

# Progettare il comfort ed il risparmio energetico con l'uso del recuperatore di calore

## Designing the comfort and the energy savings through the heat recovery use

CALOGERO LEONE - PAOLO LIBERATI

*Recuperator SpA – Rescaldina MI*

### RIASSUNTO

Elemento fondamentale del benessere in un edificio è la qualità dell'aria che vi respiriamo. L'aria deve essere ricambiata con continuità affinché la sua purezza sia rigenerata. Ricambiare l'aria vuol dire espellere dall'ambiente condizionato una quantità d'aria alla temperatura di comfort ed immetterne altrettanta a temperatura esterna.

Per il contenimento dei consumi di energia necessaria a portare l'aria presa dall'esterno alla temperatura di comfort è utile l'inserimento di un recuperatore di calore tra la corrente di aria espulsa e quella esterna di rinnovo. Così la sorgente primaria da cui viene attinta questa energia è il calore della corrente d'aria espulsa, che diversamente andrebbe sprecato. Come sostiene la norma VDI 3803: *“l'uso del calore sprecato può essere eguagliato, almeno in termini di uso dell'energia, alle sorgenti di energie rinnovabili”*.

Questo lavoro si pone l'obiettivo di definire, nella progettazione di impianti, l'impiego di sistemi di recupero del calore almeno di livello H3 secondo la classificazione della Norma UNI EN 13053.

Sarà fornito, in aiuto, un metodo di calcolo del livello della classe di un sistema di recupero del calore, seguendo la suddetta norma UNI EN 13053.

Il lavoro si conclude fornendo al progettista di un impianto di climatizzazione di un edificio l'entità del risparmio energetico, al netto della spesa di energia fornita all'aria per l'attraversamento del recuperatore, in diverse zone climatiche del Nord e del Sud dell'Italia.

### SUMMARY

The air quality in a building is one of the main factors for the internal comfort. The air must be continuously changed to maintain a clean condition. To change the air a given amount must be extracted from the conditioned space, at the comfort temperature and an equivalent amount of external air must be supplied.

To bring this supply air quantity to the comfort temperature an energy spending is necessary. The energy consumption can be reduced through the use of a heat recovery

system between the exhaust and the supply air flow patterns. So the primary source for sinking this energy is the heat in the exhaust flow rate which, otherwise, would be wasted. You can read in the VDI 3803 standard: *“the use of waste heat can be equated, at least in terms of energy use, with renewable energy sources”*.

This work intends to define the heat recovery systems classification and to specify that the building must be equipped with a heat recovery system that at least corresponds to the classification H3 as determined in the UNI EN 13053 standard.

In addition, as help to the designer, a calculation method for heat recover class level will be supplied. The work will conclude showing, to the building air conditioning designer, the entity of energy savings, deducting the energy spent to move the air across the heat recovery unit, for couple of climatic zones of North and South in Italy

Parole chiave: Recuperatore di calore, scambiatore di calore. VDI 3803, risparmio energetico, fonte rinnovabile, classe energetica, UNI EN 13053

Key words: Heat exchanger, renewable energy sources, VDI 3803, energy savings, energy class, UNI EN 13053.

## **1. INTRODUZIONE**

La qualità dell'aria dell'ambiente interno (IAQ) è un elemento fondamentale per assicurare il giusto benessere all'interno dell'edificio. La crescente attenzione all'efficienza energetica ha portato alla realizzazione di strutture sempre più a tenuta dell'aria. La progettazione integrata di un impianto di ventilazione meccanica controllata deve mantenere al minimo il livello di contaminanti, di gas e particelle sospese all'interno dell'ambiente. Per questo, la norma UNI 10339 (UNI 1995) definisce le quantità minime di aria esterna per il corretto ricambio dell'aria. Significa che una quantità d'aria ormai a temperatura di comfort deve essere espulsa ed altrettanta deve essere ripresa a temperatura esterna, deve essere riportata alla temperatura di comfort ed immessa nell'ambiente interno.

Questo processo richiede una notevole quantità di energia. Tale quantità può essere ridotta con l'uso di un recuperatore di calore. Esso permette il recupero del calore tra due correnti che lo attraversano. La corrente d'aria espulsa cede gran parte dell'energia termica posseduta alla corrente di rinnovo che la rimette nell'ambiente interno.

In una situazione così configurata, l'aria espulsa si mostra come una vera e propria fonte di energia rinnovabile. Come dice la Norma VDI 3803 (VDI 2012): *“the use of waste heat can be equated, at least in terms of energy use, with renewable energy sources”*.

## **2. INDOOR AIR QUALITY**

La norma UNI 10339 fornisce indicazioni riguardo alla quantità di aria esterna, da immettere, necessaria per assicurare il giusto ricambio dell'aria per garantire il benessere

nell'ambiente interno. Per esempio per rinnovare l'aria in un supermercato di superficie pari a 1200m<sup>2</sup> sono necessari circa 10000m<sup>3</sup>/h di aria esterna.

## **2.1 Il ricambio dell'aria**

Ricambiare l'aria vuol dire espellere dall'ambiente condizionato una quantità d'aria alla temperatura di comfort ed immetterne altrettanta a temperatura esterna.

È necessario apportare il giusto quantitativo di energia per portare l'aria d'immissione alle volute condizioni termo igrometriche per abbattere i carichi termici.

Però è possibile diminuire il consumo energetico richiesto attraverso l'installazione di un recuperatore di calore a cavallo tra le due correnti.

## **2.2 Il calore espulso come fonte rinnovabile**

In realtà la corrente di espulsione è una fonte rinnovabile di calore; come enuncia la VDI 3803. Ponendo tra la corrente di rinnovo e quella di espulsione il recuperatore di calore si recupera energia che andrebbe espulsa e si abbatte il consumo energetico dell'impianto per più del 50%.

## **2.3 Prestazione del recuperatore di calore**

Il recuperatore di calore viene identificato attraverso gli indici prestazionali per una data condizione di funzionamento:

- Rendimento in temperatura<sup>1</sup>;
- Perdita di carico.

