

Durata e guasti delle macchine HVAC

La durata delle macchine HVAC è correlata anche ai loro possibili guasti, che influenzano direttamente il Life-Cycle Cost dell'intero impianto.

Sebbene nel nostro paese i costi di acquisto delle macchine e componenti rimangano indiscutibilmente predominanti sulla politica di gestione, l'argomento presenta un'indubbia importanza per i suoi rilevanti riflessi economici e ambientali.

Luca Ferrari

La stima di vita attesa delle principali macchine HVAC pur non essendo ancora uno dei fattori determinanti nel processo decisionale di acquisto, almeno nel nostro paese, si sta imponendo come parametro valutativo di non secondaria importanza in virtù della crescente sensibilità di risparmio energetico/economico e della sostenibilità legata al riciclo dei materiali usati. L'Ashrae - tramite il comitato tecnico Building Owning and Operating Costs - TC 1.8 - rende disponibile e aggiornabile il progetto di ricerca TRP-1237 allo scopo di realizzare una raccolta di dati attraverso Internet per arrivare a costruire un congruo database sulla vita operativa attendibile delle macchine HVAC e sui relativi costi di manutenzione.

Il database pur limitato alle principali aree metropolitane degli Stati Uniti, ha prodotto dati dettagliati sulla distribuzione della dimensione degli edifici, la loro età e altre caratteristiche.

L'attesa di vita operativa

Nella tabella 1 è riportata la vita operativa mediana di alcune tipologie di macchine HVAC e dei componenti; la mediana è basata sull'analisi delle curve di sopravvivenza delle macchine stesse che tengono conto del numero di macchine rimaste in servizio e di quelle sostituite per ciascuna età.

Per ciascuna età è stato calcolato il totale delle macchine ancora operative e non, e la percentuale di sopravvivenza delle mac-



Le macchine installate all'aperto, anche in zone dal clima molto secco, se non previste espressamente, sono soggette all'azione degli agenti atmosferici, che possono produrne un deperimento accelerato.

chine stesse nel tempo è stata utilizzata per tracciare una curva di sopravvivenza in funzione del tempo.

La mediana della vita operativa nella tabella indica la più longeva età della macchina alla quale il tasso di sopravvivenza rimane superiore al 50%, mentre la grandezza del campione di riferimento è di almeno 30 macchine.

In modo analogo dalla ricerca ASHRAE si riporta nella tabella 2 l'aspettativa di vita delle macchine HVAC nelle diverse applicazioni.

Cause di guasto dovute all'impianto

Le cause di guasto o deperimento anche gravi delle macchine possono essere dovute a diverse ragioni, in virtù anche di possibili errori di realizzazione degli impianti e/o di progettazione.

Infatti sia il progetto, ma soprattutto l'installazione degli impianti, con l'esecuzione delle reti idriche, dei circuiti aerulici e delle linee frigorifere, comportano una non trascurabile potenzialità di errore che penalizza la funzionalità dei gruppi frigoriferi e delle unità motocondensanti.

Secondo l'esperienza di diversi costruttori le problematiche comuni agli impianti idronici e a quelli a espansione diretta sono, in linea di principio, riconducibili spesso all'insufficienza della portata del fluido termovettore primario: acqua negli impianti idronici, aria negli impianti a espansione diretta.

Le portate d'acqua insufficienti possono essere dovute a cause diverse, quali una impropria selezione delle pompe, ostruzioni o mancanza dei filtri sul circuito idraulico ecc. con conseguenti problemi di allarme da parte del flussostato, dei pressostati di bassa pressione del gruppo frigorifero o addirittura del termostato di protezione antigelo.

Negli impianti a espansione diretta l'insufficienza delle portate d'aria è dovuta nella maggioranza dei casi ad una improprio-

Tab.1 - Mediana della vita operativa di macchine e sistemi HVAC (Fonte: Ashrae).

