

OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA E RAZIONALIZZAZIONE DELLA DOMANDA ELETTRICA DEI SUPERMERCATI E DEGLI IPERMERCATI: RISULTATI DI ALCUNI CASI STUDIO PER IL CONTENIMENTO DELLA DOMANDA ELETTRICA IN UN GROSSO IPERMERCATO IN SICILIA

Mario Columba*, Celidonio Dispenza*

*Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali, Università degli Studi di Palermo
Viale delle Scienze, Parco d'Orleans, 90128 PALERMO, tel. 091 236117, fax 091 484425
E-mail: mcolumba@mac.com, dispenza@unipa.it

SOMMARIO

Per gli anni 2001 e 2002 è stato cofinanziato dal MIUR con i fondi Cofin PRIN 2001 il Progetto di Ricerca di interesse nazionale 2001098981 "Ottimizzazione degli Usi Energetici e Razionalizzazione della Domanda elettrica nei Supermercati e negli Ipermercati" a cui hanno partecipato il Politecnico di Bari e le Università di Genova, Napoli Federico II, Padova e Palermo.

L'Unità di Ricerca del DREAM dell'Università di Palermo si è occupata, tra i vari argomenti, della individuazione e della caratterizzazione dei carichi termici, frigoriferi ed elettrici ed ha svolto un complesso studio per la simulazione del comportamento di una grossa e significativa struttura commerciale (Ipermercato che ricade su un'area di 63 000 m², i volumi climatizzati ammontano a 104 000 m³). Il fabbisogno annuo di energia elettrica per la configurazione di riferimento è di 7.76 GWh e quello di gas metano è di 0.54 MNm³. Per tale complesso del terziario delle approfondite analisi di simulazione di varie tipologie di impianto, tanto classiche che innovative con varie ipotesi di gestione, hanno dato importanti risultati ai fini di valutare l'effetto dell'improvement degli impianti, dei componenti e della gestione energetica. Le principali conclusioni sono esposte in questa memoria.

INTRODUZIONE

Da quasi un ventennio si assiste ad un cambio del modello di vita nel mondo che ha portato alla formazione di grandi insediamenti urbani. Le attività commerciali ne hanno fortemente risentito e si è accentuata la tendenza all'offerta dei beni di consumo che punta, soprattutto, alla grande distribuzione nei supermercati e negli ipermercati. Tale tendenza è oggi diffusa anche in Italia ed è in forte sviluppo. Queste attività richiedono molta energia sia per la climatizzazione che per l'illuminazione dei relativi spazi e per la produzione del freddo e del caldo per la conservazione e la lavorazione di derrate deperibili (carni, pesce, verdure etc.) che, spesso, vengono confezionate per la vendita al dettaglio in seno alle strutture commerciali medesime partendo da approvvigionamenti all'ingrosso. La tendenza generale è stata ed è ancora quella dell'uso intensivo dell'energia elettrica e ciò ha portato a richieste di potenza ed a consumi elettrici che sono divenuti via via insostenibili specie nei mesi estivi, quando è necessario il ricorso all'impegno di grosse potenze per coprire le punte relative alla climatizzazione. I fornitori dell'energia elettrica debbono quindi far fronte a tale tipo di fabbisogni. Negli Stati Uniti ed in Francia si stima che il fabbisogno elettrico dei supermercati e degli ipermercati incide per circa un 4% e che, di tale fabbisogno, delle aliquote dal 50 al 70% sono dovute alla domanda per la climatizzazione e la produzione del freddo, il resto è dovuto ai fabbisogni per illuminazione ed altro. In Italia al 31.12.1995 i Supermercati erano 4 787 (di cui 3 596 nel Nord-Centro e 1 191 nel Mezzogiorno), gli Ipermercati erano 225 (di cui 190 nel Nord-Centro e 35 nel Mezzogiorno), i Grandi Magazzini con e senza supermercato erano 841 (di cui 576 nel Nord-Centro e 265 nel Mezzogiorno), le Cooperative di consumo erano 4 578, al 31.12.1992 (di cui 3 832 nel Nord-Centro e

746 nel Mezzogiorno). Oggi si è avuto un notevole incremento delle realtà esistenti che si può stimare in un aumento medio del 30%, ma esso è destinato ad aumentare ancora, specialmente per i Supermercati e gli Ipermercati, con un atteso più marcato aumento nelle zone del Centro-Sud ove le esigenze energetiche per la climatizzazione estiva sono notevoli.

