

**CIDA**  
CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA  
RISCALDAMENTO  
REFRIGERAZIONE



# Considerazioni sui risultati di funzionamento di differenti sistemi di recupero di calore per un edificio ad uso uffici

P.D. Lessieur

## 0. PREMESSA

I sistemi a recupero e trasferimento di calore non sono certo il risultato della crisi energetica degli anni Settanta. Questi impianti furono infatti sviluppati circa quarant'anni fa da un buon numero di specialisti coscienti, già allora, del problema energetico.

Molte memorie e qualche impianto pilota testimoniano della validità tecnica di tale filosofia la cui diffusione fu ostacolata dall'allora basso costo delle energie primarie.

Molti anni sono trascorsi e, contrariamente all'opinione comune, il problema è ancora oggi immutato. Infatti il rapporto tra investimenti e costo dell'energia risulta essere un parametro quasi costante, mantenendo l'interesse economico a realizzare questi sistemi in un'area di non evidente convenienza.

In realtà, la vera giustificazione dei sistemi di recupero del calore va al di là del fattore puramente economico, per posizionarsi ad un livello ben superiore come ampiamente dimostrato dagli studi sull'effetto serra del pianeta Terra e dalla valutazione ecologica globale.

Purtroppo anche quando il "pay-out" del sovracosto iniziale è evidente, quasi sempre l'utente non è in grado di trarre vantaggio da questi impianti la cui conduzione e rendimento sono strettamente le-

gati ad un livello ben definito dell'entalpia del calore recuperato.

Basta un leggero aumento dei livelli di entalpia dei fluidi, conseguente ad un sottodimensionamento dei sistemi utilizzatori, per vanificare l'utilità dei sistemi di recupero, che in tale caso non solo non rendono, ma aumentano considerevolmente i consumi. Ne consegue quindi la necessità di una progettazione e di una esecuzione molto accurata, nonché di un programma di conduzione ben cosciente della specificità di questi sistemi.

Poiché il costo delle varie energie è una variabile, i programmi di recupero termodinamico devono essere aggiornati in funzione delle variabili di costo.

Inoltre il progettista deve sempre considerare che ben raramente gli impianti funzionano sulla base dei parametri del programma di progetto, per cui sistemi senza possibilità di evoluzione non potranno mai, a termine, mantenere l'efficienza iniziale o di progetto.

Quando nel 1983 il Gruppo Total decise di realizzare un nuovo complesso edilizio ad alta tecnologia, fu evidente che l'impiantistica doveva non solo rappresentare lo stato dell'arte in tutti i suoi aspetti, ma anche integrare ove possibile le precedenti esperienze del Gruppo, già molto attivo con un certo numero di realizzazioni a recupero di calore anche anteriori alla cosiddetta crisi energetica.

Questi impianti avevano permesso di esplorare e

P.I. Piero D. Lessieur, CRD Total France, Parigi

sperimentare concretamente differenti sistemi di accumulo, recupero e trasferimento del calore.

Qualche risultato di questi lavori fu oggetto di una memoria presentata dallo scrivente al Convegno A.I.CARR di Milano nel 1974 [1].

Gli impianti descritti di seguito sono quindi le sintesi di quanto era possibile fare limitando il sovracosto al 3% dell'investimento di base, considerato senza sistemi di recupero e con finestre tradizionali. In tali condizioni il pay-out medio è di circa 4 anni. Qualche piccolo impianto presenta in realtà periodi ben più lunghi, ma nel caso in esame è stato considerato il principio del pay-out globale.

Per quantificare la realtà dei risultati, sono stati installati differenti sistemi di misura controllati da un calcolatore centrale collegato ad un calcolatore di gestione dei bilanci energetici ed economici.

Questi dispositivi permettono non solo il controllo dei risultati, ma soprattutto evidenziano gli inevitabili errori o le anomalie, permettendo la necessaria correzione.

I risultati citati sono il valore medio di 3 anni di funzionamento; la precisione dei bilanci termici è dell'ordine del 10%. Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, tolleranze di questo ordine sono abbastanza difficili da ottenere. Le difficoltà che si presentano durante la definizione dei parametri globali, calcolati per periodi di 24 h, sono determinate non solo dalle tolleranze di misura, ma anche dai fenomeni di sfasamento tipici dei sistemi complessi e dall'inerzia specifica degli impianti.

Inoltre gli attuali dispositivi di misura (temperatura e portata) combinati con un sistema di memorizzazione, non permettono di avere una precisione globale inferiore per esempio a  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  (deriva dalle sonde di rilevazione comprese) e ciò con  $\Delta t$  dell'ordine di  $3-8^{\circ}\text{C}$ .

## 1. DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI

Gli impianti di recupero del calore descritti sono parte integrante dei sistemi meccanici di un complesso edilizio (Tour Total) già presentato al Convegno A.I.CARR di Milano del 1986 [2].

Le caratteristiche principali del complesso edilizio sono:

- superficie condizionata: 61.000 m<sup>2</sup>;
- superficie riscaldata e ventilata: 9.000 m<sup>2</sup>;
- potenzialità termica: 3.500 kW termici;

- potenzialità frigorifera:

- produzione diretta: 3.000 kW frigoriferi;
- alimentazione centrale di quartiere: 2.325 kW frigoriferi;

- portata d'aria dei condizionatori centrali: 1.132.000 m<sup>3</sup>/h;

- portata d'aria degli armadi, ecc.: 635.000 m<sup>3</sup>/h;

- potenzialità elettrica: 9.500 kVA;

- potenzialità dei gruppi elettrogeni: 5.000 kVA;

- potenzialità gruppi statici di continuità: 1.300 kVA.