Il rendimento indica la capacità dello scambiatore di recuperare calore dalla corrente di espulsione mentre la perdita di carico rappresenta la caduta di energia della corrente d'aria dovuta all'attraversamento dello scambiatore.

La norma UNI EN 308 (UNI 1998) e lo standard ASHRAE 84-1991 (ASHRAE 1992) spiegano il metodo per la valutazione sperimentale di tali indici e come calcolarli.

Parallelamente la norma UNI EN 13053 (UNI 2011) introduce un coefficiente unico per la determinazione della prestazione dello scambiatore chiamato *efficienza energetica*. Esso è uguale al rendimento in temperatura corretto per il rapporto tra la potenza del sistema di recupero e la potenza elettrica consumata.

# **3. L'EFFICIENZA ENERGETICA**

## **3.1 Metodo di calcolo**

Di seguito verrà esposta la procedura per il calcolo dell'efficienza energetica in accordo con la norma UNI EN 13053.

Definiamo:

- $T_{11}$  [°C] temperatura di espulsione;
- $T_{21}$  [°C] temperatura aria esterna;

---

<sup>1</sup> In questo lavoro e nelle norme di riferimento, i termini "rapporto di temperatura" e "rendimento in temperatura" sono usati come sinonimi; essi coincidono quando le portate dell'aria di rinnovo e di espulsione sono uguali come viene assunto nello svolgimento di questo elaborato.

- $T_{22}$  [°C] temperatura di rinnovo in uscita dal recuperatore di calore;
- $\eta_t$  rapporto di temperatura del recuperatore.

Nella Tabella I sono illustrati i valori delle condizioni di riferimento definite dalla norma.

**Tabella I: Condizioni di riferimento per il calcolo della classe ed efficienza energetica secondo UNI EN 13053.**

$T_{11} = 25^\circ\text{C}$	$T_{21} = 5^\circ\text{C}$
Portata bilanciata tra rinnovo ed espulsione (1:1)	
Condizioni secche, senza formazione di condensa	

Abbiamo:

$$\eta_t = ((T_{22} - T_{21}) / ((T_{11} - T_{21}))) \quad (1)$$

La perdita di carico totale attraverso il recuperatore  $\Delta p_{HRS}$  [Pa] è la somma delle due perdite di carico della corrente di rinnovo  $\Delta p_{rinnovo}$  [Pa] e di quella di espulsione  $\Delta p_{espulsione}$  [Pa].

$$\Delta p_{HRS} = \Delta p_{rinnovo} + \Delta p_{espulsione} \quad (2)$$

Il rapporto di temperatura e le perdite di carico sono indici caratteristici di un recuperatore di calore. Per la determinazione di tali informazioni si utilizzerà, all'interno di questo elaborato, un programma di calcolo dedicato scaricabile gratuitamente da internet.

Questi valori sono calcolati con i suddetti valori di riferimento. Si comprende quindi come i dati caratteristici non siano validi per tutte le condizioni di funzionamento.

Definiamo:

- $q_v$  [m<sup>3</sup>/s] portata d'aria;
- $\eta_D$  rendimento del sistema di consumo dell'energia elettrica;
- $P_{el}$  [W] potenza elettrica assorbita;
- $P_{el,aux}$  [W] potenza elettrica di eventuali apparecchi ausiliari.

Calcoliamo:

$$P_{el} = q_v * \Delta p_{HRS} * 1 / \eta_D + P_{el,aux} \quad (3)$$

La potenza elettrica ( $P_{el}$ ) dipende quindi dalla portata ( $q_v$ ), dalla perdita di carico totale ( $\Delta p_{HRS}$ ) e dal rendimento del sistema di consumo dell'energia elettrica ( $\eta_D$ ). In particolare quest'ultimo, in mancanza di informazioni, lo si può considerare pari a 0.6.

Se il sistema di recupero richiede la movimentazione di altri componenti è necessario conteggiare anche il consumo di questi ausiliari: per esempio il motore per la movimentazione dei recuperatori rotativi.

Una volta calcolata la potenza elettrica necessaria per il corretto funzionamento del sistema di recupero dell'energia, si calcola dunque il coefficiente di prestazione denominato COP.

Definiamo:

- $Q_{HRS}$  [W] potenza recuperata del recuperatore;
- $\rho_a$  [kg/m<sup>3</sup>] densità dell'aria;
- $cp_a$  [J/(kgK)] calore specifico dell'aria.

$$Q_{HRS} = q_v * \rho_a * cp_a * (T_{22} - T_{21}) \quad (4)$$

Calcoliamo:

- COP coefficiente di prestazione.

$$COP = Q_{HRS} / P_{el} \quad (5)$$

Il coefficiente di prestazione rappresenta il beneficio che si ottiene nell'utilizzo del recuperatore di calore per unità di potenza elettrica consumata.

A questo punto si hanno tutti gli elementi per il calcolo dell'efficienza energetica:

$$\eta_e = \eta_t (1 - 1/COP) \quad (6)$$

Con l'equazione (6) si calcola quindi l'indice che fornisce informazioni globali circa la prestazione del recuperatore di calore. Infatti il rapporto di temperatura calcolato in condizioni secche, senza il manifestarsi di fenomeni di condensazione, viene depurato di una quota parte consumata dalla perdita di energia dovuta al funzionamento dello stesso. Attraverso il calcolo di tale indice è possibile infine risalire alla classe energetica di appartenenza utilizzando la seguente Tabella II.