LE RICERCHE SVOLTE NEL PROGETTO 2001098981 COFIN PRIN 2001

Al DREAM è tuttora in corso una ricerca di tipo teorico-sperimentale che ha come obiettivo lo studio della realtà esistente in Italia per individuare le strutture, gli impianti e le metodologie di gestione più idonee per l'ottimizzazione degli usi energetici e la razionalizzazione della domanda elettrica nei Supermercati e negli Ipermercati. La ricerca è anche parte di un Programma di interesse nazionale¹ cofinanziato dal MIUR (PRIN 2001) a cui hanno partecipato il Politecnico di Bari e le Università di Genova, Napoli Federico II, Padova e Palermo. Il programma di ricerca svolto nell'ambito del Programma PRIN 2001 ha l'obiettivo di contribuire alla individuazione di soluzioni che, con l'uso integrato delle risorse energetiche (come: recuperi energetici, l'accumulo di energia, l'uso di innovazioni tecnologiche, la gestione razionale) ed in coerenza con le esigenze del benessere ambientale e della qualità dell'aria interna, consentano di giungere ad una ottimizzazione energetica ed alla razionalizzazione della domanda elettrica nei Supermercati e

¹ Cofin Prin 2001, Progetto 2001098981, Coordinatori nazionali M. Columba e C. Dispenza

negli Ipermercati, con particolare riguardo alla situazione italiana.

L'Unità di Ricerca del DREAM dell'Università di Palermo si è occupata, tra i vari argomenti, della proposizione di idonee metodologie per la caratterizzazione dei carichi sia termici che frigoriferi ed elettrici. Data la rilevanza del Settore degli Ipermercati e dei Supermercati, sia in Italia che nel contesto della Regione Siciliana, ove tali strutture sono in forte espansione, l'argomento ha richiesto degli adeguati approfondimenti che nella ricerca hanno riguardato non solo gli aspetti relativi alle tecnologie di impianto coinvolte ma anche lo studio della struttura dei consumi di fonti energetiche e le modalità di gestione dei sistemi di climatizzazione e degli impianti presenti negli edifici commerciali.

Si è, pertanto, svolto un complesso studio² [7], [2] per la simulazione del comportamento ai fini energetici di una grossa e significativa struttura commerciale (Ipermercato che ricade su un'area di 63 000 m², i volumi climatizzati ammontano a 104 000 m³) di cui sono note le caratteristiche edilizie e del progetto esecutivo completo [1]; la struttura si pensa collocata nella Provincia di Trapani, per la situazione di base del progetto originario il fabbisogno annuo di energia elettrica è di 7,76 GWh e quello di gas metano è di 0.54 MNm³. Per tale complesso del terziario è stato possibile effettuare delle approfondite analisi di simulazione di varie tipologie di impianto, tanto classiche che innovative, e di varie ipotesi di gestione di esse. Si sono così ottenute delle informazioni utili ai fini di valutare l'effetto dell'improvement degli impianti, dei componenti e della gestione energetica.

CONTENUTO DELLA MEMORIA

Nella presente nota sono presentati alcuni dei risultati ottenuti. Nel corso della ricerca sono state prese in considerazione varie proposte di interventi possibili [2] che sono state esaminate ciascuna indipendentemente dalle altre e poi sono state confrontate sia tra loro che con la situazione di base attuale di progetto:

- Introduzione di un sistema di accumulo termico per il freddo con ghiaccio e per il caldo con acqua calda [3], [4]; le macchine frigorifere sono a pompa di calore duale (freddo, caldo di recupero).
- Introduzione di un sistema di accumulo termico innovativo con clatrati per il freddo e con acqua calda per il caldo; in tale caso si tratta di una centrale termica in cui sono presenti delle pompe di calore giapponesi innovative [2].
- Introduzione di sistemi di deumidificazione chimica a ruota del tipo Munters [2].
- Introduzione di sistemi di deumidificazione chimica con sostanze essiccanti liquide [2].
- Introduzione di un sistema di cogenerazione con motori a combustione interna a gas metano ed un parco di produzione del freddo sia con macchine frigorifere a compressione di vapore che ad assorbimento; il parco di produzione del caldo è supportato da caldaie a gas metano e da un sistema di accumulo termico di servizio per livellare i transitori [2].
- Introduzione di un sistema di cogenerazione come per il caso precedente, ma con l'uso di miniturbine alimentate a gas metano [2].
- Introduzione di un sistema di cogenerazione come per il

² per la parte relativa ai sistemi MCFC-miniTG hanno collaborato Ricercatori dell'Istituto ITAE-CNR Nicola Giordano di Messina [5], [6]

caso precedente ma che fa uso di sistemi innovativi [5], [6] di produzione dell'energia elettrica con celle a combustibile (sistema centralizzato).

- Studio di altri casi che prevedono un certo contributo di fonti rinnovabili in alcune zone della struttura commerciale: sistema di produzione di energia elettrica con pannelli fotovoltaici e produzione di energia termica con pannelli solari [2].