A titolo di curiosità, in regime estivo, i fabbisogni termici massimi istantanei sono stati i seguenti:

- |                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| - carichi termici interni        | : 53,3% |
| - deumidificazione dell'aria     | : 29,0% |
| - radiazione solare e conduzione | : 17,7% |

## 2. RECUPERO DEL CALORE DI CONDENSAZIONE

Per limitare i costi, i sistemi di recupero del calore fanno capo ad un doppio anello generale di raffreddamento dei condensatori. Lo schema di principio è riportato in figura 1.

La soluzione acqua-glicole è mantenuta in uscita dai condensatori ad una temperatura di 45°C.

Questo fluido alimenta in priorità le batterie e gli scambiatori di calore delle differenti utenze.

L'energia eccedente è smaltita all'atmosfera mediante le torri di raffreddamento in circuito chiuso, in modo da assicurare sul circuito di ritorno una temperatura di 35°C.

In caso di deficit energetico, o di insufficiente, livello di temperatura del circuito di recupero, l'integrazione di energia è realizzato mediante acqua calda a 80-90°C.

L'energia di recupero è utilizzata con programmi variabili, in funzione del degrado della sua temperatura e dei fabbisogni delle utenze.

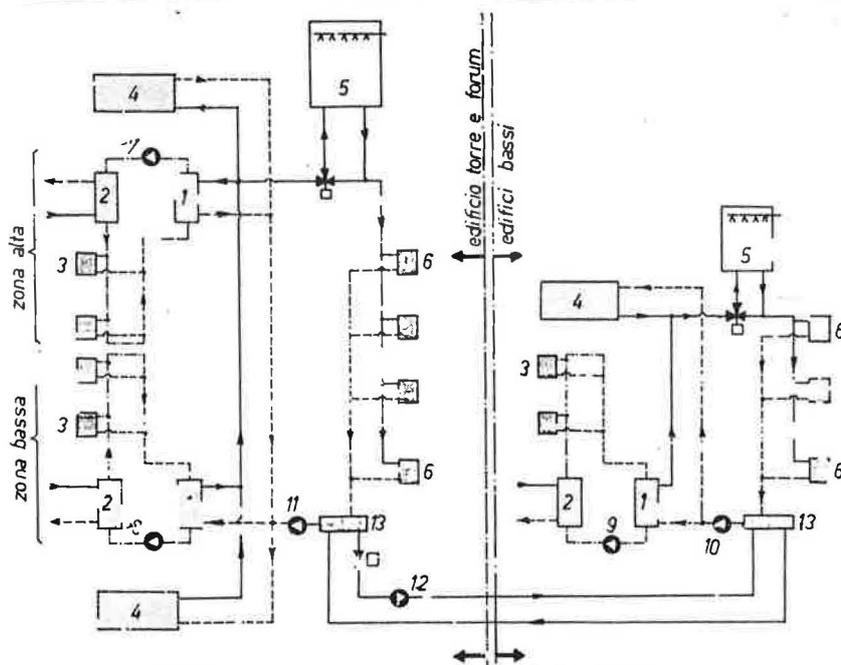
L'investimento supplementare per realizzare il ciclo di recupero di calore è quindi limitato agli scambiatori, alle batterie ed a qualche circuito idraulico di collegamento.

La parte più rilevante del costo aggiuntivo è rappresentata dalla messa a punto dei programmi di gestione di energia, dalla installazione dei sistemi di misura e infine dalla messa a punto.

**FIGURA 1**  
Schema del sistema di recupero principale

**Legenda:**

1. Scambiatore per il recupero di calore - 2. Scambiatore alimentato con acqua 80-90°C - 3. Batterie di postriscaldamento a bassa temperatura - cassette a portata variabile - 4. Batterie preriscaldamento aria esterna (recupero di calore) - 5. Torri di raffreddamento in circuito chiuso - 6. Condensatori condizionatori sale di calcolo e impianti decentralizzati (o d. recupero) - 7-8-9. Pompe circuiti acqua postriscaldamento a bassa temperatura - 10-11. Pompe circuito di raffreddamento condensatori e recupero calore - 12. Pompe trasferimento dell'energia tra i due edifici - 13. Collettori acqua di recupero a 45°C



### 3. RECUPERO DELL'ENERGIA DISSIPATA NEI LOCALI TRASFORMATORI

Il recupero dell'energia dissipata dai trasformatori alta/bassa tensione (9.500 kVA) e per i trasformatori "relais" è realizzato mediante 4 pompe di calore il cui funzionamento è asservito al sistema di gestione centrale.

Tre locali trasformatori (2 principali ed 1 relais) sono installati nei sottosuoli, mentre un altro locale, situato al 33° piano, dispone di un trasformatore relais di 1.000 kVA.

I due locali per i trasformatori principali sono, per motivi di sicurezza, situati ai due estremi del complesso e sono alimentati con reti ad alta tensione indipendenti.

Lo schema di principio degli impianti di recupero e ventilazione per i trasformatori è rappresentato nella figura 2.

L'energia dissipata dai trasformatori è utilizzata, quando necessario, per "caricare" gli evaporatori dei sistemi termodinamici.

Il recupero di calore è realizzato solo quando vengono soddisfatte tutte le condizioni tecniche ed economiche programmate nel sistema di gestione dell'energia.

Poiché, in Francia, il costo dell'energia elettrica è in funzione del periodo orario e stagionale e della

forma di contratto, il sistema di gestione deve sistematicamente confrontare il risultato dell'algoritmo che definisce il costo del kWh termico di recupero con il costo del kWh termico della centrale ad acqua surriscaldata di quartiere e quello dell'energia elettrica prodotta con i gruppi elettrogeni.