**Tabella II: Intervalli per la determinazione della classe energetica.**

Classe	$\eta_{e\ 1:1min}$ [%]
H1	$\geq 71$
H2	$\geq 64$
H3	$\geq 55$
H4	$\geq 45$
H5	$\geq 36$
H6	nessun requisito

A supporto della rapidità di progettazione, abbiamo generato il grafico della Figura 1 che riporta, per tre classi energetiche (H3, H2 e H1), in funzione della perdita di carico

totale del sistema di recupero, i valori del rapporto di temperatura e la corrispondente temperatura dell'aria all'uscita del recuperatore, che rispettano la classe energetica scelta. Queste curve sono state costruite partendo dalla definizione di efficienza energetica enunciata nella sopraccitata norma UNI EN 13053. È stata ricavata una costante definita "k", equazione (7), che dipende dal sistema e l'equazione (8) dalla quale si ricavano le curve limite delle classi energetiche.

$$k = c_{p_a} \cdot \rho_a \cdot \eta_D \quad (7)$$

$$\eta_t = \eta_c + \Delta p_{HRS} / (k \cdot (T_{11} - T_{21})) \quad (8)$$

In questo elaborato la costante  $k$  è stata calcolata facendo riferimento alle seguenti condizioni di funzionamento:

- $\eta_D = 0.6$ ;
- $P_{el, aux} = 0 \text{ W}$ ;
- $c_{p_a} = 1004 \text{ J/(kg K)}$ ;
- $\rho_a = 1.2 \text{ kg/m}^3$ .

In particolare il diagramma riporta i valori correlati alla classe energetica H3, la minima accettabile in accordo alla norma VDI 3803 che recita "...all air-condition systems that are installed in a building or refurbished must be equipped with a heat recovery that at least corresponds to the classification H3..." ma abbiamo aggiunto le due classi superiori, H2 ed H1, per evidenziare come, per queste classi, debbano essere adottati dei recuperatori con più elevati valori del rapporto di temperatura.

L'adozione di queste classi superiori segue la tendenza dei paesi europei verso maggiori risparmi energetici.

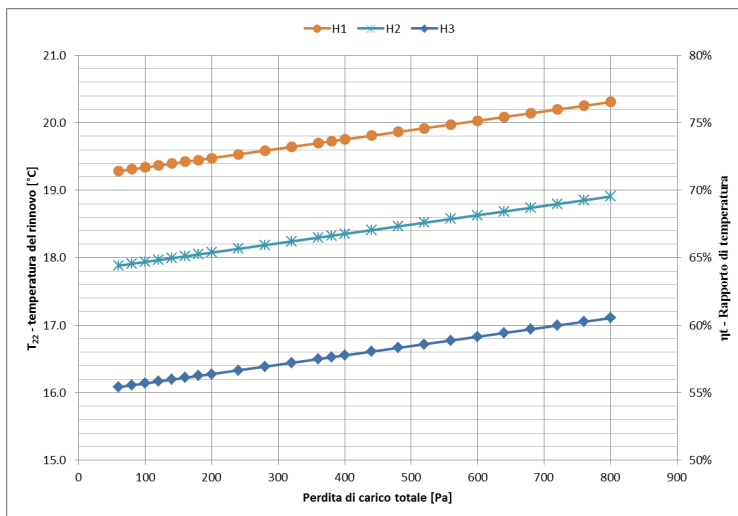


Figura 1: Curve limite delle classi energetiche.

### 3.2 Esempio di calcolo

Per meglio comprendere la metodologia per la valutazione della classe energetica, di seguito verrà sviluppato un esempio di calcolo.

Il caso che segue è basato su dati tecnici di un prodotto offerto sul mercato le cui caratteristiche sono riportate nella Figura 3. Questo tipo di recuperatore è caratterizzato da una geometria dell'aletta che assicura un'ottima turbolenza dell'aria, come si può osservare nella Figura 2.



Figura 2: Particolare della geometria dell'aletta del modello di recuperatore in esame.

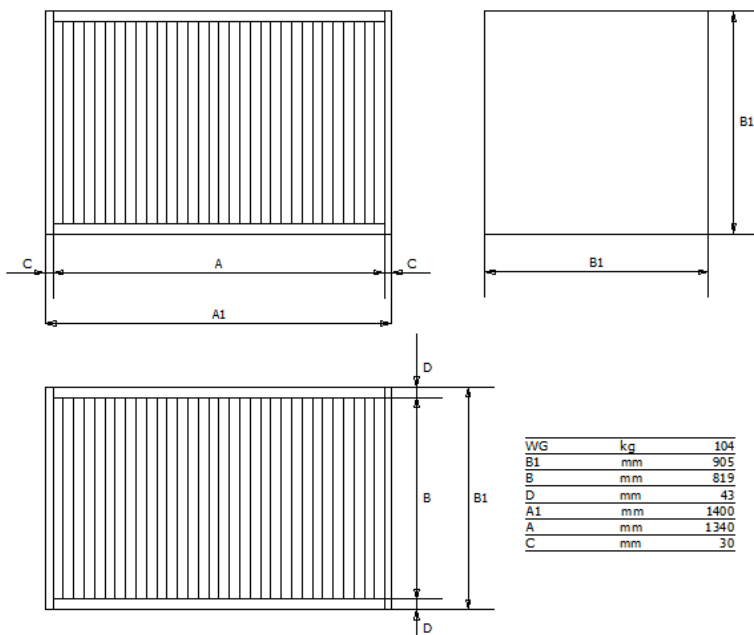


Figura 3: Caratteristiche geometriche del recuperatore di classe H3 utilizzato nell'analisi (§4.1, §4.2, §3.2).

**Tabella III: Input per il calcolo di esempio.**

Simbolo	Valore	Unità	Definizione
$T_{11}$	25	°C	Temperatura espulsione
$T_{21}$	5	°C	Temperatura esterna
$q_v$	2.78	m <sup>3</sup> /s	Portata d'aria
$\eta_D$	0.75		Efficienza consumo energia elettrica
$P_{el,aux}$	0	W	Potenza elettrica ausiliari

Essendo il recuperatore a piastre uno scambiatore di calore statico, nel sistema non ci sono ausiliari da considerare quindi si pone il valore  $P_{el,aux}$  uguale a zero. La portata d'aria ( $q_v$ ) è quella necessaria per il corretto ricambio dell'aria all'interno di un supermercato di superficie pari a circa 1200m<sup>2</sup> (10000m<sup>3</sup>/h). Nell'esempio, si considera il rendimento dei sistemi di consumo dell'energia elettrica pari a 0.75 come da calcoli successivi. Utilizzando il software di calcolo delle prestazioni, si ottengono i seguenti risultati osservabili nella Figura 4 e Tabella IV.