Tutte le proposte contengono degli interventi di house keeping sulla struttura originaria e l'introduzione della comfort ventilation per sfruttare il free cooling notturno nel periodo estivo. Nel corso della ricerca è stata anche sviluppata una metodologia per la simulazione oraria del sistema edificio-impianto tenendo conto del regime variabile che si ha nella attuale gestione energetica [8], [9].

RISULTATI DELLO STUDIO

I dati caratteristici della struttura commerciale analizzata nello studio sono riassunti nella Tab. 1. I fabbisogni di energia elettrica sono relativi agli usi indicati nella Fig. 1.

Tabella 1: Dati sulle caratteristiche degli spazi climatizzati

Zona	Locale	T °C	Um. rel. %	Volume m ³
1	Ipermercato	26	55	57 330
	Galleria P.T.	26	55	16 256
	Negozi P.T.	26	55	2 916
	Negozi 1° P.	26	55	1 936
	Ristorante	26	55	1 386
	Uffici	26	55	493
	Totale			80 316
2	Lavorazioni	22	60	12 562
	Totale			12 562

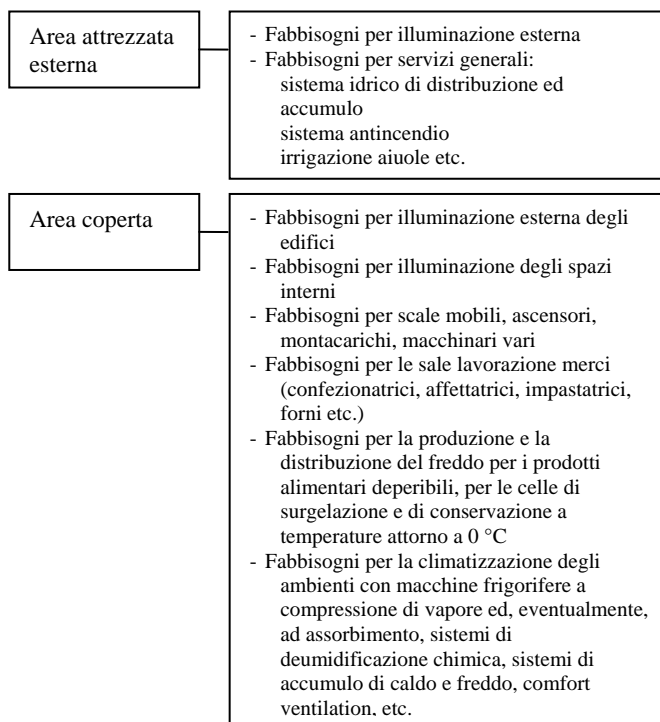


Figura 1: Schema dei fabbisogni energetici di energia elettrica Dell'Ipermercato pilota scelto dal DREAM per la simulazione

Struttura della domanda di energia elettrica per la configurazione di base

I risultati delle simulazioni relative alla configurazione di base, che è stata usata per il raffronto con le varie soluzioni per l'improvement della gestione della domanda elettrica e di gas naturale sono riportati nelle figure che si citano nel seguito e nella Tab. 2. Nella Fig. 2 è riportato l'andamento della domanda di energia elettrica nei mesi dell'anno tipo per la

configurazione di base, essi hanno valori ben elevati nei mesi di Luglio, Agosto e Settembre e valori elevati, ma più contenuti, nel mese di Giugno. Nell'anno il fabbisogno di energia elettrica è di 7.76 GWh.

Nella Fig. 3 è riportato un raffronto tra l'andamento del carico elettrico orario, per il giorno tipo del mese di Agosto, tra la configurazione di base e quella che beneficia degli interventi di house keeping e del free cooling nelle ore notturne dei mesi estivi.

Tabella 2 - Risultati dell'analisi energetica

	Energia el.	Gas metano	Risp. en. el.	Risp. gas met.	Energia prim.	Risp. en. primaria	I_{ei}	I_{ai}
	GWh/anno	MNm ³ /anno	GWh/anno	Nm ³ /anno	ktep	tep	€/tep	€/kg CO ₂
Base	7.76	0.54			2.15			
H.K./Base	6.43	0.48	1.34	63 458	1.81	0.35	22.78	0.114
Accumulo/Base	6.42	0.32	1.34	219 574	1.68	0.48	181.41	0.980
Ruote ad adsorb./Base	6.02	0.32	1.74	219 503	1.59	0.56	119.74	0.637
Torri assorb./Base	6.46	0.40	1.30	148 896	1.75	0.40	198.50	1.048
Cog. MCI/Base	5.75	1.37	2.00	-478 375	2.39	0.05	2 756.89	4.452
Cog. miniTG/Base	5.33	1.26	2.43	-276 793	2.21	0.31	263.73	2.078
Cog. STIG/Base	5.37	1.75	2.39	-930 795	2.63	0.00		
Cog. MCFC-miniTG/Base	5.68	1.45	2.08	-274 485	2.45	0.23	679.85	1.704