Tipo di macchina o sistema	Mediana vita operativa (anni)
UTA	>52
Condizionatori a espansione diretta (DX)	>24
Gruppi frigoriferi centrifughi	>25
Torri di raffreddamento acqua in lamiera	>22
Caldai e acqua calda in acciaio a gas	>22
Regolazione pneumatica	>18
Regolazione elettronica	>7
Preparatori acqua calda sanitaria elettrici	>21

Tab.2 - Aspettativa di vita delle macchine e dei sistemi HVAC (Fonte: Ashrae).

COMPONENTI	VITA MEDIA (anni)	COMPONENTI	VITA MEDIA (anni)
Condizionatori		Batterie	
Unità a finestra	10	Espansione diretta	20
Split residenziali	15	Ad acqua o vapore	20
Split commerciali	15	Elettriche	15
Raffreddati ad acqua	15	Scambiatori di calore	
Pompe di calore		A piastre	24
Aria/Aria residenziali	15	A tubi	24
Aria/Aria commerciali	15	Refrigeratori	
Acqua/Acqua commerciali	15	Ermetici	20
Roof-top		Centrifughi	23
Zona unica	15	Ad assorbimento	23
Multizona	15	Torri di raffreddamento	
Generatori di vapore		Acciaio zincato	20
Tubi d'acqua	24 (30)	Legno	20
Tubi di fumo	25	Ceramica	34
Ghisa	35 (30)	Condensatori ad aria	20
Elettrici	15	Evaporatori	20
Caldai e	21	Isolamento	20
Riscaldatori		Pompe	
Elettrici o a gas	13	Base	20
Acqua calda o vapore	20	Circolatori	10
Apparecchiature radianti		Sump	10
Elettriche	10	Condensa	15
Acqua calda o vapore	25	Turbine a vapore	30
Terminali diffusione aria		Motori elettrici	18
Diffusori, griglie	27	Trasformatori	30
Induttori e fan-coil	20	Controlli	
VAV	20	Pneumatici	20
Umidificatori	17	Elettrici	16
Canali	30	Elettronici	15
Serrande	20	Attuatori (valvole)	
Ventilatori		Idraulici	15
Centrifughi	20	Pneumatici	20
Assiali	25	Automatici	10
Elicoidali	15		
Torrini	20		

Tab.3 - Causa dei principali tipi di errore negli impianti.

Causa di guasto	Installazione	Conduzione o manutenzione	Progettazione
1	Posizionamento improprio delle macchine	Regolazione scorretta delle macchine	Mancata conoscenza dei limiti di funzionamento
2	Spazi di rispetto non rispondenti alle specifiche del costruttore	Mancata o insufficiente pulizia dei filtri sul circuito idraulico (o sul circuito aeraulico negli impianti a espansione diretta)	Portate del fluido termovettore non rispondenti all'applicazione
3	Canalizzazioni di caratteristiche non rispondenti ai requisiti dell'impianto	Mancata effettuazione delle prescritte operazioni di manutenzione sulle macchine	Calcolo delle prestazioni (soprattutto per le pompe di calore) non corretto
4	Impianto idrico non conforme ai requisiti (errore tipico: mancanza del filtro)	- -	Gestione dell'impianto da regime invernale a estivo non correttamente previsto

Tab. 4 - Cause di guasto dovute ad eventi accidentali.

Cause di guasto	Danno conseguente
Fluttuazioni eccessive della tensione di rete rispetto al valore nominale di fornitura	Danni ingenti ai compressori
Scariche elettriche atmosferiche	Danni circoscritti (di solito) all'elettronica della macchina
Azione degli agenti atmosferici (pioggia, neve, ghiaccio, grandine, vento, salsedine ecc.). Escluse calamità naturali.	Non si verificano danni consistenti, salvo i casi di catastrofi naturali.
Azione di piogge acide	Corrosione alette batterie di scambio termico con conseguenze sui regimi di funzionamento
Effetti di pollini, fumi, pulviscolo atmosferico	Intasamento delle batterie di scambio termico con conseguenze c.s.. Intasamento dei filtri d'aria di UTA

pria conformazione dei canali e/o a filtri intasati o collassati che producono l'intasamento delle batterie di scambio termico a valle di essi.