Ne consegue che l'autorizzazione di avviamento delle pompe di calore è asservita in priorità ai parametri economici.

Una volta soddisfatti questi parametri, le pompe di calore possono raffreddare i locali trasformatori fino al limite della loro capacità di evaporazione.

Quando il recupero di calore non è economicamente interessante, il raffrescamento di questi ambienti è realizzato dai ventilatori di estrazione.

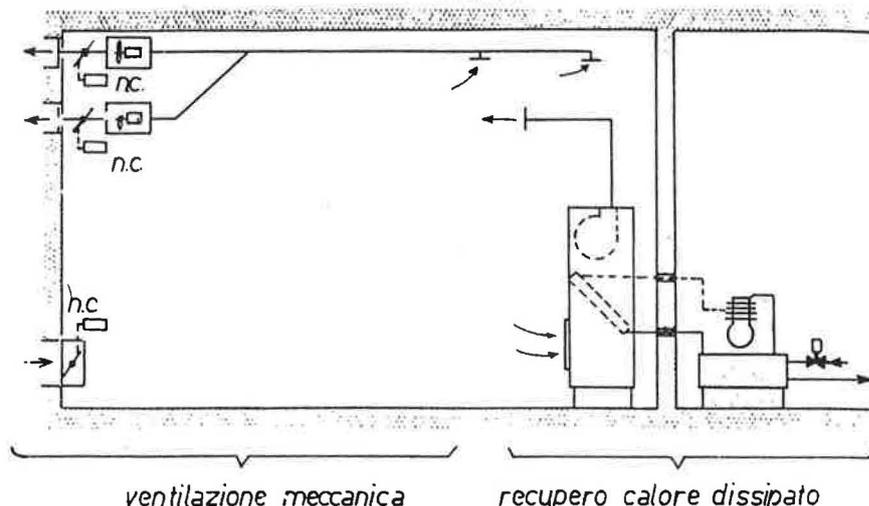
Infine, poiché la capacità dei trasformatori viene penalizzata con temperature ambiente superiori ai 38-40°C, il sistema di recupero può intervenire come un normale impianto di raffrescamento, sostituendosi al sistema di semplice ventilazione. È questa una situazione eccezionale verificatasi finora per una durata non superiore a 11-12 ore in tre anni di funzionamento.

Per questi impianti l'energia termica dissipata è stata dell'ordine di 300 MWh e quella effettivamente recuperata e utilizzata dell'ordine di 96 MWh con un consumo elettrico delle pompe di calore pari a circa 23 MWh.

Considerazioni sui risultati di funzionamento di differenti sistemi di recupero di calore per un edificio ad uso uffici

**FIGURA 2**

*Schema tipo di un impianto recupero di calore per locali trasformatori e ascensori*



#### 4. RECUPERO DELL'ENERGIA DISSIPATA NEI LOCALI ASCENSORI

Gli impianti di recupero di calore per i locali ascensori sono analoghi a quanto descritto per i locali trasformatori, ad eccezione del limite massimo di temperatura ambiente che in questo caso non deve superare i 32°C a causa delle apparecchiature elettroniche di gestione del traffico.

Per ragioni economiche, solo quattro locali ascensori sono dotati di recupero di calore, mentre i restanti quattro sono semplicemente ventilati, l'energia globale dissipata è stata, per i quattro locali considerati, dell'ordine di 350 MWh/anno (consumo elettrico corretto per il coefficiente di dissipazione fornito dal Costruttore), mentre l'energia effettivamente recuperata è stata pari a circa 91 MWh/anno con un corrispondente consumo elettrico di circa 27 MWh.

#### 5. RECUPERO TERMODINAMICO DI CALORE SULL'ESPULSIONE D'ARIA VIZIATA

L'impianto d'espulsione d'aria dei servizi sanitari, locali fotocopie ai piani, ecc., dispone di un sistema di recupero di calore a ciclo termodinamico aria-acqua.

L'aria espulsa può essere raffreddata fino a +5°C.

Questa temperatura dell'aria espulsa permette di evitare qualsiasi rischio di gelo sulla batteria eva-

porante poiché le condizioni dell'aria entrante sono sempre comprese tra 18-23°C e 35-65% u.r.

Il funzionamento di questi sistemi è analogo a quanto descritto per i recuperatori di calore dei trasformatori. L'autorizzazione di funzionamento dipende infatti dalla gestione centralizzata.

Il recupero di calore è stato mediamente di circa 89 MWh/anno con un assorbimento elettrico di circa 19,6 MWh/anno.

#### 6. RECUPERO DI CALORE DELL'ARIA ESPULSA DALLE CAPPE DELLE CUCINE

Trattasi di un sistema con batterie a 6 ranghi di scambio termico atte a trasferire all'aria esterna una parte del calore espulso tramite le cappe delle cucine.

L'energia disponibile all'espulsione è stimata 275 MWh/anno mentre quella recuperata e misurabile non supera i 22 MWh/anno.

In fase di progetto la previsione di recupero era stata valutata a circa 93 MWh/anno.

Il recupero attuale è tanto più deludente in quanto l'energia necessaria per le cucine era stata stimata a circa 500 MWh/anno mentre è attualmente pari a circa 765 MWh/anno, per l'incremento del numero di pasti serviti.

Inoltre, malgrado la filtrazione ed un trattamento con detergenti delle batterie sull'espulsione, i tempi di manutenzione sono risultati pari a tre volte le previsioni.

