura 5) presenta 5 zone climatizzate (salotto, cucina, studio, camera da letto dei genitori e camera da letto dei bambini) con una superficie di 121 m², il resto viene considerato come un'unica zona non climatizzata. Il DPR 412/93 suddivide il territorio nazionale italiano in 6 zone climatiche, in base al parametro grado-giorno [3]. In questo caso la simulazione riguarda le città di Milano, Roma e Napoli, appartenenti rispettivamente alle zone climatiche E, D e C.

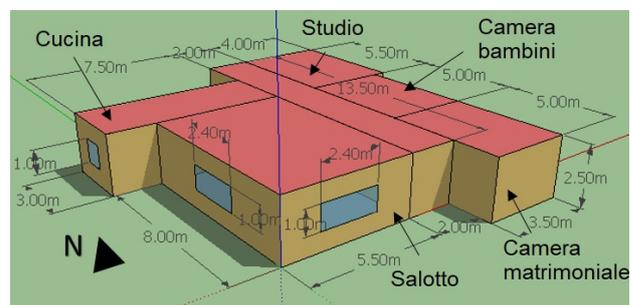


Figura 5. Pianta dell'abitazione. Rappresentazione in 3D con misure

Il D.Lgs. 19 agosto 2005 n. 192 [4] stabilisce i valori limite di trasmittanza termica per i serramenti e le finestre nell'edilizia, a seconda della zona climatica e del tipo di serramento (esterno, interno, pavimento o soffitto), come mostrato nella tabella 1.

SERRAMENTO	MILANO	ROMA	NAPOLI
Parete esterna	0,34	0,36	0,40
Pavimento	0,33	0,36	0,42
Soffitto	0,30	0,32	0,38

Tabella 1. Trasmittanza termica dei serramenti

Le finestre sono a doppio pannello 4/6/4 mm, con i valori U di 2,2 W/m²K e un fattore solare di 0,5.

Applichiamo un profilo di occupazione tipico riguardante gli edifici residenziali per determinare il

calcolo degli apporti interni: occupanti, illuminazione e unità (tabella 2).

ZONA	SALOTTO	CUCINA	STUDIO	CAMERA BAMBINI	CAMERA GENITORI
	O/I/U	O/I/U	O/I/U	O/I/U	O/I/U
0:00 - 7:00	0/0/0	0/0/300	0/0/0	2/0/0	2/0/0
7:00 - 7:30	0/0/0	1/5/300	0/0/0	2/0/0	1/0/0
7:30 - 8:00	0/0/0	1/5/770	0/0/0	1/5/0	1/0/0
8:00 - 10:00	1/5/100	1/5/770	0/0/0	1/5/0	0/0/0
10:00 - 16:00	1/0/100	1/0/300	0/0/0	1/0/250	0/0/0
16:00 - 17:00	2/0/100	1/0/300	0/0/0	0/0/0	0/0/0
17:00 - 19:00	1/5/100	1/5/300	1/5/250	0/0/0	0/0/0
19:00 - 20:00	1/5/100	1/5/300	0/0/0	0/0/0	0/0/0
20:00 - 20:30	3/5/100	1/5/770	0/0/0	0/0/0	0/0/0
20:30 - 23:00	4/5/100	0/0/300	0/0/0	0/0/0	0/0/0
23:00 - 24:00	0/0/0	0/0/300	0/0/0	2/0/0	2/5/0

Tabella 2. Profilo di uso dell'abitazione. (Grado di attività ISO 7730:2005 [5])

Le portate di ventilazione d'aria esterna si applicano secondo la norma [6], stabilendo un tasso di 0,3-0,5 ricambi/ora in tutte le stanze tranne nella cucina, in cui questo è di 4,5 ricambi/ora.

Calcolo dei carichi. Dimensionamento delle unità

Il dimensionamento dell'unità si effettua tenendo in considerazione che i limiti di comfort dell'utente saranno compresi tra 23 °C (T_{inf}) e 24 °C (T_{sup}).

In un sistema **non zonificato** la rete di distribuzione non dispone di nessun elemento che consenta di trattare separatamente le necessità di ogni zona. Quindi, per garantire ovunque il carico massimo, la potenza nominale dell'unità deve essere uguale o superiore alla somma dei carichi massimi sensibili delle zone, anche se non sono simultanei.