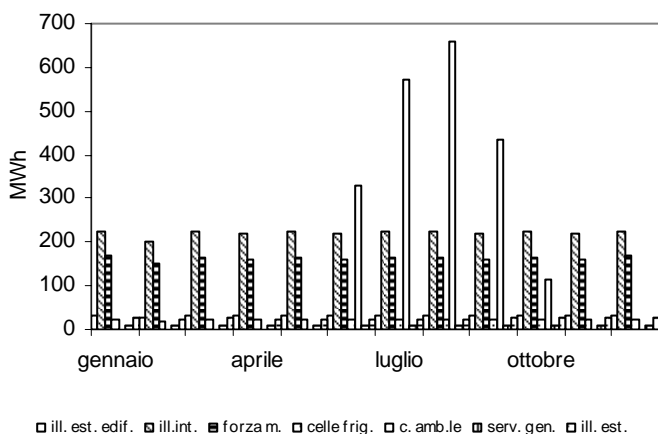


Figura 2 - Domanda di Energia Elettrica nei mesi dell'anno, configurazione base (7,76 GWh nell'anno)

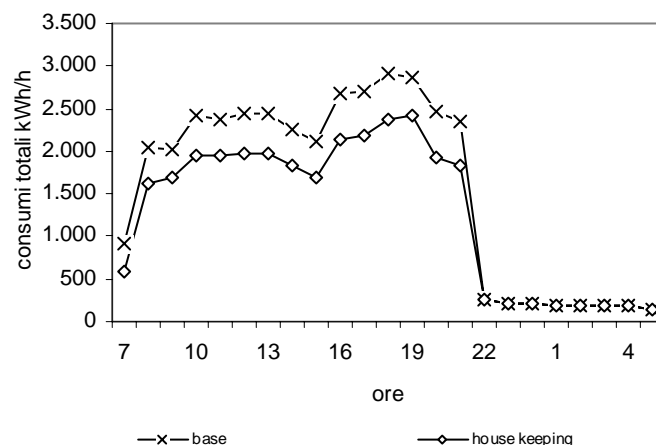


Figura 3 - Confronto dell'andamento del carico elettrico, confronto base e free cooling - mese di agosto

Le proposte di intervento per l'improvement della gestione energetica

Nella Fig. 4 è riportato un confronto dell'andamento del carico elettrico orario, originato dai vari tipi di impianto di climatizzazione analizzati nello studio, per il mese di Agosto che è il più pesante nell'intero anno. Si nota che, rispetto alla configurazione di base, il miglioramento, ottenuto innanzitutto con interventi di house keeping³ e praticando la comfort ventilation nelle ore notturne, dà luogo ad una buona contrazione del fabbisogno energetico; tale aspetto si era già visto nella Fig. 3, l'uso delle torri ad assorbimento dà luogo a contrazioni che non fanno discostare molto l'andamento del

carico elettrico da quello ottenuto praticando il free cooling. Notevole è invece il vantaggio conseguito con l'uso delle ruote adsorbenti. Quivi il risultato è da attribuire al risparmio di energia che si ha procedendo alla deumidificazione chimica che allevia il carico degli impianti frigoriferi. Graduali ma meno marcate diminuzioni si hanno con il ricorso alla cogenerazione di energia elettrica e termica e con la contemporanea produzione di parte del freddo occorrente con un parco ibrido di macchine a compressione di vapore e ad assorbimento. Nel gruppo delle curve è frammista anche quella relativa all'uso del parco con impianto di accumulo di ghiaccio; la curva, però, si nota bene perché ha una coda marcata nelle ore notturne quando opera il parco frigorifero per la produzione del ghiaccio. L'andamento della curva dei carichi elettrici per il caso in cui si opera con il sistema con Fuel Cell MCFC-miniTG mostra che la tecnologia è vincente, ma essa ha il limite di non essere ancora disponibile commercialmente [5]. [6]. In tale ultimo caso opera anche un impianto ad accumulo di ghiaccio necessario per non fermare le Fuel Cell nelle ore notturne [5].

³ Interventi sull'involucro edilizio per ridurre le infiltrazioni di aria dall'esterno nel periodo in cui è attivo l'impianto di climatizzazione; insufflazione dell'aria di espulsione nei vani di accesso del pubblico dall'esterno (barriere termiche dinamiche tra esterno e interno); automazione "intelligente" degli elementi schermanti per finestre e vetrate; interventi routinari di house-keeping e di razionalizzazione degli impianti elettrici; pratica della "comfort ventilation" sfruttando il "free cooling".