## 7. RECUPERO DEL CALORE DI ILLUMINAZIONE

La maggior parte dell'aria immessa negli uffici è ripresa attraverso le lampade, cosicché il carico dissipato in ambiente si riduce a  $3,8 \text{ W/m}^2$  mentre  $4,2 \text{ W/m}^2$  circa sono trasferiti all'aria di ripresa come rappresentato nel diagramma della figura 3.

Il recupero del calore delle lampade permette di asportare circa  $160 \text{ MWh/anno}$  con un recupero energetico effettivo di circa  $32 \text{ MWh/anno}$ .

In sede di progettazione, l'energia sulla ripresa era stata stimata a  $210\text{-}260 \text{ MWh/anno}$  con un recupero quasi uguale a quello effettivamente misurato.

Questo sistema è particolarmente interessante in quanto l'incremento di costo per realizzare la ripresa attraverso le lampade è stato del tutto insignificante e, per di più, non vi sono costi di gestione complementari.

Inoltre il sistema riduce i carichi ambiente in estate e media stagione.

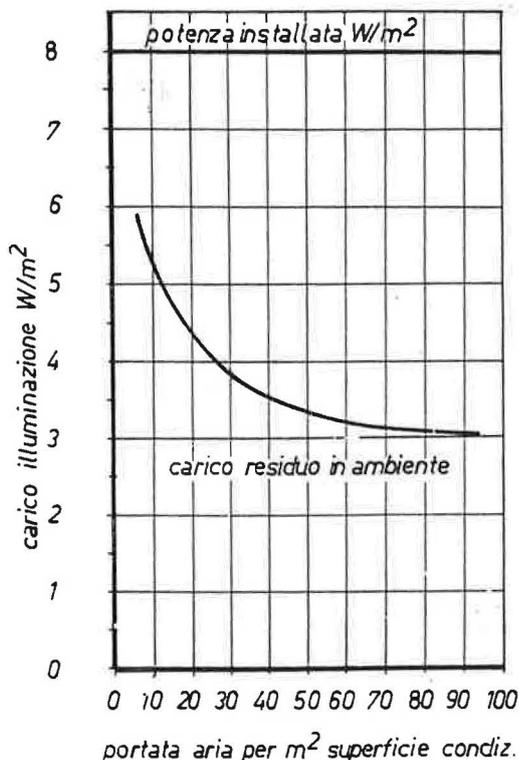


FIGURA 3  
Curve di rendimento di recupero del calore emesso dalle lampade

## 8. RECUPERO DELL'ENERGIA SOLARE MEDIANTE L'ISOLAMENTO DINAMICO DELLE FINESTRE

Questo sistema è rappresentato schematicamente nelle figure 4 e 5.

Le finestre ad isolamento dinamico permettono di recuperare od espellere, secondo la sua temperatura e le necessità dell'edificio, l'aria che transita tra i vetri.

Il sistema di recupero e trasferimento del calore permette, quando è necessario, di recuperare una parte dell'energia termica captata dalle tapparelle verso un circuito di recupero, oppure espellerle all'esterno. La finestra funziona in pratica come un collettore solare ad aria nel quale la tapparella metallica si comporta come un assorbitore che cede all'aria il calore della radiazione solare e ciò con un fattore di assorbimento relativamente elevato.

Purtroppo la complessità di questo sistema non ha permesso di realizzare delle misure segmentate per valutare separatamente il rendimento del sistema di isolamento dinamico delle finestre e quello della coibentazione termica dell'involucro.

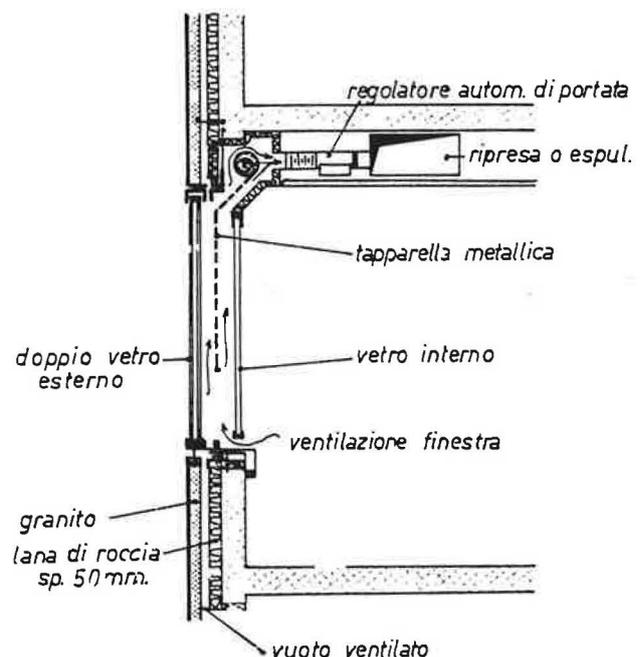


FIGURA 4  
Sistema di recupero del calore attraverso le finestre

Considerazioni sui risultati di funzionamento di differenti sistemi di recupero di calore per un edificio ad uso uffici