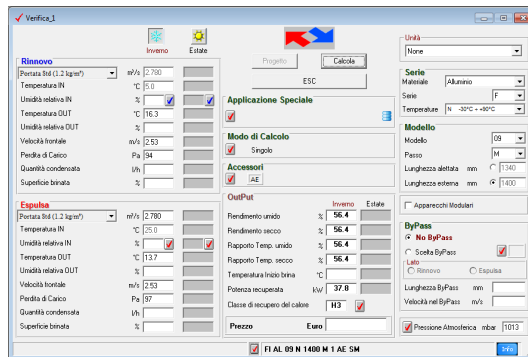


Figura 4: Schermata del programma di selezione del recuperatore di calore di classe H3 (§4.1, §4.2).

**Tabella IV: Output di calcolo.**

Simbolo	Valore	Unità	Definizione
$T_{22}$	16.3	°C	Temperatura rinnovo (uscita recuperatore)
$\eta_t$	56.4	%	Rapporto di temperatura
$Q_{HRS}$	37800	W	Potenza recuperata
$\Delta p_{rinnovo}$	94	Pa	Perdita di carico rinnovo
$\Delta p_{espulsione}$	97	Pa	Perdita di carico espulsione

Il programma di calcolo fornisce la valutazione della temperatura di rinnovo all'uscita del recuperatore, il rendimento, la perdita di carico di entrambi i flussi e la po-



tenza recuperata; questi valori sono mostrati nella Tabella IV. Di seguito si conclude l'esempio con il calcolo dell'efficienza energetica. Utilizzando le formule sopra esposte si ottengono i seguenti risultati riassunti nella Tabella V.

**Tabella V: Risultati calcolati attraverso le equazioni (2) (3) (5) (6).**

Simbolo	Valore	Formula	Unità	Definizione
$\Delta p_{HRS}$	191	$=94+97$	Pa	Somma delle perdite di carico
$P_{el}$	708	$=2.78*191*1/0.75+0$	W	Potenza elettrica utilizzata
$COP$	53.4	$=37800/708$		Coefficiente di prestazione
$\eta_e$	55.3	$=56.4*(1-1/53.4)$	%	Efficienza energetica

Dai valori ottenuti in Tabella V e facendo riferimento alla Tabella II, si ottiene che il recuperatore appartiene alla classe H3 come si può notare dalla Figura 5.

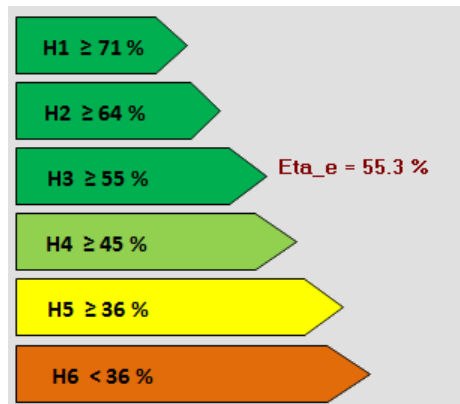


Figura 5: Classe energetica di appartenenza.

#### 4. VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO

Una volta definita la classe energetica del recuperatore di calore è interessante calcolare l'entità del risparmio energetico, al netto della spesa di energia fornita all'aria per l'attraversamento del recuperatore, per varie configurazioni scelte in diverse zone climatiche del Nord e del Sud Italia.

L'analisi si divide in tre parti:

1. Confronto del valore dell'investimento a Milano e a Palermo con l'installazione di un recuperatore di classe energetica H3;
2. Quantificazione del vantaggio nell'installazione di un sistema di raffreddamento evaporativo su un recuperatore di classe H3 nella località di Palermo;
3. Aumento del risparmio energetico a Milano sostituendo il recuperatore H3 con uno di classe energetica H1.

La portata d'aria che attraversa il recuperatore di calore è stata calcolata seguendo la norma UNI 10339 per un'attività commerciale di superficie pari a 1235m<sup>2</sup>.

La suddetta norma definisce un valore di affollamento per tale struttura che è pari a 0.25pp/m<sup>2</sup>. Per ogni persona è necessario un ricambio d'aria di  $9 \cdot 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s. Si ottiene così una portata di rinnovo ed espulsione pari a 10000m<sup>3</sup>/h (2.78m<sup>3</sup>/s).

L'analisi si basa su due diverse zone d'Italia per apprezzare l'influenza che l'andamento della temperatura esterna ha sul risparmio energetico e quindi sul ritorno dell'investimento.

Per poter effettuare un'analisi del risparmio energetico è necessario definire il tipo di impianto per il riscaldamento ed il raffrescamento dell'aria di rinnovo. Per quanto riguarda il riscaldamento è stata considerata una caldaia a gas naturale con rendimento pari a 85% e un costo del combustibile pari a 0.50€/Nm<sup>3</sup>. Nella stagione calda, l'impianto per la climatizzazione è caratterizzato da una macchina frigorifera con un coefficiente di prestazione per il raffrescamento pari a 3 ed un costo dell'energia elettrica uguale a 0.18€/kWh. Il ventilatore installato necessario per superare le perdite di carico del recuperatore ha un rendimento di 0.75. L'impianto funziona dal lunedì al sabato per 11 ore continuative. Il costo dell'investimento non è semplicemente uguale al costo del recuperatore di calore ma questa scelta comporta un aggravio dei costi dovuto ad un aumento della potenza dei ventilatori e della quantità di profili necessari per la costruzione della macchina. Per procedere con l'analisi è stato supposto un aumento dei costi dovuto all'installazione del recuperatore pari al valore dello stesso: 973€.



*Figura 6: Cartina dell'Italia. Cerchiate le posizioni delle città prese in considerazione nell'analisi: Milano e Palermo.*

L'andamento delle temperature a Milano e Palermo nell'anno 2013 è stato ricavato da un database<sup>2</sup>; in Figura 7 sono rappresentati i risultati in forma grafica.