Invece in un sistema **zonificato**, la rete di distribuzione dell'aria dispone di serrande motorizzate che consentono di regolare separatamente l'apporto termico del sistema in base alla domanda di ogni zona. In questo modo l'unità lavora prendendo in considerazione il carico massimo sensibile simultaneo delle zone, vale a dire che per ogni lasso di tempo vengono sommati i carichi di tutte le zone, con il conseguente riassetto dell'unità partendo dal massimo annuale per il modo raffreddamento e riscaldamento.

Nella tabella 3 vengono mostrati i carichi massimi e simultanei per le tre città.

SISTEMA		NON ZONIFICATO	ZONIFICATO
CITTÀ	CARICO(W)	MASSIMO	SIMULTANEO
Milano	Q _{RAF}	6423	4560
	Q _{RIS}	-7607	-7648
Roma	Q _{RAF}	6829	4883
	Q _{RIS}	-5386	-5074
Napoli	Q _{RAF}	7170	4825
	Q _{RIS}	-5299	-4677

Tabella 3. Riepilogo dei carichi termici

In base ai carichi ottenuti, le unità sono state dimensionate a seconda dei diversi modelli della

gamma Sky Air Seasonal Classic di Daikin [7], come sintetizzato nella tabella 4.

CITTÀ/UNITÀ	ZONIFICATA	NON ZONIFICATA
Milano	BQSG71D	BQSG71D
Roma	BQ50D	BQSG71D
Napoli	BQ50D	BQSG71D

Tabella 4. Dimensionamento delle unità

In questo modo, per l'abitazione selezionata, si deduce che la scelta di un sistema zonificato implica la riduzione di potenza dell'unità selezionata in due delle tre città. Se scegliessimo un modello superiore, l'unità si troverebbe sovradimensionata e non potremmo approfittare al massimo del suo sistema inverter. Come sappiamo, si attiva una velocità minima per la quale l'unità smette di funzionare come un sistema inverter diventando un tutto-niente, questo perché il flusso di massa del refrigerante non può essere arbitrariamente piccolo. Tale misura di riduzione di potenza dell'unità è stata pensata per evitare situazioni di questo tipo.

Risultati. Comfort termico

Valutazione del comfort termico

I risultati di comfort si basano esclusivamente sul confronto della temperatura della zona in base al tipo di sistema: zonificato o non zonificato.

Il controllo della temperatura della zona in un **sistema non zonificato** dipende dalla domanda del salotto, che è la zona maestra in cui si trova il termostato dell'unità, e si regola in base alla temperatura impostata stabilita in questa zona, mentre il comportamento termico del resto delle zone dipende dalle condizioni presenti in quel momento (carichi interni, guadagno solare, ecc.). A differenza del sistema zonificato in cui la velocità del ventilatore viene scelta mediante l'algoritmo Q-Adapt, in un sistema non zonificato la velocità del ventilatore cambia in base alla differenza di temperatura tra quella impostata della zona maestra e la temperatura di questa zona. Il grafico della figura 6 è un esempio di un ventilatore a 3 velocità.

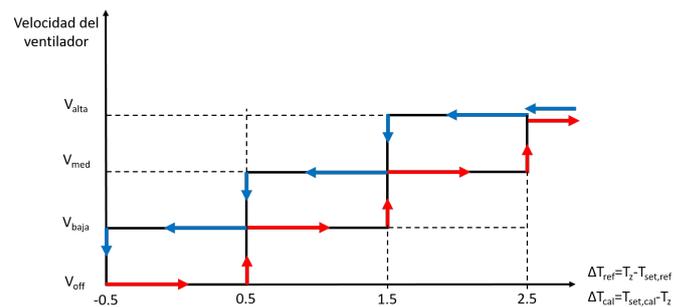


Figura 6. Selezione della velocità del ventilatore in un sistema non zonificato

A differenza del sistema non zonificato, con un sistema zonificato è l'utente a scegliere la temperatura impostata in ogni zona e se il modo di operazione è di riscaldamento o raffreddamento. Sulla temperatura impostata, il sistema stabilisce una differenza di $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, per far sì che una zona risulti in stato di comfort quando la sua temperatura è compresa in questo intervallo. Tale comportamento viene stabilito per evitare che gli attuatori cambino costantemente la loro posizione quando la temperatura varia leggermente. Nella figura 7 si mostra il tipico comportamento della temperatura della zona con il controllo zonificato, sia in modo riscaldamento che raffreddamento.