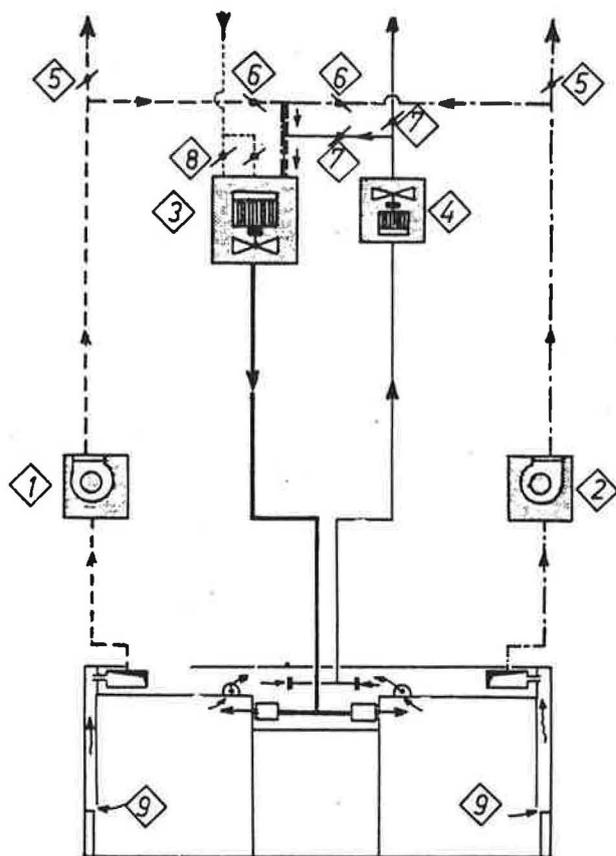


FIGURA 5

Schema del sistema di recupero del calore di radiazione ed illuminazione

Legenda:

1-2. Ventilatori estrazione e recupero finestre ventilate facciate Ovest ed Est (portata costante) - 3. Ventilatori di mandata (portata variabile) - 4. Ventilatori di ripresa zone interne e lampade (portata variabile) - 5-6-7-8. Serrande espulsione e ricircolo per ciclo a free-cooling e a recupero del calore - 9. Ripresa e recupero del calore di radiazione (o isolamento dinamico invernale)

## 9. RECUPERO DI CALORE PER LE SALE DI RIPRODUZIONE E STAMPA

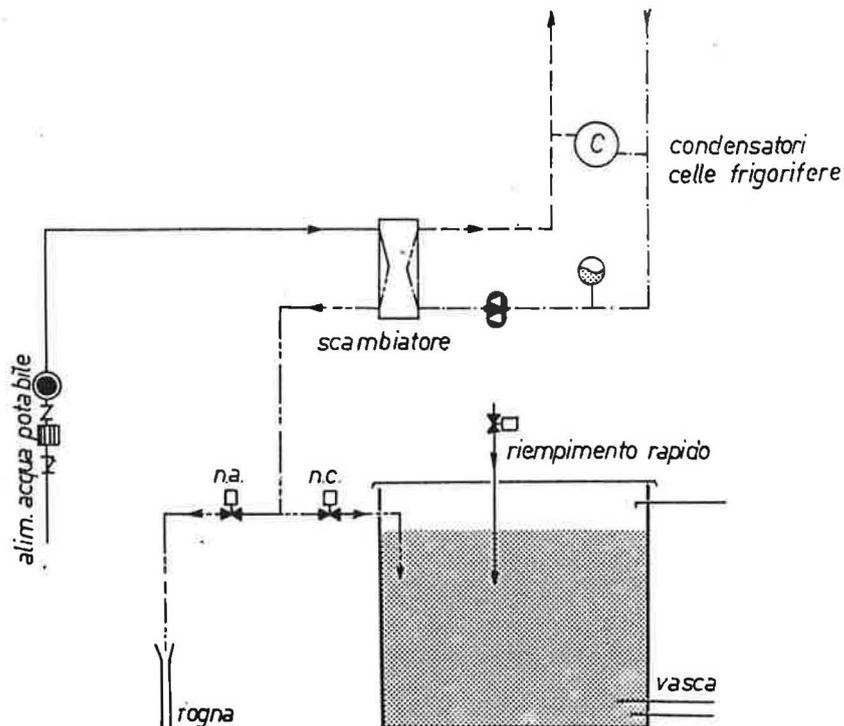
La sala di riproduzione centrale è condizionata con un sistema a portata variabile con batterie di post-riscaldamento. Il ciclo è di tipo "free-cooling" e cinque condizionatori autonomi ad armadio integrano l'impianto di base.

I gruppi termodinamici degli armadi cedono il loro calore di condensazione al circuito di recupero del calore.

Il sistema di gestione dell'energia provvede all'esclusione dei gruppi frigoriferi quando il costo dell'energia termica (per la rete di recupero del calore) o dell'energia frigorifera di quartiere (per il raf-

FIGURA 6

Recupero del calore di condensazione delle celle frigorifere del ristorante



freddamento ambiente) sono economicamente più interessanti.

L'aria di espulsione delle macchine di riproduzione disegni, ecc., la cui temperatura è di circa 28-35°C, può essere raffreddata mediante una pompa di calore aria/acqua.

Per questi impianti il calcolo del recupero di calore è praticamente impossibile, in quanto non sono state separate per gli armadi autonomi le condizioni di avviamento per la produzione di freddo da quelle di recupero del calore.

Globalmente l'energia disponibile ai condensatori è stata di circa 62,5 MWh/anno. La quantità effettivamente recuperata non è valutabile.

Per quanto riguarda il recupero sull'espulsione dell'aria delle macchine, l'impianto non ha mai funzionato correttamente.

Inoltre, dopo circa un anno di funzionamento le alette in alluminio della batteria di raffreddamento hanno cominciato a corrodersi fortemente, a causa della concentrazione di ammoniaca combinata con l'ozono delle lampade.

Questo impianto è attualmente fuori servizio.