<sup>2</sup> [archivio-meteo.distile.it/](http://archivio-meteo.distile.it/).

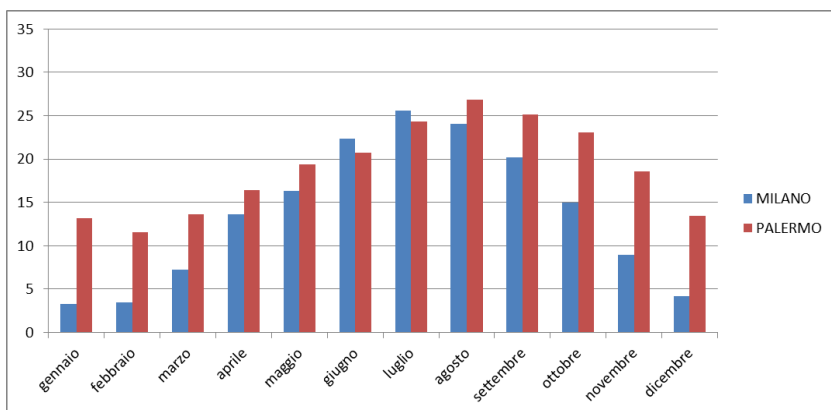


Figura 7: Andamento della temperatura a Milano e Palermo nell'anno 2013.

Come si può notare dalla Figura 7, Milano presenta una maggiore escursione termica con temperature più basse d'inverno di circa 10°C.

Si considera una temperatura interna nel locale pari a 20°C nel periodo invernale e 24°C nel periodo estivo.

#### 4.1 Milano e Palermo con recuperatore di classe H3

Secondo quanto definito nel paragrafo di introduzione si prenda in considerazione per la seguente analisi il recuperatore il cui dettaglio geometrico è specificato nella Figura 3. Implementando la libreria del programma di selezione per il calcolo ricorsivo, sono stati calcolati tutti gli stati di funzionamento del recuperatore in temperatura e umidità relativa, giorno per giorno, ricavando così rendimento e perdita di carico per ciascun giorno dell'anno. Calcolando poi il risparmio energetico si ottengono i risultati riportati nelle Figura 8 e Figura 9 rispettivamente per la città di Milano e Palermo.

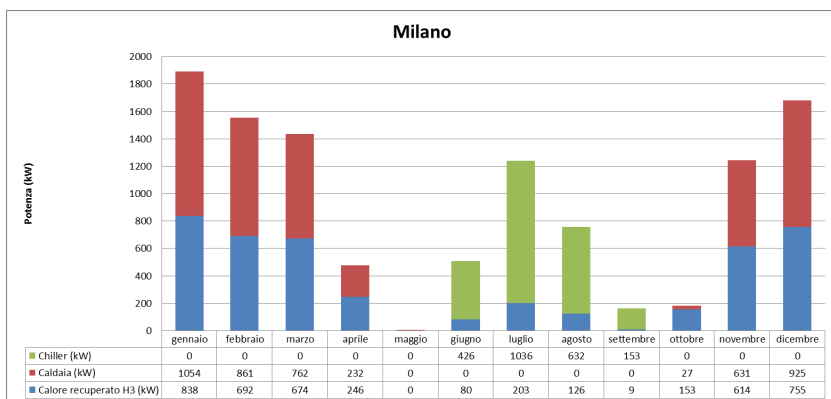


Figura 8: Potenza mensile richiesta dal sistema di ventilazione meccanica forzata nella città di Milano e potenza recuperata con scambiatore in classe H3.

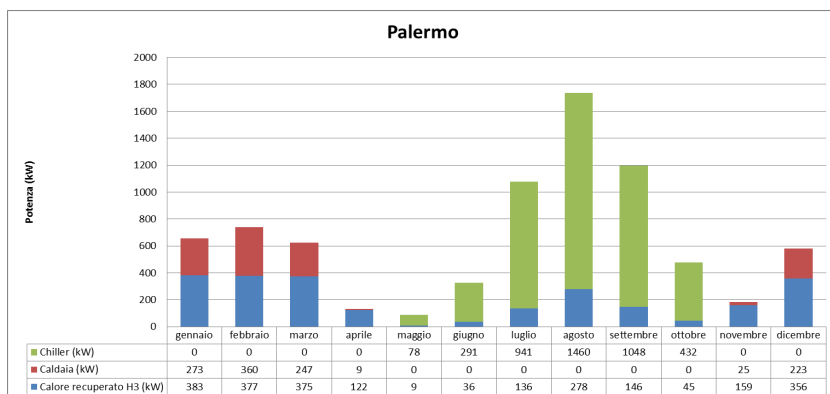


Figura 9: Potenza mensile richiesta dal sistema di ventilazione meccanica forzata nella città di Palermo e potenza recuperata con scambiatore in classe H3.

Si può notare dalle precedenti figure come la potenza totale necessaria sia fornita in parte dal recuperatore di calore e sia integrata poi dal sistema di condizionamento dell'aria.

Si nota poi come il recupero energetico sia maggiore a Milano durante la stagione invernale e minore durante quella estiva rispetto alla città di Palermo.

Durante la stagione intermedia il calore recuperato è minimo o nullo. Grazie alle temperature esterne miti è possibile climatizzare l'ambiente con il free cooling, attraverso l'inserimento del ByPass nello scambiatore che viene adeguatamente gestito secondo un'opportuna logica di controllo (Figura 10).