Tra le cause di guasto delle macchine dovute agli impianti, le principali, si sono dimostrate le seguenti:

- installazione non corretta: 60% dei casi con +/- 5% di incertezza;
- conduzione o manutenzione non rispondente ai requisiti: 30% dei casi con +/- 30% di incertezza;
- errori di progettazione: 10% dei casi, con +/- 5% di incertezza.

Con maggior precisione, i tipi di errori riscontrati più di frequente sono riportati nella tabella 3.

A partire dal momento del collaudo, i guasti si manifestano in generale entro tempi abbastanza definiti:

- guasti per installazione non corretta, entro 1 anno dal collaudo;
- guasti per conduzione o manutenzione non rispondente ai requisiti, entro 2 anni;
- guasti per progettazione non corretta, entro 1 anno.

Cause di guasto

per eventi accidentali

A volte gli effetti di atmosfere corrosive nel sito dell'impianto possono abbreviare sensibilmente la vita utile attesa. Le zone marine, ad esempio, sono caratterizzate da una concentrazione abbondante di cloruro di sodio nell'aria, con le ben note capacità corrosive. Nelle zone industriali sono presenti concentrazioni anche elevate di prodotti della combustione da carbone e oli combustibili con emissioni di ossidi di zolfo e ossidi d'azoto che danno origine alle ben note piogge o condense acide. Pure le zone urbane caratterizzate da forte intensità di traffico automobilistico e alta densità di impianti di riscaldamento presentano atmosfere con concentrazioni elevate di ossidi di zolfo e ossidi di azoto. Le piogge acide producono la corrosione delle alette delle batterie di scambio termico, in assenza di adeguati trattamenti di protezione, con la conseguenza che la macchina viene a lavorare con temperature di condensazione sempre più elevate per cui la sua resa frigorifera si riduce

progressivamente, mentre ne aumenta il consumo di energia. Non c'è bisogno di ricordare che il funzionamento del compressore in tali condizioni ne abbrevia la vita operativa. Quanto poi l'elettronica di bordo possa essere compromessa da atmosfere corrosive è un serio punto interrogativo.

Guasti altrettanto seri per eventi accidentali sono pure quelli dovuti alle eccessive fluttuazioni di tensione di rete.

Invece, le scariche elettriche atmosferiche producono danni circoscritti che interessano i dispositivi elettronici delle macchine. La presenza di polveri, di pollini, spore e foglie trasportate dal vento secondo la stagione può costringere a una pulizia più frequente e radicale delle macchine installate all'esterno, nonché ad una pulizia e/o sostituzione altrettanto frequente dei filtri d'aria nelle unità di trattamento rendendo necessari interventi più estesi ed onerosi di manutenzione.

I principali tra questi guasti, e le cause che producono sulle macchine, sono riepilogati nella tabella 4.

Se si mette a confronto la frequenza relativa con cui si verificano le due tipologie di guasto, per cause dovute all'impianto e per cause accidentali, le percentuali relative sono intorno al 75% e al 25%, rispettivamente.

Invece, il valore relativo dell'entità dei danni è diverso, e i guasti dovuti a eventi accidentali risultano più onerosi, all'incirca come segue:

- onere dei danni dovuti all'impianto, 60%;
- onere dei danni dovuti ad eventi accidentali, 40%.

L'insieme di queste cause può perciò influenzare in modo anche sensibile la vita operativa delle macchine.

Influenze di cause diverse

Alla vita utile delle macchine e degli impianti contribuisce positivamente lo svolgimento di esaustivi e regolari programmi di manutenzione che possono permettere di raggiungere le durate indicate in tabella 2.

D'altra parte, i costi della manutenzione risentono direttamente del personale impegnato e del tempo necessario. A questo proposito, il progetto dell'impianto, il suo layout e la sua configurazione possono influenzare in maniera significativa il tempo e l'impegno che si rendono necessari, e quindi il costo. Nella realtà dei fatti, quanto più difficoltoso risulta l'accesso all'impianto, quanto più complesso ne è il layout, tanto più ne può risentire la durata della vita operativa, per la difficoltà di svolgere le necessarie operazioni di manutenzione.

Al fine di valutare i costi di manutenzione, oltre che la sua stessa fattibilità, vi sono alcuni punti che dovrebbero essere presi in esame.