I risultati dell'analisi

La sintesi dei risultati dell'analisi energetica per le varie soluzioni proposte per l'improvement della gestione energetica della struttura, per tutto l'anno tipo, è riportata nelle Figg. 5., 6, 7 a cui si rimanda per vedere i valori numerici dei fabbisogni determinati con le simulazioni. Si vede che tutte le soluzioni proposte comportano una congrua contrazione della domanda elettrica con una buona gestione delle punte di carico. I risultati sono da attribuire: nel caso delle ruote adsorbenti al risparmio di energia elettrica per azionare i gruppi frigoriferi grazie all'azione delle ruote; nel caso

dell'impianto ad accumulo di ghiaccio allo shift della richiesta elettrica verso le ore notturne e di medio e basso carico; nel caso delle cogenerazione allo shift verso l'uso del gas metano che comporta anche delle riduzioni del carico elettrico consentendo l'uso di un parco frigorifero ibrido a compressione di vapore e ad assorbimento; nel caso dei Sistemi con Fuel Cell MCFC-miniTG vi è in esercizio anche un parco di macchine frigorifere per l'accumulo di ghiaccio. La Fig. 8 mostra più in dettaglio un raffronto tra le soluzioni di impianto: di base; con accumulo di ghiaccio; con Fuel Cell MCFC-miniTG.

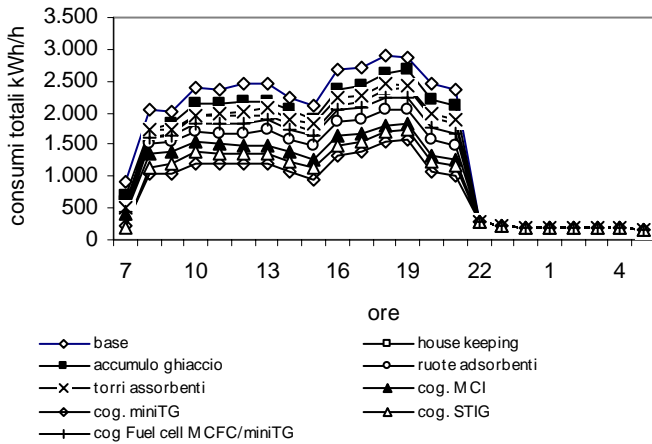


Figura 4 - Confronto dell'andamento del carico elettrico originato dai vari tipi di impianto di climatizzazione analizzati nello studio mese di agosto