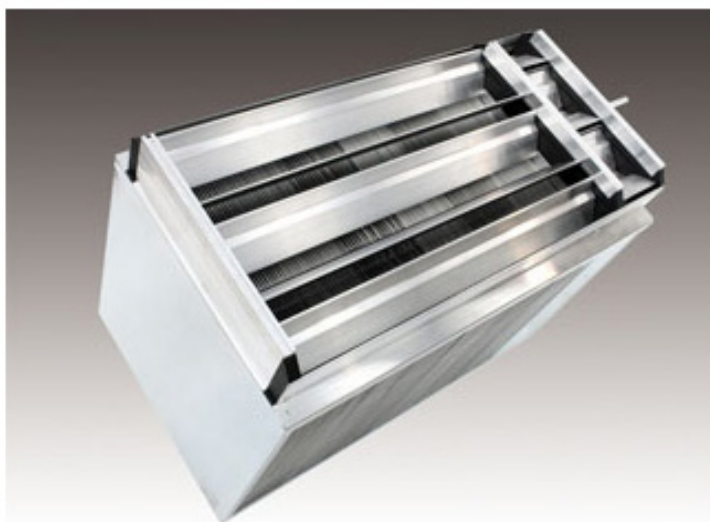


Figura 10: Recuperatore di calore provvisto di ByPass.

Per valutare il risparmio economico abbiamo mostrato l'andamento del valore dell'investimento negli anni, nella Figura 11.

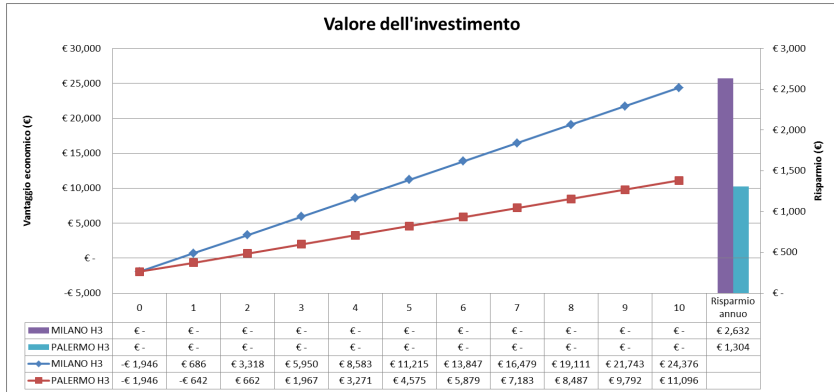


Figura 11: Andamento del valore dell'investimento durante gli anni di utilizzo e risparmio annuo per le città di Milano e Palermo con recuperatori di classe H3.

Un minore recupero energetico si traduce poi in un minore risparmio annuale con maggiori tempi di ritorno dell'investimento. In particolare, per Milano si ha un rientro dell'investimento che è circa pari a 0.7 anni mentre a Palermo sono necessari 1.5 anni affinché esso abbia un valore positivo. Sfruttando il calore presente nella corrente di espulsione si può risparmiare annualmente 2632€ a Milano e 1304€ a Palermo.

#### 4.2 Palermo con recuperatore di classe H3 e raffreddamento evaporativo

Il recupero energetico durante la stagione estiva può essere aumentato attraverso l'installazione di un sistema di umidificazione della corrente di espulsione con un'efficienza di saturazione pari a 0.90 (Equazione (9)).

$$\eta_{\text{sat}} = \frac{(X_2 - X_1)}{(X_S - X_1)} \quad (9)$$

Il raffreddamento evaporativo indiretto permette l'aumento del salto termico tra l'aria di rinnovo e quella di espulsione. Umidificando infatti la corrente di espulsione, l'acqua nebulizzata vaporizza, assorbendo il calore latente richiesto, raffreddandola.

In particolare, utilizzando un corretto sistema di umidificazione dell'aria di espulsione si abbassa la temperatura dell'aria di ripresa da 24°C a 19.1°C. Ne consegue una maggiore differenza di temperatura tra le due correnti che determina un risparmio energetico superiore in tutti i mesi estivi, come si può notare dalla Figura 12.

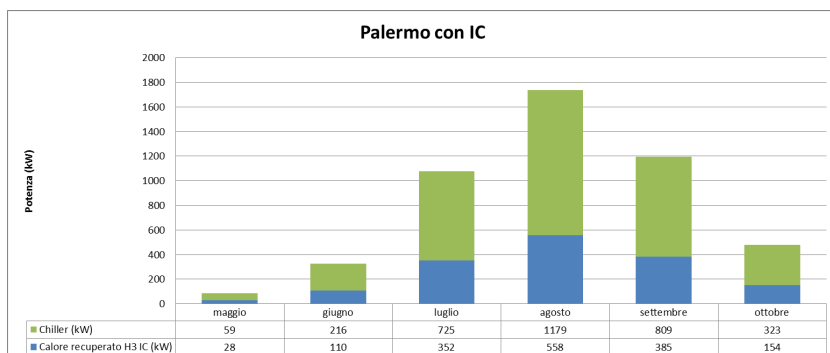


Figura 12: Potenza mensile richiesta dal sistema di ventilazione meccanica forzata nella città di Palermo e potenza recuperata con scambiatore in classe H3 e con sistema di raffreddamento evaporativo.

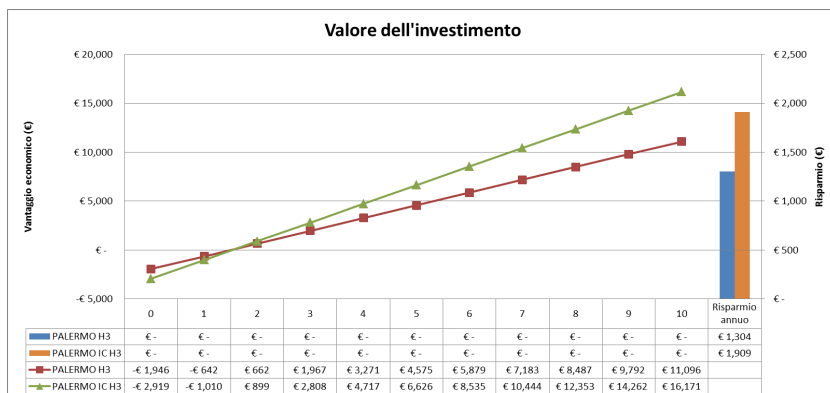


Figura 13: Vantaggio economico del recuperatore in classe H3 a Palermo con e senza sistema di raffreddamento evaporativo (IC).

L'inserimento all'interno dell'impianto di un sistema di umidificazione comporta un costo che è stato ipotizzato pari al costo del recuperatore.