Posizione delle macchine e accessibilità

Queste due condizioni sono della maggiore importanza per assicurare una idonea manutenzione a costi contenuti. Macchi-

ne in posizione difficile da raggiungere, o che richiedono l'allestimento di trabattelli, ecc. non solo aumentano forzatamente il tempo necessario (e perciò il costo) degli interventi, ma penalizzano la qualità e la quantità delle operazioni eseguite. Senza contare l'aggravante di costo per i problemi di sicurezza che possono presentarsi per il personale.

Quantità e tipo di macchine

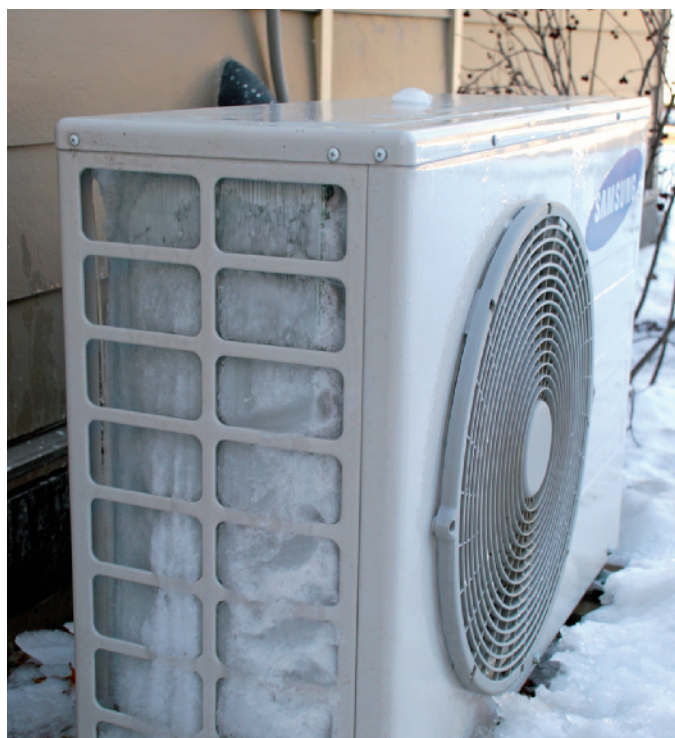
Ciascuna macchina richiede determinate operazioni di manutenzione che comportano la necessità di un certo tempo. A parità di potenza installata, quanto maggiore è il numero delle macchine, tanto più aumenta il tempo e il costo necessario. Per fare un esempio, per una potenza installata di 3500 kW, l'utilizzo di una singola macchina centrifuga richiede secondo il costruttore un tempo di manutenzione di 24 ore l'anno.

Per un gruppo frigorifero centrifugo da



L'installazione di macchine in posizione di difficile accesso comporta quasi sempre che la manutenzione tenda ad essere trascurata con la conseguenza di un peggioramento dello stato generale, delle condizioni d'uso e delle prestazioni energetiche.

Il gelo può essere una delle principali cause di rotture e di guasti per le macchine installate all'esterno.





Lo stato di abbandono di questo gruppo frigorifero condensato ad aria è visibile dalla batteria di scambio termico pressoché completamente intasata. Nelle macchine all'esterno, la pulizia delle batterie dovrebbe essere una delle principali preoccupazioni del manutentore poiché da essa dipendono le condizioni di funzionamento e il prodursi di temperature di condensazione oltre i limiti.



La scelta della posizione delle macchine rappresenta una condizione importante sia ai fini del loro funzionamento, sia in previsione della manutenzione e dello smantellamento e rimozione al termine della vita operativa.

1800 kW il tempo di manutenzione standard indicato è invece di 16 ore. Volendo adottare due macchine di tale capacità il tempo totale risulterebbe di 32 ore, ossia 1/3 in più rispetto all'uso di una singola macchina da 3500 kW.

Impianti "Critical Mission"

Gli impianti ai quali è richiesta una elevata affidabilità di funzionamento richiedono una manutenzione più estesa per assicurare la continuità di esercizio necessaria.