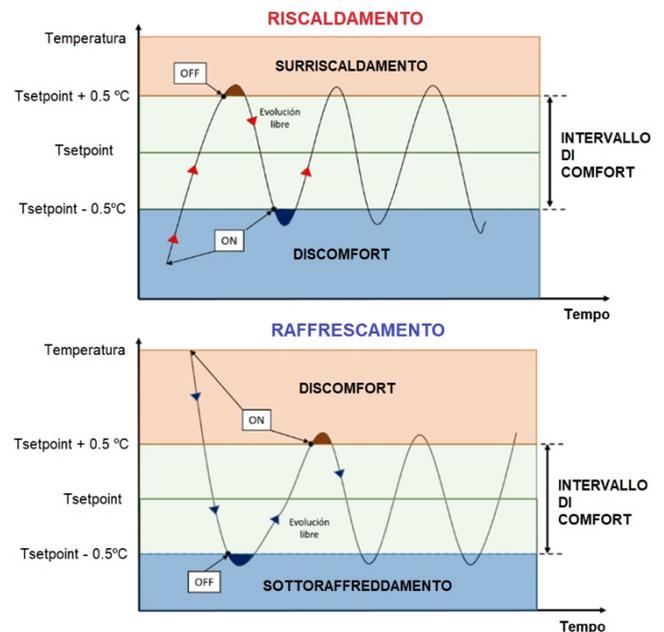


Figura 7. Valutazione del comfort termico in un sistema zonificato

Per poter confrontare il sistema zonificato e quello non zonificato, dovremo paragonare per il modo di raffreddamento e per quello di riscaldamento la percentuale di ore in cui entrambi i sistemi si trovano in un intervallo di comfort di $\pm 1^\circ\text{C}$ (figure 8 e 9).

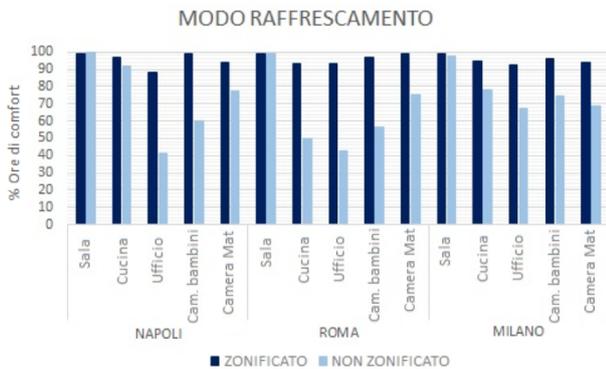


Figura 8. Confronto della percentuale di ore di comfort in modo raffreddamento

I risultati dimostrano che nelle tre città il sistema non zonificato riesce a mantenere il comfort nella zona del salotto, ma la percentuale di ore di comfort diminuisce significativamente nel resto di zone, poiché il sistema non è in grado di adattare la potenza di raffreddamento in ogni zona in base alla loro domanda termica. Invece, il sistema zonificato riesce a garantirlo in tutte le zone in modo indipendente, con valori di comfort che superano il 90%.

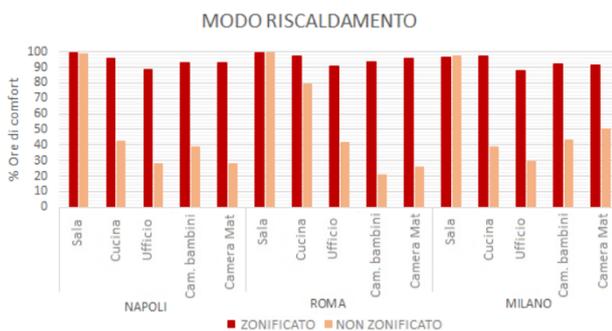


Figura 9. Confronto della percentuale di ore di comfort in modo riscaldamento

Per quanto riguarda il modo riscaldamento (figura 9), le conclusioni sono simili a quelle del caso anteriore, in cui il sistema non zonificato ottiene un comfort elevato nella zona del salotto, non riuscendo però a mantenerlo nelle altre zone dell'edificio. Tuttavia, per quanto riguarda il sistema zonificato, otteniamo un livello di comfort termico inferiore al 90% nella zona

dello studio, a causa della grande inerzia termica a cui si deve fare fronte per le molte ore in assenza di climatizzazione.

