



CERTIFICATI BIANCHI Allegato 2.5 alla Guida Operativa

Guide Settoriali

IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA E FRIGORIFERA

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA FRIGORIFERA.....	5
2.1	Condizioni di ammissibilità	6
2.2	Sistemi a compressione elettrici.....	6
2.3	Sistemi ad assorbimento.....	9
2.4	Sistemi free-cooling	10
3	IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA	11
3.1	Condizioni di ammissibilità	13
3.2	Generatori di calore.....	15
3.3	Pompe di calore	16
4	INDIVIDUAZIONE DELLA SOLUZIONE DI BASELINE ED ALGORITMI	17
5	METODOLOGIA ADOTTATA PER LA PRESENTE GUIDA	21
6	BIBLIOGRAFIA	24

1 INTRODUZIONE

Nella presente guida sono descritti i possibili interventi di efficienza energetica riferiti agli impianti di produzione di energia termica o frigorifera sia per finalità di processo, sia per la climatizzazione ambientale che per la produzione di acqua calda sanitaria. Nello specifico sono analizzati i seguenti impianti:

- per la produzione di energia frigorifera:
 - gruppi frigo a compressione;
 - gruppi frigo ad assorbimento;
 - sistemi free cooling;
- per la produzione di energia termica:
 - generatori di calore;
 - pompe di calore.

Di seguito uno schema riassuntivo delle tecnologie analizzate.

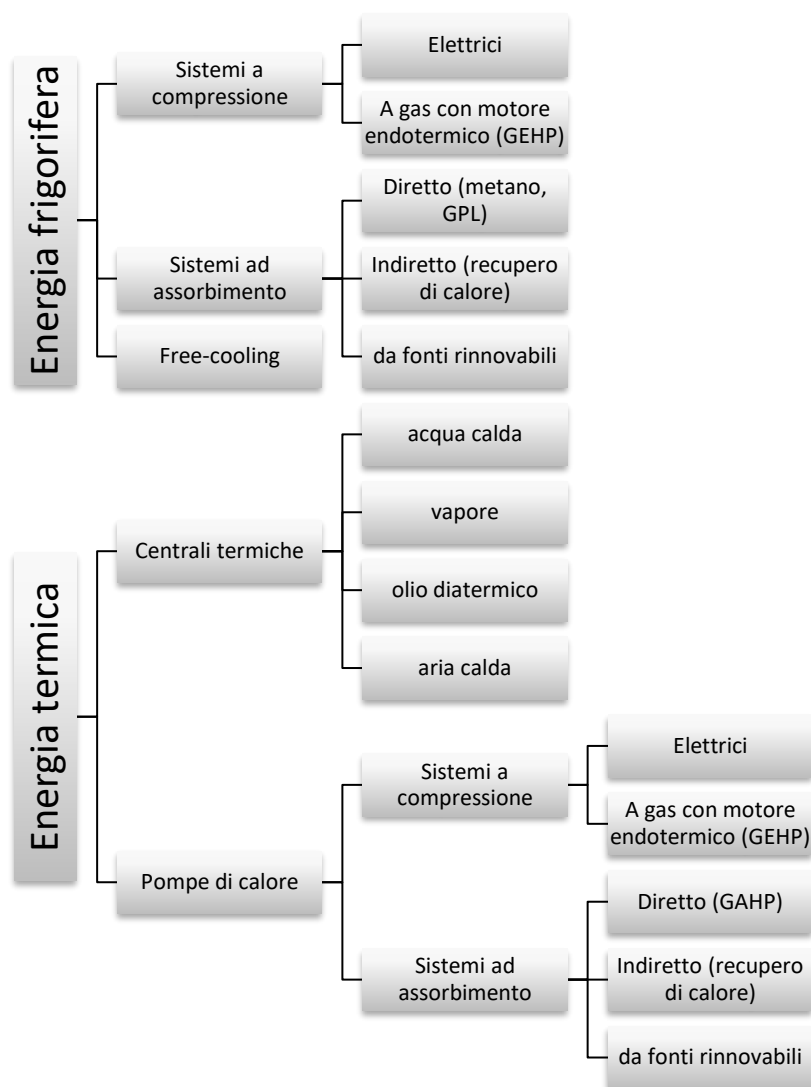


Figura 1: tecnologie per la produzione di energia termica e frigorifera

Per tali impianti sono stati indicati i valori prestazionali minimi da garantire ai fini dell'accesso al meccanismo, nonché i valori prestazionali di riferimento. Inoltre, nell'ultimo paragrafo, è riportato un prospetto di sintesi per la corretta individuazione della soluzione impiantistica da prendere come riferimento ai fini della definizione della soluzione tecnologica di baseline ed i relativi algoritmi per il calcolo dei risparmi.

2 IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA FRIGORIFERA

Gli impianti di produzione di energia frigorifera possono essere di tre tipi:

1. a compressione;
2. ad assorbimento;
3. free cooling.