LA RICICLABILITÀ DELLE MACCHINE E DEI COMPONENTI

L'argomento della riciclabilità è oggi di primaria importanza per problemi ambientali, oltre che per il recupero di preziose materie prime. Leggi e normative si vanno elaborando per costringere giustamente al recupero e al riciclo. Normative sono già in atto per i fluidi nocivi quali gli oli esausti e i refrigeranti. Diversa è la situazione per i componenti meccanici

degli impianti: condotti aeraulici, tubazioni, macchine varie, oltre ai circuiti e alle apparecchiature elettriche.

Il valore dei materiali impiegati è andato crescendo costantemente negli anni, e il recupero di acciaio, rame e alluminio dagli impianti HVAC può rappresentare, oltre ad un obbligo di tutela ambientale, anche una forma di remunerazione economica (basti ricordare che la quotazione del rame di recupero).

I materiali di componenti e macchine devono

naturalmente essere suddivisi per il loro riutilizzo e ciò pone qualche problema. Mentre, ad esempio, per i condotti aeraulici in lamiera zincata e i tubi in acciaio o in rame non vi sono problemi, diversa si presenta la situazione delle macchine. Per i gruppi frigoriferi a compressione, ad esempio, una suddivisione essenziale in funzione dei materiali di costruzione recuperabili è indicata nella tabella A. Balza all'occhio il fatto che mentre alcune parti sono facilmente accessibili e i rispettivi materiali immediatamente recuperabili (copertura e telaio macchine ad esempio), per altre, soprattutto i compressori, il problema risulta più complesso.

Sotto l'aspetto dell'accessibilità i compressori ermetici (di qualunque tipo) richiedono che l'involucro in acciaio venga tagliato per consentire l'estrazione del gruppo motore-compressore. Un'operazione non facile, che richiede energia, tempo e una certa preparazione, tutte cose ritenute fino a poco tempo fa troppo onerose per essere eseguite. Preoccupazioni peraltro che ancora sussistono in alcuni paesi del Nord Europa, dove i compressori ermetici sono visti con disagio proprio per il fatto dell'irrecuperabilità dei diversi materiali dai quali sono costituiti. Più agevole invece si presenta lo smontaggio e il recupero dei materiali dei compressori semiermetici, e

Tab. A - Suddivisione tipica dei materiali recuperabili da gruppi frigoriferi e parti di provenienza.

Rame	Alluminio	Acciaio - (ghisa)
Tubi batterie di scambio termico	Alette batterie di scambio termico	Copertura e telaio della macchina
Tubi di collegamento tra componenti principali (compressore-condensatore-evaporatore)	Ventole a profilo alare di ventilatori elicoidali	Quadro elettrico
Statori motori elettrici compressori e ventilatori	Bielle e pistoni di compressori alternativi	Piastre scambiatori di calore
Tubi scambiatori di calore a fascio tubiero		Involucro compressori ermetici
Cavi elettrici		Corpo compressori semiermetici alternativi o vite (ghisa)
Bobine di valvole a solenoide e relè		Albero a gomiti compressori alternativi
		Pompa dell'olio compressori
		Spirali a evolvente compressori scroll
		Piastre valvole compressori alternativi
		Viti compressori a vite (1 o 2 se monovite o bivate, risp.)
		Ventole ventilatori
		Mantello scambiatori di calore a fascio tubiero
		Griglie di protezione ventilatori