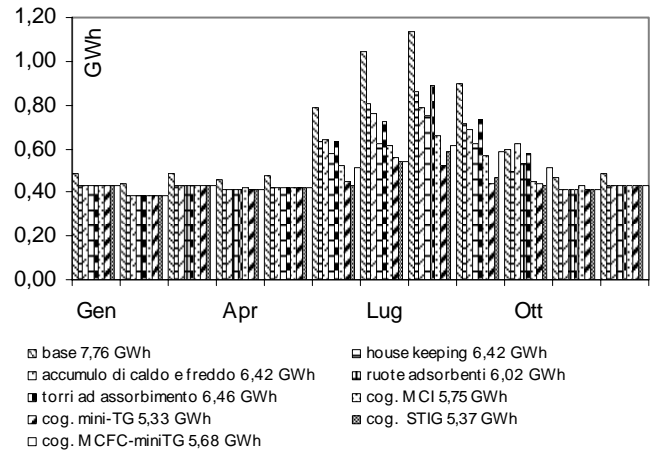


figura 5 - Domanda di Energia Elettrica nei mesi dell'anno

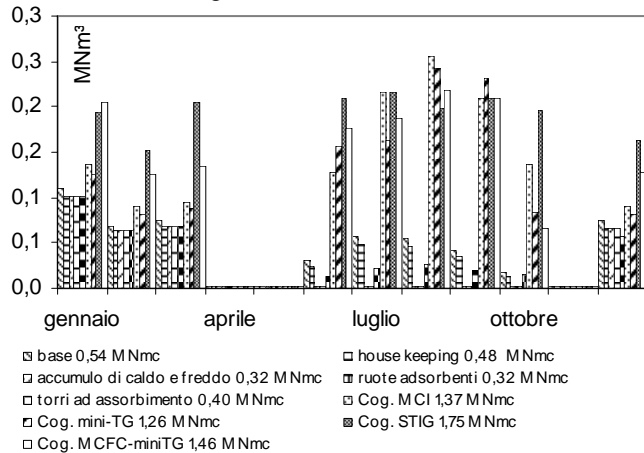


Figura 6 - Domanda di Gas metano nei mesi dell'anno

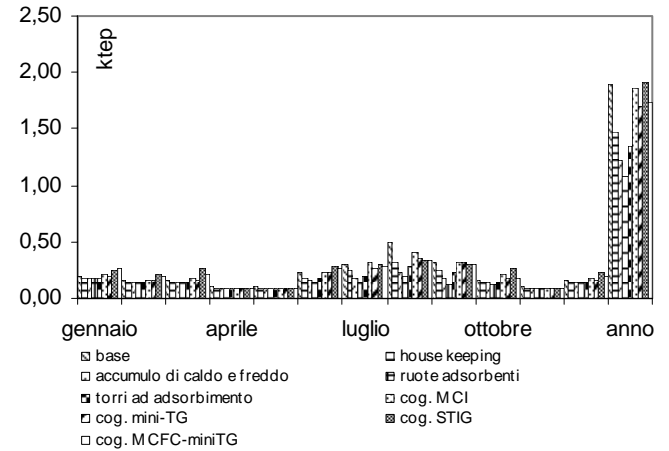


Figura 7 - Domanda di Energia primaria nei mesi dell'anno

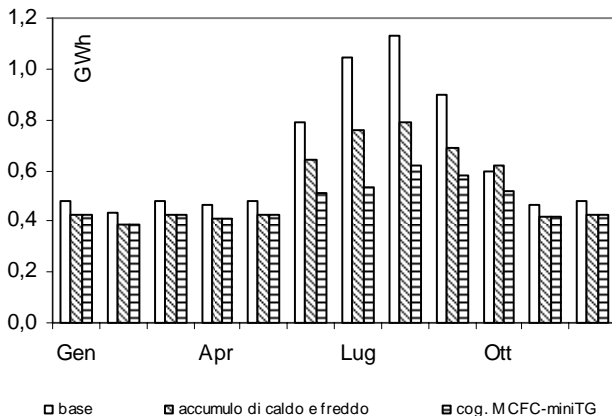


Figura 8 - Domanda di Energia Elettrica nei mesi dell'anno a confronto per due tipiche soluzioni con quella di base

Nella Tab. 2 [2] sono riportati alcuni dati significativi delle analisi effettuate nello studio. Si tratta di un raffronto delle varie soluzioni proposte per l'improvement della gestione energetica con il caso base. Oltre al risparmio di energia primaria nella Tabella sono anche riportati gli indici I_e ed I_a , rispettivamente denominati: Indicatore energetico ed Indicatore ambientale.

Nella tabella 3 sono invece riassunti i risultati dei raffronti economici delle varie soluzioni di improvement proposte nello studio con quella del caso base [2]. Si vede dalla tabella che si hanno VAN positivi a 20 anni per tutte le soluzioni tranne che per la cogenerazione con STIG. I tempi di ritorno semplici (TR) sono ragionevoli, considerata la complessità degli impianti. Si hanno tempi di ritorno semplici, però, superiori ai 10 anni per le torri ad assorbimento.

Nella Tab. 4 [2] sono infine riportati gli indici per la determinazione della significatività del risparmio energetico per gli impianti di cogenerazione esaminati. Seguendo le indicazioni del sistema italiano di valutazione dell'efficienza degli impianti di cogenerazione, per i casi specifici degli impianti che rientrano nella categoria "diversi da quelli di teleriscaldamento", si sono usati i due indici IRE_A e IRE_B e l'indice LT . Essi secondo le indicazioni proposte dall'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas erano definiti con le espressioni riportate nella nomenclatura. Le ultime determinazioni dell'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas con la Deliberazione n. 42 del 2002 hanno portato alla proposta di un nuovo indice IRE_{AUT} per il riconoscimento degli

impianti di cogenerazione ad alta efficienza, allineandosi alla maggioranza dei Paesi Membri della U.E.:

$$IRE_{AUT} = 1 - \frac{E_c}{\frac{E_e}{\eta_{es,p}} + \frac{E_{t,civ}}{\eta_{ts,civ}} + \frac{E_{t,ind}}{\eta_{ts,ind}}} \geq a \quad (1)$$

essendo:

$a = 10\%$ per le sezioni di nuova realizzazione,

$a = 8\%$ per i rifacimenti di sezioni esistenti,

$a = 5\%$ per le sezioni esistenti.

Si vede dai risultati ottenuti che il limite del 15% per l' LT è rispettato ampiamente in tutti e quattro i casi e lo stesso dicasi per l' IRE_{AUT} .