Etichetta di comfort termico. Deviazione rispetto alla temperatura impostata

Per farsi un'idea dell'elevata differenza termica tra la temperatura della zona e quella impostata per il comfort, introdurremo la Classificazione del comfort. Come nella certificazione energetica, questa classificazione consiste in un intervallo alfabetico [A-G] in cui A è la qualificazione migliore e G quella più negativa. La lettera si stabilisce in base al valore dell'Indice di comfort (IC) ottenuto in ogni zona e nell'edificio; secondo questo indice, il comfort diminuisce in base alla differenza tra la temperatura della zona e la temperatura impostata. Nella figura 10 si mostra l'IC (%) dell'edificio relativo a varie deviazioni della temperatura impostata, sia per il sistema zonificato che per quello non zonificato.

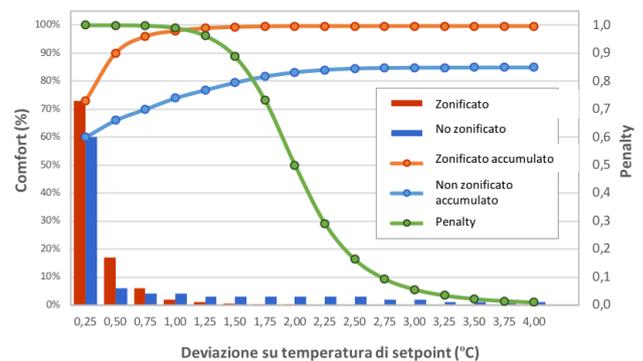


Figura 10. Valutazione dell'Indice di comfort (IC)

L'IC si calcola con la seguente equazione:

$$IC(\%) = \sum_{i=1}^{N_{deviazioni}} Comfort_{Edif, \Delta T = deviazione_i} \cdot Penalizzazione_i$$

in cui la variabile $Comfort_{Edif, \Delta T}$ misura la deviazione e la funzione Penalizzazione (curva verde della figura 10) fa diminuire il comfort in base a t_i , che è la deviazione i rispetto alla temperatura impostata, vale a dire, la differenza tra la temperatura della zona e la temperatura impostata.

La classificazione finale ottenuta è quella riportata nella figura 11.



Figura 11. Classificazione del comfort in base all'Indice di comfort (IC)

Di seguito metteremo a confronto il comfort in ogni zona dell'edificio per il modo raffreddamento, sulla base della classificazione del comfort, nella città di Napoli.

La figura 12 mostra i risultati dell'etichetta di comfort per la zona del salotto. In questo confronto, per ogni mese paragoniamo il sistema zonificato (ZON) e quello non zonificato (NOZ).

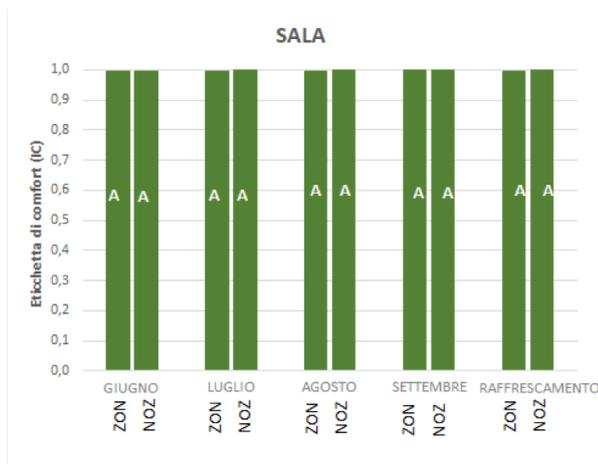


Figura 12. Confronto dell'etichetta di comfort per il salotto in modo raffreddamento

Osserviamo che non ci sono differenze nelle etichette energetiche tra il sistema zonificato e quello non zonificato per quanto riguarda la zona del salotto. Ciò si deve al fatto che in un sistema non zonificato il termostato maestro si trova nel salotto e il sistema può mantenere senza problemi il comfort di questa zona. Ma vediamo il confronto tra il resto delle zone dell'edificio (figura 13).