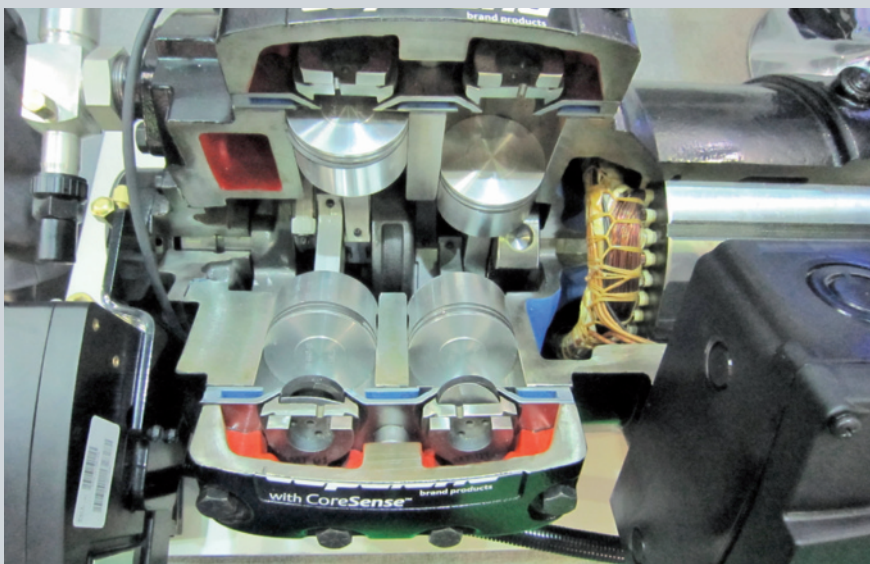
Le installazioni all'interno, eventualmente in container, come nel caso illustrato, rappresentano quasi sempre la scelta migliore in vista della maggior durata e delle migliori condizioni che offrono per la manutenzione e la gestione.

È il caso dei data center, delle sale operatorie, di numerosi processi industriali, ecc. In questi casi, l'impegno della manutenzione e la specializzazione del personale comportano inevitabilmente un aumento dei costi. Da considerare pure che questi impianti presentano di solito un numero di ore annue di esercizio che può essere sensibilmente maggiore rispetto ai normali impianti di benessere, condizione che a propria volta non solo contribuisce all'aumento dei costi di manutenzione, ma abbrevia altresì la vita utile dell'impianto.

Anzianità delle macchine

È un altro fattore che può contribuire ad un aumento dei costi di manutenzione. Le trasformazioni delle tecnologie intervenute nel progetto e nell'applicazione delle macchine hanno influenzato anche sensibilmente tali costi.

Dall'esame di questi punti, e di altri eventualmente ritenuti importanti, si può risalire all'impegno economico e di tempo comportato dalla manutenzione, e al suo contributo sul mantenimento della vita operativa attesa della macchina o dell'impianto. Naturalmente, lo scopo della manutenzione non deve intendersi come il mero mantenimento in esercizio delle macchine e dell'impianto, indipendente dalla sua efficienza energetica. Invece, ad essa si richiede, oltre alla continuità di funzionamento, che l'efficienza energetica rimanga a un livello prossimo a quello di macchina nuova per un tempo sostanziale della vita operativa.



La separazione del rame e degli altri componenti metallici dai compressori frigoriferi e dai motori elettrici dovrebbe essere una delle operazioni previste nella fase di smantellamento delle macchine giunte al termine del loro ciclo di vita (Cortesia Copeland).

più ancora di quelli aperti. Il problema è che ormai i compressori ermetici scroll hanno raggiunto volumi di produzione elevatissimi, mentre non sembrano esistere strutture sufficienti per il recupero dei materiali componenti al termine della vita.

Il problema delineato per i gruppi frigoriferi a compressione è comunque analogo, seppure sotto aspetti diversi, a quello di molte altre tipologie di macchine, con

gradi minori o maggiori di complessità di recupero: gruppi frigoriferi ad assorbimento, caldaie, unità di trattamento d'aria, sistemi VRF, ecc.

Si tratta di un problema che dovrà trovare prima o poi delle soluzioni efficienti e razionali. Il recupero delle materie prime è oggi un business di prima grandezza. Ma domani potrà diventare una vera e propria necessità.

IL LIFE-CYCLE COST

I costi dell'investimento e della gestione operativa degli impianti HVAC per una determinata struttura dovrebbero essere oggetto di un'accurata analisi finanziaria da parte del management.

Le informazioni così raccolte ed eventualmente confrontate, potranno servire per la preparazione di preventivi annuali, obiettivi manageriali e soprattutto per la selezione delle eventuali varianti progettuali.

Va da sé comunque che un sistema HVAC correttamente progettato e realizzato dovrà anche essere economicamente vantaggioso per il committente.