Tabella 3 - Scheda di Sintesi dei raffronti energetico - economici

H.K./Base	VAN kEuro	1 598		TR anni	0.95
	r%	fer%	i%	ROI%	95.15
	4.6	1	3.6	IP%	14.81
Accumulo/Base	VAN kEuro	965		TR anni	8.07
	r%	fer%	i%	ROI%	2.39
	4.6	1	3.6	IP%	1.74
Ruote desorb./Base	VAN kEuro	1 385		TR anni	5.95
	r%	fer%	i%	ROI%	6.81
	4.6	1	3.6	IP%	2.37
Torri assorb./Base	VAN kEuro	281		TR anni	11.41
	r%	fer%	i%	ROI%	neg.
	4.6	1	3.6	IP%	1.23
Cog. MCI/Base	VAN kEuro	901		TR anni	10.43
	r%	fer%	i%	ROI%	2.92
	4.6	1	3.6	IP%	1.35
Cog. miniTG/Base	VAN kEuro	647		TR anni	10.06
	r%	fer%	i%	ROI%	3.28
	4.6	1	3.6	IP%	1.40
Cog. STIG/Base	VAN kEuro	neg.		TR anni	15.19
	R%	fer%	i%	ROI%	neg.
	4.6	1	3.6	IP%	0.93
Cog. MCFC-miniTG/Base	VAN kEuro	4 101		TR anni	6.12
	r%	fer%	i%	ROI%	9.68
	4.6	1	3.6	IP%	2.30

Tabella 4 - Indici di valutazione degli impianti di cogenerazione

caso	E_e	E_t	$E_c = E_e + E_t$	LT	p	IRE_A	IRE_B	IRE_{AUT}
	kWh	kWh	kWh	15% min		38% min	20% min	10% min
MCI	4 804 356	6 752 068	11 556 424	58.43	0.97	46.12	39.76	43.65
miniTG	2 320 490	6 961 470	9 281 960	75.00	0.97	38.06	33.18	33.78
STIG	3 458 400	3 549 410	7 007 810	50.65	0.97	49.22	42.42	47.34
MCFC-miniTG	7 445 880	2 382 682	9 828 562	24.24	0.97	57.52	49.93	56.90

CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate risultano convenienti:

- l'intervento minimale di house keeping che include la comfort ventilation;
- l'accumulo di freddo è marginale, l'accorgimento consente, però, di effettuare lo shift degli assorbimenti elettrici nelle ore notturne e di basso e medio carico contenendo efficacemente le punte di carico elettrico, è quindi strategicamente perseguibile;
- lo stesso dicasi per l'accumulo di freddo con clatrati;

- l'introduzione della deumidificazione ibrida con ruote essiccanti e per raffreddamento;
- l'introduzione della deumidificazione ibrida con torri ad assorbimento non è allettante ed è assai costosa;
- quanto, poi, alle soluzioni con cogenerazione i risultati ottenuti possono incoraggiare la loro proposizione, tranne che per i sistemi con STIG; per i sistemi ibridi MCFC-miniGT le prospettive sono allettanti, ma occorre disporre di tecnologie di lunga durata ed altresì che si disponga di un affidabile servizio di manutenzione.

Le soluzioni impiantistiche proposte sono, ovviamente, tra le migliori soluzioni tecniche rivolte al contenimento delle punte di carico. Nel quadro relativo alle analisi condotte nello studio sono vincenti i sistemi ibridi MCFC-miniGT; ma i problemi da risolvere per questa tecnologia sono ancora molti. Se l'Ansaldo potrà in commercio i predetti sistemi, si potrà contare su ditte nazionali che potranno garantire la necessaria assistenza tecnica.

Emerge dallo studio che l'aspetto tariffario è importante. Dei costi contenuti, per le soluzioni con cogenerazione, possono far cambiare lo scenario notevolmente. Si noti, però, che l'adozione della cogenerazione in una struttura del tipo di quella esaminata richiede l'uso di macchine ad assorbimento per la produzione di parte del freddo per la climatizzazione; con gli attuali costi del gas si ha ancora una convenienza economica.