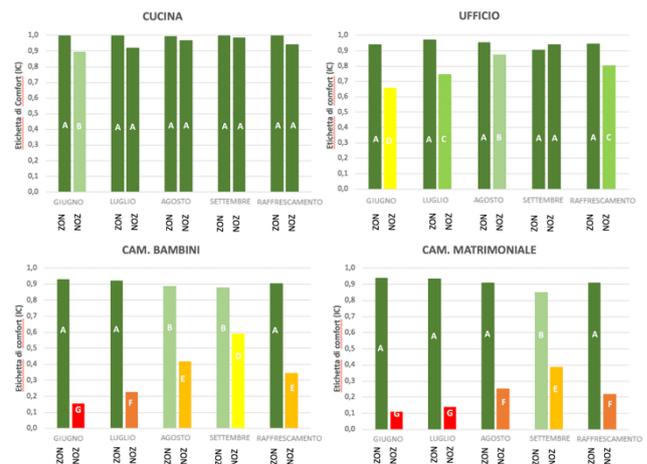


Figura 13. Confronto dell'etichetta di comfort per il resto dell'edificio in modo raffreddamento

I risultati evidenziano notevoli differenze di comfort tra entrambi i sistemi. Nel sistema non zonificato, eccetto la zona della cucina, non otteniamo una etichetta globale di tipo A in nessuna zona; invece, nel sistema zonificato riusciamo ad ottenere un livello di comfort generale eccellente con una etichetta A, e un IC sempre superiore rispetto al sistema non zonificato.

Infine, la figura 14 mostra il comfort medio globale dell'edificio.

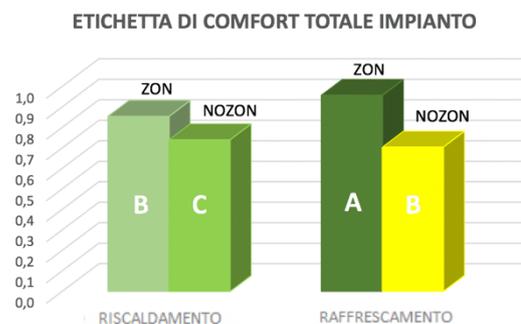


Figura 14. Confronto dell'etichetta di comfort globale dell'edificio

L'etichetta globale dell'edificio per un sistema zonificato è A in modo raffreddamento e B in modo riscaldamento; invece, nel sistema non zonificato, è C in modo riscaldamento e B in modo raffreddamento.

Parametri di comfort: PMV e PPD

In condizioni standard di comfort associate al fattore abbigliamento, al tasso metabolico e alla velocità relativa dell'aria, viene realizzato un confronto dei parametri PPD e PMV, in base alla norma ISO 7730:2005 [4], di un sistema zonificato e di uno non zonificato. Secondo questa norma, i valori suggeriti per fornire un benessere termico globale al 90% degli utenti sono quelli riportati nella tabella 5.

CATEGORIA	PPD (%)	PMV
A	< 6	-0,2 < PMV < 0,2
B	< 10	-0,5 < PMV < 0,5
C	< 15	-0,7 < PMV < 0,7

Tabella 5. Categorie dell'ambiente termico in base al PPD e al PMV

La figura 15 mostra il confronto del parametro PPD, mettendo in risalto la categoria di comfort ottenuta.

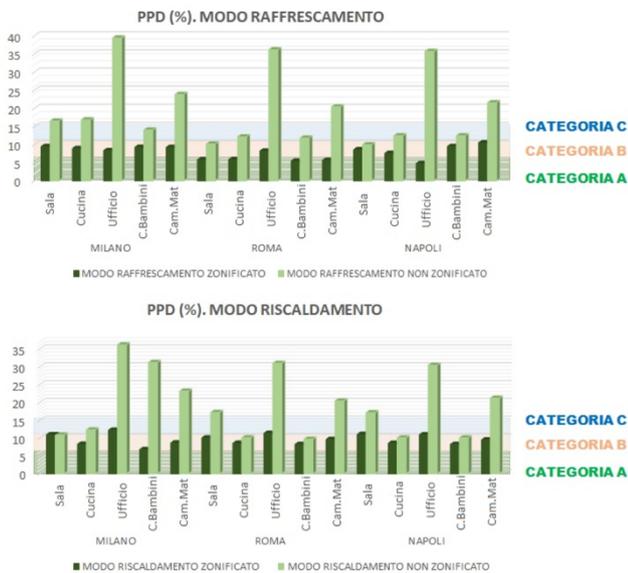
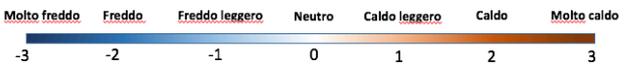


Figura 15. Tabella comparativa del PPD

Nella tabella 6 vengono mostrati i risultati del PMV, in cui sono stati stabiliti dei codici colorati che consentono un confronto più immediato dei risultati.