Purtroppo spesso, individuare e valutare già in fase preliminare l'economia di un sistema HVAC, risulta difficile a causa delle molteplici complessità che interessano la redditività del capitale (come per esempio i tassi d'interesse, le tasse, le assicurazioni, i noleggi, ecc.) e le difficoltà inerenti alla previsione nel tempo delle spese di funzionamento e

di manutenzione, situazioni queste che non possono non interessare la decisione finale sull'intero progetto d'ingegneria.

Normalmente infatti la scelta del sistema HVAC non dovrebbe ricadere automaticamente sull'impianto meno costoso, ma, invece, richiederebbe un'analisi ragionata degli obiettivi e dei requisiti finanziari (disponibilità di spesa) della proprietà. Così come determinati costi tangibili e intangibili devono essere considerati quando vengono valutati i costi di installazione e di gestione del sistema.

In questo scenario entra prepotentemente in gioco l'analisi del Life-Cycle Cost dell'impianto che determina con sufficiente approssimazione la convenienza di un sistema HVAC rispetto ad altri. Il Life-Cycle Cost viene indicato come un metodo di valutazione del risultato economico di un progetto/impianto su un periodo definito di tempo.

In particolare l'ASHRAE Handbook - HVAC Applications definisce il LCC come un metodo

che: «... confronta i costi totali dell'implementazione, di funzionamento e dei costi di manutenzione. I costi totali sono così scontati per la durata (vita) del sistema o come eccedenza dal periodo di rimborso di prestito. I costi e gli investimenti sono entrambi scontati e visualizzati come il Life-Cycle Cost alla conclusione del periodo di analisi. Le diverse soluzioni possono essere così confrontate per determinare quale abbia il minore costo totale per la vita prevista del progetto».

In sintesi è dunque possibile definire il Life-Cycle Cost di un impianto come la determinazione della spesa totale da valutare per la sua implementazione su un arco di tempo determinato, solitamente 10 - 20 anni.

Sulla base di queste considerazioni diviene dunque normale analizzare la vita operativa attesa delle componenti HVAC, al fine di poterle valutare, attraverso il metodo del LCC, economicamente le diverse alternative progettuali.

Le ragioni per la sostituzione di una macchina

Lo smantellamento di una macchina HVAC presenta un impatto sull'ambiente naturale certo non facile da stabilire, ma tale comunque da renderne auspicabile una vita quanto più protratta, almeno fino al

punto in cui l'onere dovuto ai guasti e al progredire dei consumi energetici per l'invecchiamento non raggiunga un valore tale da giustificare la sostituzione.

Si può essere guidati da considerazioni sulla sua obsolescenza, sulla diminuita affidabilità, sui costi di manutenzione divenuti eccessivi, come pure dall'evenienza di guasti gravi, dal cambiamento dei requisiti o delle condizioni di utilizzo (trasformazione d'uso dell'edificio, aumento dei prezzi dell'energia, considerazioni ambientali, ecc.).

Altre considerazioni possono essere di na-

tura più strettamente finanziaria. Qualunque sia la ragione, oggi non è più possibile trascurare il problema della riciclabilità e del recupero o ritrattazione di sostanze, materiali e componenti della macchina stessa.

In conclusione, una macchina può eccedere la vita operativa attesa, o dover essere sostituita prima del previsto.

A parte casi di forza maggiore o altrimenti giustificati, l'atteggiamento che ci sembra più razionale oltre che rispettoso per l'ambiente è quello di mantenerla operativa in condizioni di buona efficienza per l'intera vita attesa, attraverso un programma di manutenzione esaustivo ed ininterrotto.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

I quadri elettrici delle macchine installate all'esterno possono subire danni per effetto delle scariche atmosferiche. L'aumento nel numero e nella violenza di temporali e nubifragi dovrebbe essere considerato con attenzione se all'impianto è richiesta la continuità di funzionamento di applicazioni del tipo "Mission Critical".

Riferimenti

ASHRAE Handbbok HVAC Applications 2011, Cap. 37 Owning and Operating Costs, e Cap. 39 Operation and Maintenance Management, ASHRAE, Atlanta, GA.

Briganti A., Manuale della Manutenzione degli impianti di condizionamento e refrigerazione, Tecniche Nuove, 2000, Milano.