## 10. RECUPERO DI CALORE PER I COMPRESSORI D'ARIA

I compressori d'aria sono attualmente dotati di un sistema di recupero del calore.

Questo impianto non è stato ancora messo in servizio in quanto è stato realizzato alla fine del 1988.

## 11. RECUPERO DI CALORE PER LE CELLE FRIGORIFERE E IMPIANTI ANNESSI

Le celle frigorifere e gli impianti per i ristoranti a "self-service" dispongono di gruppi refrigeratori con condensatori ad acqua.

Il calore di condensazione è utilizzato per il preriscaldamento dell'acqua di reintegro della piscina, acqua calda sanitaria, ecc.

Le misure di recupero del calore non sono in questo caso possibili in quanto non è stato considerato utile installare i differenti sistemi di misura.

Lo schema di questo impianto è rappresentato nella figura 6.

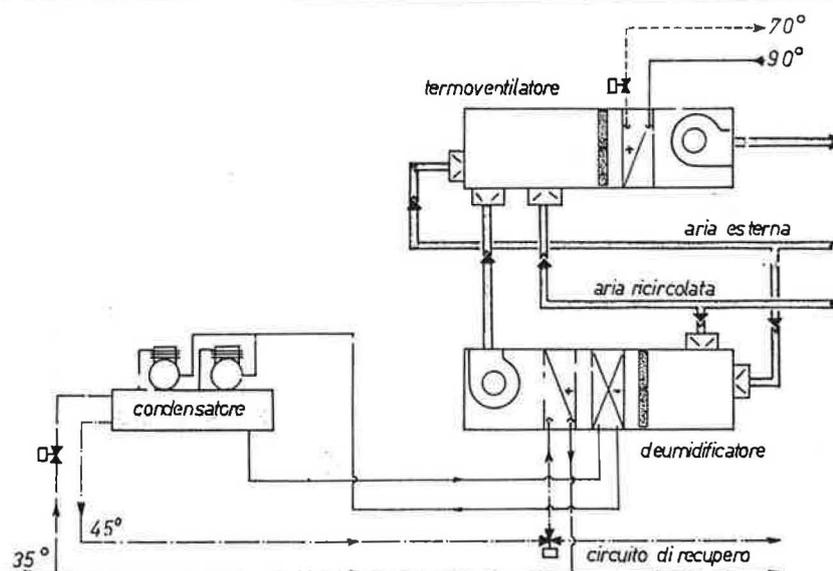
## 12. RECUPERO DI CALORE A CICLO TERMODINAMICO PER LA PISCINA

L'impianto consiste in un sistema di termoventilazione combinato con una pompa di calore avente il compito di deumidificare l'ambiente, come rappresentato nello schema della figura 7.

L'evaporazione totale dell'acqua del bacino della piscina è compresa tra 65 e 75 kg/h con temperatura dell'acqua e dell'aria di circa 26°C costanti.

In regime di deumidificazione, l'aria ricircolata è raffreddata a 13,5°C-90% u.r. ed è poi post-riscaldata mediante il calore di condensazione in funzione dei fabbisogni.

**FIGURA 7**  
Schema del sistema di deumidificazione e recupero del calore per la piscina



Considerazioni sui risultati di funzionamento di differenti sistemi di recupero di calore per un edificio ad uso uffici

L'energia di condensazione eccedente resta a disposizione del circuito generale di recupero del calore.

L'acqua di reintegro del bacino è preriscaldata, come già descritto, mediante il calore di condensazione delle celle frigorifere.

Il fabbisogno termico globale annuo della piscina e dei servizi annessi è mediamente di 1.520 MWh.

L'energia termica recuperata tramite la pompa di calore è risultata pari a circa 658 MWh/anno, di cui 550 MWh direttamente centralizzati per gli impianti della piscina mentre circa 100 MWh/anno sono trasferiti alla rete generale di recupero.

Il consumo elettrico del gruppo termodinamico (e della sua pompa di circolazione) è stato di circa 157 MWh/anno.

È bene ricordare che, teoricamente, i sistemi di recupero della piscina sono in grado di sopperire all'80% dei fabbisogni.

Nel caso in esame sono i parametri introdotti nel sistema di gestione centralizzata che decidono la sorgente di energia in funzione dei costi reali.

### 13. RECUPERO DI CALORE LOCALI LAVASTOVIGLIE

Per il recupero di calore delle fumane dei locali lavastoviglie, è stato installato un recuperatore a ciclo termodinamico che raffredda l'aria espulsa fino a 7-8°C, mentre un altro sistema deumidifica l'aria ambiente.

Questo impianto può funzionare esclusivamente nei giorni lavorativi tra le 11 e le 15.30.

Come per tutti gli impianti di recupero, il funzionamento è asservito alla gestione tecnica centralizzata, ma in questo caso le condizioni ambientali sono *prioritarie* al fine di limitare le condizioni ambiente a 26°C con il 60% di umidità relativa durante le ore di presenza del personale.

Con un funzionamento annuo dell'ordine di 850-900 h l'entità del recupero di calore è del tutto marginale.

L'energia recuperata è stata mediamente di 22 MWh/anno per una disponibilità di circa 53 MWh/anno.

Il consumo elettrico è stato di 12,9 MWh/anno.

Purtroppo non è possibile distinguere l'energia elettrica attribuita al recupero di calore da quella necessaria per il condizionamento dell'ambiente,

poiché vi è un solo contatore elettrico per i due gruppi termodinamici.

### 14. RECUPERO DI CALORE DEI GRUPPI FRIGORIFERI DEL FORUM

Il complesso "Forum" è raffreddato in regime estivo da due gruppi refrigeratori d'acqua aventi una potenzialità frigorifera totale di circa 697 kW.