Per la valutazione del risparmio economico, nella Figura 13, osserviamo che il risparmio energetico aumenta e mantiene un rientro dell'investimento pari a 1.5 anni circa nonostante il maggior costo dell'installazione.

### 4.3 Milano con recuperatore di classe H1

Milano presenta un clima con temperature invernali più rigide di Palermo. Avendo dunque un maggiore salto di temperatura durante la stagione invernale è interessante analizzare come potrebbe cambiare lo scenario installando un recuperatore di classe H1.

Un recuperatore con rendimenti più elevati presenta delle dimensioni maggiori ed un passo delle alette più fitto (maggiore numero delle alette). A questo consegue un costo dello scambiatore e della centrale più elevato.

Per il seguente caso è stato selezionato un recuperatore le cui caratteristiche geometriche sono individuabili nella Figura 15. Il costo di tale recuperatore è pari a 2149€.

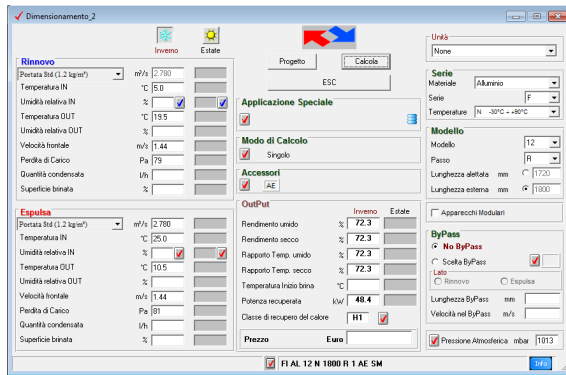


Figura 14: Schermata del programma di selezione del recuperatore di calore di classe H1 (§4.3).

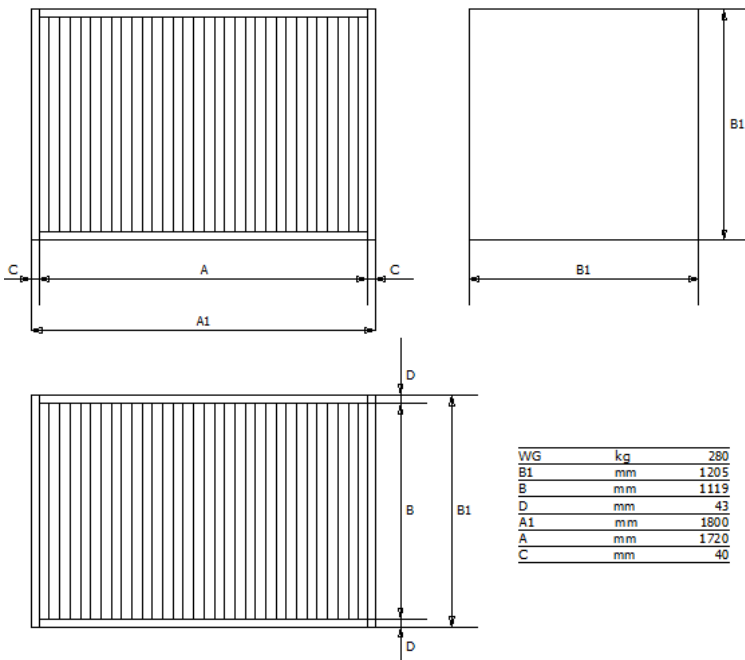


Figura 15: Caratteristiche geometriche del recuperatore di classe H1 utilizzato nell'analisi (§4.3).

Si può osservare dalla Figura 16, come la scelta di un recuperatore di classe H1 in uno scenario come Milano, con temperature più rigide di quelle che si troverebbero a Palermo, porti ad un maggior valore del calore recuperato.

Il maggiore recupero del calore si manifesta quando la differenza di temperatura è elevata. Infatti come si nota nella Figura 16 il beneficio che si ottiene nella scelta di un recuperatore H1 rispetto ad un H3 è maggiore nei mesi invernali e basso in quelli estivi.

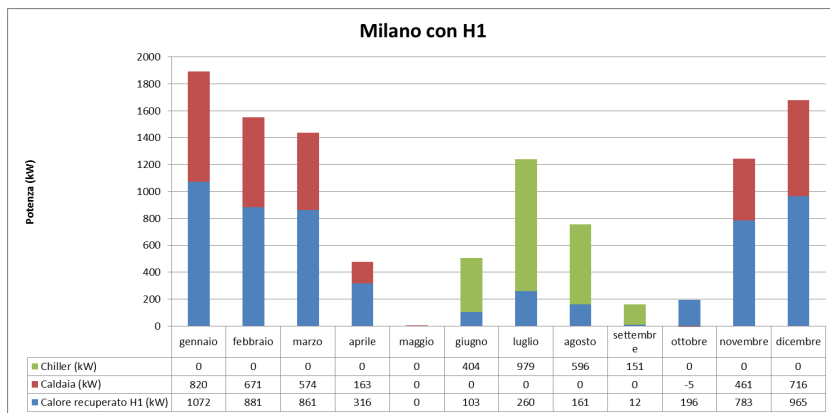


Figura 16: Potenza mensile richiesta dal sistema di ventilazione meccanica forzata nella città di Milano e potenza recuperata con scambiatore in classe H1.

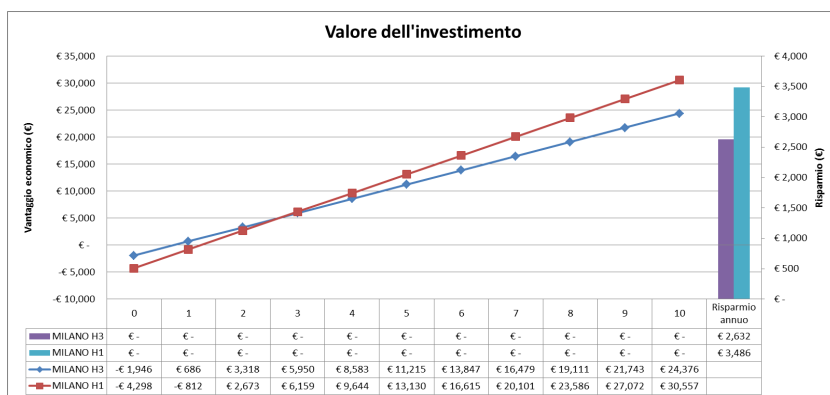


Figura 17: Valore dell'investimento nella città di Milano con recuperatore di classe H1 ed H3.