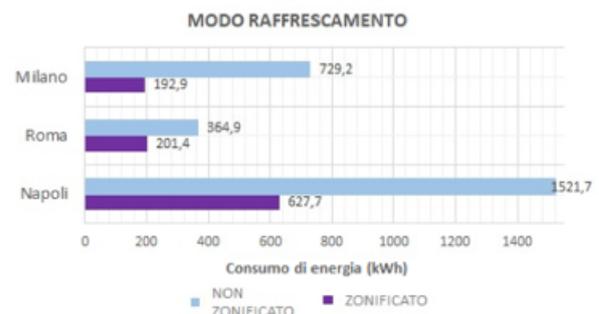
Città	ZONA	PMV			
		MODO RAFFRESCAMENTO		MODO RISCALDAMENTO	
		ZONIFICATO	NON ZONIFICATO	ZONIFICATO	NON ZONIFICATO
MILANO	Sala	-0.3	-0.5	0.5	0.5
	Cucina	-0.2	-0.7	0.4	1.0
	Ufficio	-0.2	-0.8	0.6	0.4
	Cam. Bambini	-0.2	-0.5	0.3	1.6
	Cam. Mat.	-0.2	-0.8	0.4	1.1
ROMA	Sala	0.2	-0.2	0.5	0.8
	Cucina	0.2	-0.4	0.4	0.2
	Ufficio	0.4	-2.0	0.5	2.1
	Cam. Bambini	0.1	-0.4	0.4	0.2
	Cam. Mat.	0.2	-0.6	0.4	0.7
NAPOLI	Sala	-0.1	-0.2	0.5	0.8
	Cucina	0.0	-0.5	0.4	0.2
	Ufficio	-0.2	-2.0	0.5	1.4
	Cam. Bambini	-0.2	-0.4	0.4	0.2
	Cam. Mat.	-0.2	-0.6	0.4	0.7

Tabella 6. Tabella comparativa del PMV

In un sistema zonificato vengono rispettate le esigenze di comfort che richiedono una categoria minima B, con un PPD inferiore al 10% e un PMV al di sotto dello 0,5 in ogni zona dell'abitazione per le tre città analizzate. Un sistema non zonificato invece può ottenere buoni risultati nella zona del salotto, ma nel resto delle zone si produce un importante sottoraffreddamento in modo raffreddamento e un surriscaldamento in modo riscaldamento.

Risultati. Consumo energetico

Dopo aver valutato il comfort termico dell'edificio, il seguente passo consiste nel mettere a confronto il consumo elettrico di un sistema di climatizzazione zonificato e di uno non zonificato. Grazie alle strategie di controllo e alla gestione dell'impianto di climatizzazione realizzate dal sistema Airzone, otteniamo un risparmio nel consumo energetico con la conseguente riduzione di emissioni di carbonio. Nella figura 16 vengono mostrati i risultati ottenuti per il confronto di tali sistemi nelle tre città studiate.



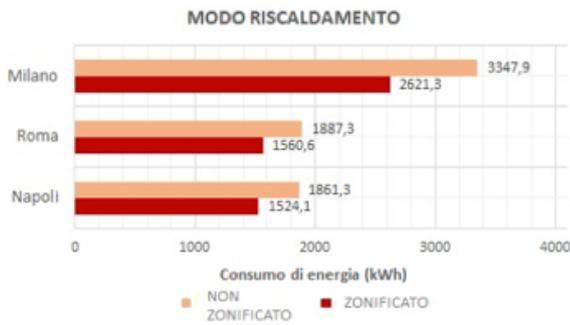


Figura 16. Tabella comparativa del consumo elettrico in modo raffreddamento e riscaldamento

In tutti i casi, il consumo della climatizzazione è più basso in un sistema zonificato che in un sistema non zonificato. I motivi sono stati spiegati dettagliatamente nel corso di questo studio: la riduzione della potenza termica del sistema di climatizzazione, la regolazione della velocità del ventilatore e l'adeguamento della temperatura impostata dell'unità grazie all'Eco-Adapt. Le differenze di consumo si vedono chiaramente nel risparmio ottenuto in ognuno dei casi (figura 17).