Questo impianto, previsto in sede di progetto per limitare la potenza di allacciamento alla rete di quartiere, utilizza la rete di recupero di calore, ciò permette di aumentare la disponibilità istantanea di energia termica per i fabbisogni delle cucine in ciclo estivo o medio stagionale.

L'energia termica trasferita alla rete di recupero da questi frigoriferi è stata mediamente di 290 MWh/anno, l'energia recuperata è stata di soli 36 MWh/anno a causa del funzionamento esclusivamente estivo di queste macchine.

### 15. RECUPERO DI CALORE PER IL CENTRO DI CALCOLO E LE SALE DI TECNOLOGIA

La potenzialità frigorifera installata nel centro di calcolo è di circa 937 kW frigoriferi, mentre quella delle sale di tecnologia (sale di calcolo decentralizzate) è di circa 770 kW frigoriferi.

Le potenzialità max di utilizzo sono rispettivamente di 860 e 700 kW frigoriferi.

Esistono in tutto 58 armadi condizionatori con regolazione della temperatura in uscita del fluido di condensazione.

L'energia termica globale dissipata dai condensatori è risultata pari a circa 5.640 MWh/anno, mentre l'energia di recupero effettivamente utilizzata è stata di soli 380 MWh/anno.

Un risultato così deludente richiede qualche commento.

In fase di simulazione il recupero energetico di questi impianti era stato valutato circa 1.400 MWh/anno, sulla base di una disponibilità di circa 4.600 MWh/anno, con un rendimento del 28% circa.

Il consuntivo, per il momento assolutamente insufficiente, è stato causato da più fattori:

a) i condensatori erano stati sottodimensionati dal costruttore dei condizionatori locali, per cui la temperatura della soluzione acqua-glicole in uscita

non poteva superare i 38°C a causa dell'intervento del pressostato alta pressione.

(Si ricorda che il progetto richiedeva un ingresso a 35°C e un'uscita a 45°C costanti).

Con una temperatura in uscita di 38°C max veniva considerevolmente innalzata la temperatura d'intervento della rete di quartiere, cosa che penalizzava il recupero di circa 800-900 MWh/anno.

Dopo molte resistenze, il costruttore ha accettato di sostituire tutti i condensatori solo nel secondo semestre del 1988, per cui i risultati della prossima stagione dovrebbero essere più vicini alle previsioni;

b) il personale di conduzione, onde evitare l'intervento dei pressostati e quindi l'arresto dei sistemi, con tutte le conseguenze sulla informatica, aveva limitato la temperatura in uscita a 33-34°C con un'ulteriore perdita di disponibilità entalpica ed un maggior consumo delle torri;

c) il sistema non dispone di un accumulo caldo, per cui durante le ore notturne e con gli impianti utilizzatori all'arresto, non vi è possibilità di recupero.

Ne consegue che l'aumento di dissipazione dei sistemi informatici non influisce sul recupero a causa della non contemporaneità tra fabbisogno e disponibilità.

## 16. RECUPERO DI CALORE O RIDUZIONE DEI FABBISOGNI?

Qualsiasi progetto orientato al contenimento dei consumi energetici è costruito su tre assi portanti:

- riduzione dei carichi termici stagionali;
- recupero del calore;
- gestione dell'energia.

In fase pratica di utilizzazione si deve aggiungere un elemento di importanza decisiva:

- la qualità della gestione.

Per essere economicamente e tecnicamente valido, un impianto deve integrare i differenti fattori, così da raggiungere un equilibrio di non facile ed evidente definizione.

Infatti, se la riduzione dei carichi dell'involucro architettonico è di rapida quantificazione economica, poiché dipende dal solo investimento iniziale (es. isolamento termico, protezione solare, forma dell'edificio, ecc.), altrettanto non si può dire di tut-

ti i sistemi che richiedono per il loro funzionamento una frazione di energia.

In termini di rendimento economico, non si dovrebbe quindi mai confrontare un investimento iniziale per un sistema "statico" con quello ipotizzato per un sistema dinamico che, oltre all'energia, per funzionare richiede mano d'opera per la sua manutenzione. Qualsiasi analisi economica che confronta, a pari peso, le due condizioni è un non senso.

Anche la gestione dell'energia rientra nei fattori di incertezza in quanto la qualità del risultato dipende evidentemente dalle sue condizioni di progettazione, di programmazione e di mantenimento.

Non è pertanto consigliabile puntare aprioristicamente su sistemi di protezione "statica" o su recuperi di energia e gestione.

Solo l'analisi dettagliata di tutti gli elementi può consentire il raggiungimento di un accettabile bilancio economico.

## 17. RECUPERO DI CALORE E GESTIONE DELL'ENERGIA

L'obiettivo finale per l'utente non è, evidentemente, il recupero dell'energia, bensì la diminuzione dei costi di funzionamento.

Con tale presupposto la programmazione della gestione tecnica deve prendere in considerazione non solo i parametri puramente energetici, ma anche e soprattutto quelli economici.

Poiché i parametri economici sono - per definizione - variabili, è necessario che il programma preveda l'evoluzione di questi dati.

Infine è bene ricordare che l'eccesso di sorveglianza e protezione automatica rende la conduzione più complessa e più delicata.

Ne consegue che, poiché il funzionamento deve essere asservito ad un insieme di algoritmi, non solo tecnici ma soprattutto economici, non bisogna mai affidare questi impianti a personale che palesa evidenti difficoltà di comprensione dei principi di funzionamento di questi sistemi.