Per valutare il risparmio economico nella Figura 17 abbiamo paragonato il valore dell'investimento negli anni per il recuperatore di classe H1 e di classe H3.

Anche se, con il recuperatore di classe H1, il tempo di ritorno dell'investimento è aumentato da 0.7 a 1.2 anni, il guadagno annuale è cresciuto di circa il 30% con un vantaggio economico maggiore nel lungo termine.



## 5. CONCLUSIONI

Il ricambio dell'aria è necessario per assicurare il giusto livello di comfort all'interno di un ambiente. La corrente di ripresa possiede una notevole quantità di calore che può essere recuperata prima che essa venga espulsa all'esterno. Essa è infatti una vera e propria fonte rinnovabile sfruttabile attraverso il recuperatore di calore.

Quest'ultimo è caratterizzato da alcuni indici tra cui rapporto di temperatura e perdita di carico. Entrambi questi valori sono riassunti all'interno della classe energetica introdotta dalla norma UNI EN 13053.

Nel presente elaborato è stata illustrata la metodologia di calcolo per la valutazione della classe energetica. È stato poi presentato un esempio di calcolo utile ai fini di una maggiore comprensione.

Lo stesso recuperatore scelto nell'esempio, essendo in classe H3, nel rispetto di quanto richiesto dalla norma VDI 3803, è stato utilizzato per una prima analisi economica.

A sostegno del progettista, è stato fornito un grafico che mostra, in funzione della perdita di carico del sistema, il rapporto di temperatura e la temperatura di uscita dallo scambiatore che il recuperatore deve garantire per rispettare la classe scelta.

Il recuperatore di calore permette il recupero energetico con notevoli benefici. Il ritorno dell'investimento dipende dalle condizioni climatiche esterne, ma è sempre estremamente contenuto. Infatti a Palermo dove le temperature invernali sono più miti rispetto a quelle del nord Italia, l'investimento è ripagato in meno di due anni, mentre a Milano in meno di un anno.

In un clima caldo come quello del sud Italia, l'inserimento dell'impianto di raffreddamento adiabatico aumenta i benefici nell'utilizzo del recuperatore di calore portando il risparmio annuo a circa il 50% in più rispetto allo stesso senza umidificatore evaporativo.

È possibile aumentare il risparmio annuo anche a Milano. Visto l'elevato salto di temperatura durante la stagione invernale, aumentare l'efficienza del recuperatore passando da classe H3 a classe H1, determina un ritorno dell'investimento di circa 1.2 anni ma un risparmio annuo maggiore del 30%.

Infine aumentare l'efficienza del recuperatore senza considerare il profilo di temperatura del luogo dove esso verrà installato non porta sempre a benefici che giustifichino la scelta economicamente più onerosa. È necessario dunque valutare il corretto vantaggio che si ottiene caso per caso ed effettuare la scelta più giusta.

## SIMBOLOGIA

$T_{11}$	Temperatura di espulsione, °C.
$T_{21}$	Temperatura aria esterna, °C.
$T_{22}$	Temperatura di rinnovo in uscita dal recuperatore di calore, °C.
$\eta_t$	Rapporto di temperatura del recuperatore, adim.
$\Delta p_{\text{rinnovo}}$	Perdita di carico della corrente di rinnovo, Pa.
$\Delta p_{\text{espulsione}}$	Perdita di carico della corrente di espulsione, Pa.
$\Delta p_{\text{HRS}}$	Somma della perdita di carico della corrente di rinnovo e di quella di espulsione, Pa.
$q_v$	Portata d'aria, m <sup>3</sup> /s.
$\eta_D$	Rendimento del sistema di consumo dell'energia elettrica, adim.
$P_{el}$	Potenza elettrica assorbita, W.
$P_{el, aux}$	Potenza elettrica di eventuali apparecchi ausiliari, W.
$Q_{\text{HRS}}$	Potenza recuperata, W.
$\rho_a$	Densità dell'aria, kg/m <sup>3</sup> .
$cp_a$	Calore specifico dell'aria, J/(kg K).
$COP$	Coefficiente di prestazione, adim.
$\eta_e$	Efficienza energetica, adim.
$k$	Costante di calcolo, J/(m <sup>3</sup> K).
$H1, \dots, H6$	Classe energetica, adim.
$IC$	Con raffreddamento evaporativo, adim.
$\eta_{\text{sat}}$	Efficienza di saturazione dell'umidificatore, adim.
$x_1$	Umidità assoluta dell'aria all'ingresso dell'umidificatore, g/kg.
$x_2$	Umidità assoluta dell'aria all'uscita dell'umidificatore, g/kg.
$x_s$	Umidità assoluta dell'aria satura alla temperatura del bulbo umido, g/kg.

## BIBLIOGRAFIA

### Norme

- ASHRAE 1992. Method of Testing Air-to-Air Heat Exchangers. ANSI/ASHRAE Standard 84-1991.
- UNI 1995. Impianti aeraulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura. Norma UNI 10339:1995. Milano: Ente Italiano di unificazione.
- UNI 1998. Scambiatori di calore - Procedimenti di prova per stabilire le prestazioni dei recuperatori di calore aria/aria e aria/gas. Norma UNI EN 308:1998. Milano: Ente Italiano di unificazione.
- UNI 2011. Ventilazione degli edifici - Unità di trattamento dell'aria - Classificazioni e prestazioni per le unità, i componenti e le sezioni. Norma UNI EN 13053:2011. Milano: Ente Italiano di unificazione.
- VDI 2012. Air-Conditioning, System Requirements - Heat Recovery Systems. Norma VDI 3803:2012.