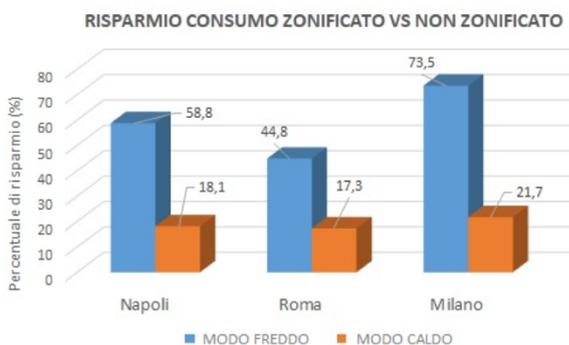


Figura 17. Percentuale di risparmio energetico nei modi riscaldamento e raffreddamento

Nelle tre città analizzate assistiamo a un importante risparmio sulla climatizzazione. Spicca la percentuale di risparmio in modo raffreddamento nelle città di Milano e Napoli, che raggiunge rispettivamente il 58,8% e il 73,5%. In modo riscaldamento, nelle tre città il risparmio è di circa il 17-21%.

Infine, possiamo ad analizzare il potenziale di risparmio energetico dell' algoritmo Eco-Adapt per le tre città scelte. Nella figura 18 possiamo vedere graficamente tali risultati, che ci consente di verificare il miglioramento dell'efficienza energetica ottenuto

grazie ai sistemi zonificati inverter oggetto del nostro studio.

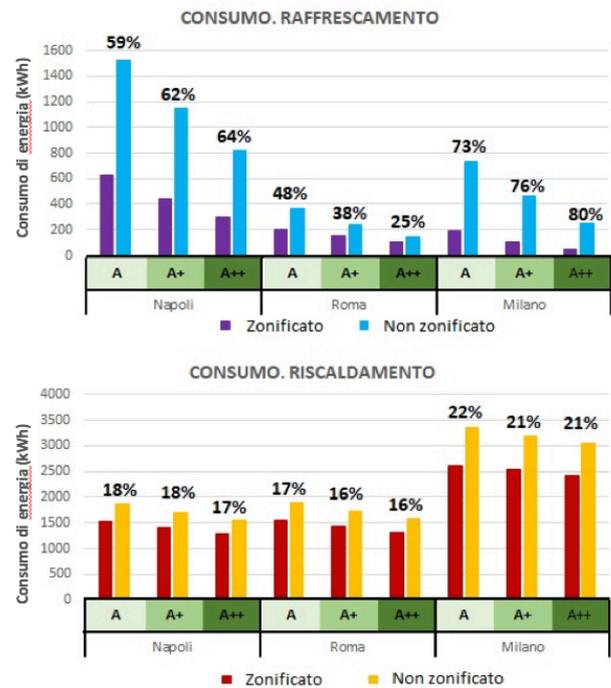


Figura 18. Tabella comparativa del consumo energetico in base all'Eco-Adapt

Con l'applicazione dell'algoritmo Eco-Adapt, aumentando la temperatura impostata in modo raffreddamento o diminuendola in modo riscaldamento, si ottiene una diminuzione del consumo di energia. Il risparmio ottenuto è del 16-22% in modo riscaldamento, mentre in modo raffreddamento si raggiunge un risparmio del 59-64% nella città di Napoli, dove i consumi sono più significativi.

5. Conclusioni

Con il presente studio vogliamo analizzare nel dettaglio il comportamento del sistema di controllo della climatizzazione Airzone basato sulla zonificazione termica, e paragonarlo a un sistema non zonificato. Per farlo, abbiamo strutturato il documento in varie sezioni, in cui vengono descritti il sistema di zonificazione e gli algoritmi di controllo. Inoltre, viene spiegata la modellazione dell'unità con le curve di comportamento a carico parziale ottenute in modo sperimentale e l'implementazione del modello di unità a espansione diretta con il controllo Airzone nel

software TRNSYS, ambiente di simulazione dello studio.