NOMENCLATURA

Cog.	Sistema di produzione combinata di en. elettrica e calore
E_c	Energia cogenerata ($E_c = E_e + E_t$) [kWh]
E_e	Energia elettrica cogenerata [kWh]
E_t	Energia termica cogenerata [kWh]
FCL_j	Flusso di Cassa Lordo relativo all'anno j , dallo scenario energetico correlato al processo studiato (nelle analisi si è considerato un valore uniforme nei periodi j)
f_{er}	Tasso relativo all'aumento del costo dell'energia in termini reali: in genere, in Italia, si ha; $-2 \leq f_{er} \leq +2\%$
H.K.	Interventi di House Keeping
$i = \frac{1+r}{1+f_{er}} - 1 \cong r + f_{er}$; $i \leq 10\%$
I_0	Investimento correlato alla iniziativa per lo scenario energetico studiato
$I_e = \frac{\text{Investimento Euro}}{\text{Risp. energ. tep}}$	
$I_a = \frac{\text{Investimento Euro}}{\text{kg CO}_2 \text{ evitata}}$	
$IP = \frac{VAN + I_0}{I_0}$	
$IRE_A = 1 - \frac{E_c}{\frac{E_e}{\eta_{es} P} + \frac{E_t}{\eta_t}} \geq 38\%$	Indice di risparmio energetico calcolato con la modalità A
$IRE_B = 1 - \frac{E_c}{\frac{E_e}{\eta_{es} P} + \frac{E_t}{\eta_t}} \geq 20\%$	Indice di risparmio energetico calcolato con la modalità B
$LT = \frac{E_t}{E_e + E_t} \geq 15\%$	Limite Termico
MCFC-miniGT	Sistema ibrido di produzione combinata di en. elettrica e calore con sistemi "Molten Carbonate Fuel Cell" e mini Turbina a Gas
MCI	Motore a Combustione Interna
mini-TG	Mini Turbina a Gas
$p = 1-2,8/100$	Coefficiente di risparmio energetico per riduzione perdite di trasmissione e distribuzione per la produzione locale
r	Tasso relativo al costo del capitale reale, in genere, in Italia, si ha; $+4\% \leq r \leq +8\%$
$ROI = \frac{\text{Utile lordo}}{\text{Investimento netto}} = \frac{\text{Flusso di cassa lordo} - \text{Ammortamenti}}{\text{Investimento netto}}$	
STIG	Steam Injected Gas turbine
$TR = \frac{I_0}{(FCL)_j} = \frac{\text{Investimento netto}}{\text{Flusso di cassa lordo}}$	

$$VAN = \sum_{j=1}^N \frac{(FCL)_j}{(1+i)^j} - I_0$$

η_t	Rendimento prod. calore separata, si assume 80%
η_{es}	Rendimento elettrico medio di produzione del parco nazionale, si assume 38%

pedici:

civ	settore civile
ind	settore industriale

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. D. Pilara, Applicazioni dei cicli ad aria per la produzione del freddo, aspetti termodinamici ed impiantistici, Tesi di Laurea, Relatori: C. Dispenza. V. La Rocca. Università di Palermo, 1999.
2. M. Columba, C. Dispenza et al., Metodologie di Analisi energetica dei Supermercati e degli Ipermercati, con l'obiettivo della ottimizzazione della domanda elettrica ed energetica globale, Casi Studio per la Regione Siciliana, Rapp. ric. n. 1, DREAM Università di Palermo, 2004.
3. M. Columba, V. La Rocca, M. Morale, D. Panno, G. Panno, Metodologie di Analisi energetica e Studio di fattibilità di un impianto di climatizzazione con accumulo di caldo e freddo con ghiaccio per un grosso ipermercato ubicato in Sicilia, Rapp. ric. n. 5, DREAM Università di Palermo, 2004.
4. M. Columba, V. La Rocca, M. Morale, D. Panno, G. Panno, Studio di fattibilità di un impianto di climatizzazione con accumulo di caldo e freddo con ghiaccio per un grosso ipermercato ubicato in Sicilia, 60° Congresso Nazionale ATI Roma 2005 (mem. presentata).
5. M. Columba, C. Dispenza, G. Dispenza, M. Ferraro, Metodologie di Analisi energetica e Studio di fattibilità di un impianto di produzione combinata di caldo, freddo ed energia elettrica con Sistemi MCFC per un grosso ipermercato ubicato in Sicilia, Rapp. ric. n. 4, DREAM Università di Palermo, 2004.
6. M. Columba, C. Dispenza, G. Dispenza, M. Ferraro, Studio di fattibilità di un impianto di produzione combinata di caldo, freddo ed energia elettrica con Sistemi MCFC per un grosso ipermercato ubicato in Sicilia, 60° Congresso Nazionale ATI Roma 2005 (mem. presentata).
7. M. Columba. C. Dispenza et al., Ottimizzazione energetica e razionalizzazione della domanda elettrica dei supermercati e degli ipermercati: caratterizzazione dei carichi termici di un ipermercato ubicato in Sicilia, 57° Congresso nazionale ATI. 17-20 settembre 2002. Pisa.
8. A. Dispenza, C. Dispenza, W. Morgano, G. Rizzo, Fabbisogno di energia per la climatizzazione di edifici commerciali: Calcolo orario per situazioni specifiche in regime di funzionamento intermittente, applicazione ad una struttura commerciale in Sicilia, Rapp. ric. n. 3, DREAM Università di Palermo, 2004.
9. A. Dispenza, C. Dispenza, W. Morgano, G. Rizzo, Simulazione del comportamento termoidrometrico di un grosso ipermercato ubicato in Sicilia, Congresso AICARR 2005 (mem. presentata).