Il personale di conduzione deve quindi non solo saper utilizzare il calcolatore, ma anche avere una buona conoscenza della logica dei sistemi e dei fattori economici che possono influire sulla gestione.

E ciò aumenta considerevolmente il costo di detto personale.

Considerazioni sui risultati di funzionamento di differenti sistemi di recupero di calore per un edificio ad uso uffici

**tabella I - riassuntiva dell'energia termica di recupero disponibile e dell'energia effettivamente recuperata (valori medi di tre anni)**

Impianto	Energia termica disponibile MWh	Energia termica recuperata e utilizzata	MWh elettrici (per il solo recupero)	% recupero
Locali trasformatori	300,0	96,0	23,0	32,6
Locali ascensori	350,0	91,0	21,0	26,0
Espulsione aria viziata	92,4	89,0	19,6	96,3
Cappe cucine	275,0	22,0	2,4	8,0
Illuminazione	160,0	32,0	-	16,4
Tapparelle solari	non valutabile	non valutabile	-	-
Sale riproduzione e stampa	62,5	non valutabile	-	-
Celle frigorifere	non valutabile	c.a.99,3	-	-
Piscina	702,0	658,0	157,0	93,7
Locale lavastoviglie	53,0	22,0	12,9	41,5
Forum	290,0	36,0	energia richiesta per il raffreddamento	12,4
Centri di calcolo	5.640,0	380,0		6,7
	9.924,9 MWh/anno	1.435 MWh/anno		18,6

## 18. CONCLUSIONE

Il recupero di energia con sistemi termodinamici è economicamente interessante solo quando è richiesta anche l'installazione di frigoriferi per produrre energia di segno negativo.

Nel caso di sistemi a pompe di calore ad uso esclusivamente invernale l'eventuale vantaggio economico è funzione dei costi delle differenti energie ed il tempo massimo di "pay-out" non dovrebbe mai superare i cinque anni.

La gestione di sistemi con recupero di calore è estremamente delicata qualora il solo obiettivo finale sia la riduzione di costi di funzionamento.

La tabella I riassume i principali risultati della

"Tour Total".

Si ricorda che, in sede di previsione, il recupero globale di energia era stato valutato a 2.200 MWh/anno per una disponibilità di 5.400 MWh/anno. Con la messa in conformità dei condensatori degli impianti del centro di calcolo, ed un incremento del recupero di 800-900 MWh/anno, si ritiene di poter realizzare una percentuale di recupero vicina al 20%.

La qualità degli impianti realizzati e la completezza dei sistemi di rilevazione e gestione dell'energia fanno di questo edificio un autentico laboratorio di sperimentazione in grado di fornire utili indicazioni a progettisti ed enti interessati a realizzare edifici analoghi.

## APPENDICE

Qualche informazione sui sistemi di misura utilizzati.

Le differenti misure sono articolate su differenti dispositivi.

### Consumi elettrici

Le misure relative ai consumi elettrici utilizzano dei convertitori di potenza (P) e d'energia (Wh) e dei trasduttori di energia (Wh).

I segnali in uscita sono memorizzati nel calcolatore centrale di gestione che una volta al giorno trasferisce tutti questi parametri ad un calcolatore specifico avente il compito di memorizzare e trattare

quattro anni di informazioni e calcolare i bilanci energetici e di consumo globali.

### Consumi di energia termo-frigorifera

Le misure di consumo sui fluidi sono realizzate mediante contatori elettronici Schlumberger CF 200 con moduli programmabili per il collegamento al sistema di gestione tecnica centralizzata.

Questi contatori sono inoltre verificati in ciclo continuo con sistemi di tipo Annubar per fluido.

### Portate d'aria

Sono misurate in ciclo continuo con sistemi Annubar De Dietrich per aria.

I consumi globali energetici medi risultanti da tre anni di funzionamento sono riportati nella seguente tabella:

**Energia termica:**

3.112 MWh/anno termici

**Energia frigorifera (rete di quartiere):**

1.692 MWh/anno corrispondente ad un equivalente elettrico di 560 MWh

**Energia elettrica globale:**

14.867 MWh/anno così suddivisi:

• centro di calcolo (informatica + condizionamento)	: 8.080 MWh
• produzione frigorifera diretta, condizionatori, ventilatori, torri raffreddamento, pompe	: 2.020 MWh
• impianti sanitari, antincendio, etc.	: 630 MWh
• cucine, celle frigorifere, etc.	: 695 MWh
• ascensori, centrale telefonica, etc.	: 1.120 MWh
• illuminazione	: 324 MWh
• pulizia centralizzata	: 116 MWh
• riproduzione disegni, fotocopie, etc.	: 372 MWh
• informatica decentralizzata (calcolatori + condizionamento specifico)	: 1.510 MWh

**Bibliografia**

- [1] Lessieur P.D. - Installazione di condizionamento a volume variabile e ciclo ad accumulo e recupero di calore negli uffici A.C.E.C. di Charleroi - Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione, settembre 1974, pp. 629-667
- [2] Lessieur P.D. - Impianti tecnici per il complesso edilizio "Total Exploration Production" a Parigi - Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione, agosto 1986, pp. 733-752, settembre 1986, pp. 825-836
- [3] Lessieur P.D. - Considerazioni tecniche complementari sugli impianti del complesso Total Exploration Production - Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione, ottobre 1986, pp. 887-898, novembre 1986, pp. 989-1003

*Relazione presentata alla Seduta Tecnica "Recupero di calore e risparmio energetico" del Convegno Nazionale A.I.CARR, Roma 13-14 aprile 1989*