Le conclusioni della nostra analisi descrivono i principali vantaggi emersi dal confronto tra un sistema zonificato e uno non zonificato, prendendo in esame comfort termico, consumo energetico ed energia termica. Tali conclusioni sono le seguenti:

1. La scelta di un sistema inverter con zonificazione integrata rispetto a uno inverter non zonificato comporta una **riduzione dell'energia termica** a cui si deve far fronte. Ciò consente di scegliere un'unità con una potenza termica inferiore; per questo a Roma e a Napoli è stato possibile sostituire il modello Daikin BQSG71D con il modello BQ50D. Di conseguenza, un sistema inverter con zonificazione integrata permette di ridurre l'investimento iniziale dell'unità di climatizzazione.
 2. Il sistema zonificato monitorizza la temperatura di tutte le zone dell'edificio, consentendo all'utente di stabilire in ognuna di esse le proprie preferenze di comfort termico. È stato dimostrato che la percentuale di ore in cui le varie zone mantengono il **comfort termico** è molto più elevata in un sistema zonificato piuttosto che in uno non zonificato.
 - ✓ In una prima analisi, è stato paragonato un **intervallo di comfort di ± 1 °C** nelle città di Roma, Napoli e Milano. I risultati hanno dimostrato che nelle tre città il sistema non zonificato è in grado di mantenere il comfort nella zona del salotto, ma la percentuale di ore di comfort diminuisce considerevolmente nel resto di zone dell'edificio. Invece, il sistema zonificato riesce a garantirlo in tutte le zone in modo indipendente.
 - ✓ Abbiamo introdotto il concetto di **etichetta di comfort** e l'abbiamo usato per valutare il comfort termico, diminuendo, in un periodo di tempo determinato, il grado di comfort quando la temperatura si allontanava dalla temperatura impostata stabilita. L'etichetta globale dell'edificio per un sistema zonificato in modo raffreddamento e riscaldamento è risultata essere rispettivamente A e B, mentre nel sistema non zonificato è stata C e B per la città di Napoli.
 - ✓ Infine, per completare lo studio sul comfort, abbiamo calcolato i **parametri PPD e PMV**. In un sistema zonificato vengono rispettate le esigenze di comfort che richiedono una categoria minima
- ✓ B, con un PPD intorno al 10% e un PMV al di sotto dello 0,5 in ognuna delle zone dell'abitazione delle tre città analizzate. Un sistema non zonificato invece può ottenere buoni risultati nella zona del salotto, ma nel resto delle zone si produce un importante sottoraffreddamento in modo raffreddamento e un surriscaldamento in modo riscaldamento.
 3. Confrontando il consumo elettrico tra un sistema di climatizzazione zonificato e uno non zonificato abbiamo osservato un importante **risparmio energetico**.
 - ✓ Nelle tre città analizzate assistiamo a un importante risparmio sulla climatizzazione. A Milano e Napoli spicca la percentuale di risparmio, che raggiunge rispettivamente il 58,8% e il 73,5% in modo raffreddamento. In modo riscaldamento, nelle tre città il risparmio è di circa il 17-21%.
 - ✓ Il risultato più importante ottenuto applicando l'algoritmo Eco-Adapt è che aumentando la temperatura impostata in modo raffreddamento o diminuendola in modo riscaldamento si ottiene una diminuzione del consumo di energia. Nelle tre città il risparmio è risultato essere del 16-22% in modo riscaldamento, mentre nella città di Napoli, dove il consumo per il modo raffreddamento è più significativo, il risparmio in questa modalità è stato del 59-64%.



Piazza della Trivulziana
Viale dell'Innovazione SNC 20126
Milano (MI)

+39 02568 14756 · airzoneitalia.it
progetti@airzoneitalia.it



Il presente articolo non può essere citato o incluso, in tutto o in parte, in alcun documento o in qualsiasi altro mezzo di diffusione senza l'espresso consenso scritto dei suoi autori, del Gruppo di ricerca GEUMA dell'Università di Málaga e dell'Area Energetica dell'entità CORPORACIÓN EMPRESARIAL ALTRA, SL, con partita iva/numero NIF B-92611102. Di conseguenza, il presente articolo non deve essere utilizzato per altri scopi o distribuito a terzi.