Di seguito sono descritte le tre tecnologie ed i valori di EER di riferimento. Si precisa che non rientrano nel perimetro di analisi i sistemi ad espansione diretta con fluido refrigerante **ammoniaca** o **anidride carbonica**. Si segnala che le prime due tipologie di impianti, ovvero i gruppi frigo a compressione e ad assorbimento, rientrano nella tipologia di interventi riportati in tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii. Inoltre, tra le misure comportamentali “adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti” rientrano gli interventi di installazione di sistemi di automazione e controllo. Per tale intervento il calcolo dei risparmi dovrà essere effettuato con riferimento ai consumi del “sistema tecnologico assunto come punto di riferimento”. Pertanto, l’installazione del sistema di controllo verrà incentivata in relazione alla riduzione dei consumi energetici rispetto alle condizioni ex ante del sistema tecnologico assunto come punto di riferimento (pompa di calore o gruppo frigo).

Tipologie di intervento per impianti <i>tabella 1 del D.M.11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.</i>		Vita utile		
		Nuova installazione	Sostituzione	Efficientamento integrato
Settore civile	Gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere	10	7	7
	Altri sistemi di free-cooling	3	-	-
Settore reti, servizi e trasporti	Impianti di produzione di energia termica o frigorifera a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	10	7	5
	Componenti per il recupero di calore a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	7	7	-
	Altri sistemi di free-cooling	3	-	-
Settore industriale	Gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere, ivi compresi gli impianti di surgelazione e refrigerazione	7	5	5
	Altri sistemi di free-cooling	3	-	-
Misure comportamentali	Adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti	3	-	-

Tabella 1: tipologie di intervento impianti di produzione di energia frigorifera, tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.

Così come previsto dal D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii., si specifica che, nel caso di sostituzione, ovvero di efficientamento energetico integrato di impianti di produzione di energia frigorifera, sarà necessario effettuare il confronto tra la configurazione antecedente alla realizzazione del progetto di efficienza energetica e il macchinario installato/efficientato a parità di servizio reso.

A titolo esemplificativo, un possibile intervento di efficientamento energetico integrato applicabile alle tipologie di intervento di cui alla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, che prevedono tale casistica, potrebbe riguardare la contestuale sostituzione del motore elettrico di un compressore della centrale frigorifera con installazione di un inverter e l’implementazione di un sistema di controllo innovativo della centrale frigorifera.

2.1 Condizioni di ammissibilità

Ai fini dell'accesso al meccanismo dei certificati bianchi, per le pompe di calore reversibili, è necessario il rispetto dei requisiti prescritti dal D.Lgs. 28/2011 e ss.mm.ii., Allegato 2, punto 3 secondo quanto di seguito riportato.

Ambiente			Pompe di calore elettriche reversibili utilizzate in caso di climatizzazione estiva		
Esterno	Interno		Ambiente esterno (°C)	Ambiente interno (°C)	EER
Aria	Aria		Bulbo secco all'entrata: 35 Bulbo umido all'entrata : 24	Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	3,4
	Acqua	Potenza termica utile riscaldamento ≤ 35 kW		Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	3,8
		Potenza termica utile riscaldamento > 35 kW			3,2
Acqua	Aria		Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	4,4
	Acqua			Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	5,1
Salamoia	Aria			Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	4,4
	Acqua			Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	4,4

Tabella 2: Limiti di EER per pompe di calore reversibili previsti dal D.Lgs. 28/2011

Per le pompe di calore a gas i valori minimi di EER sono posti pari a 0,6 per tutte le tipologie.

Si precisa che il succitato decreto definisce le metodologie di determinazione dei rendimenti delle macchine e prescrive al punto 7 del medesimo allegato che il rispetto dei valori di rendimento sia comprovato *“tramite attestazione rilasciata da laboratori accreditati da organismi di accreditamento appartenenti allo European Co-operation for Accreditation (EA), o che abbiano stabilito accordi di mutuo riconoscimento con EA”*, ovvero che siano accreditati alla norma ISO/IEC 17025. Inoltre, *“tale attestazione deve essere accompagnata da dichiarazione del produttore circa la corrispondenza dei prodotti immessi in commercio con quelli oggetto della suddetta attestazione.”*. Pertanto, in fase di presentazione di un progetto, sarà necessario fornire la dichiarazione del produttore della macchina circa il rispetto dei requisiti minimi prestazionali definiti dal D.Lgs. 28/2011 e ss.mm.ii., verificati mediante le metodologie prescritte dal succitato disposto normativo.

2.2 Sistemi a compressione elettrici

Le macchine a compressione elettriche sono costituite da quattro componenti principali: il compressore, la valvola di espansione e due scambiatori di calore (il condensatore e l'evaporatore), connessi in modo da formare un ciclo chiuso percorso dal fluido refrigerante. In una prima fase il refrigerante, allo stato di vapore, viene compresso a pressioni maggiori, con un conseguente innalzamento del livello di temperatura. Grazie al calore ceduto all'ambiente esterno nel condensatore, il fluido passa poi dallo stato di vapore surriscaldato a quello liquido. Successivamente il fluido transita attraverso la valvola di laminazione, dove mediante un processo isoentalpico diminuiscono sia la sua pressione che la sua temperatura subendo una parziale evaporazione; infine, nell'evaporatore, il fluido assorbe calore dall'ambiente interno da raffreddare ed evapora completamente.

Le caratteristiche costruttive che influenzano l'efficienza delle macchine sono:

1. tipologia di sistema di condensazione (aria o acqua);

2. tipologia di fluido refrigerante;
3. tipologia di compressore;
4. tipologia di scambiatori;
5. tipologia di motore;
6. presenza di economizzatori;
7. presenza di inverter;
8. temperatura di condensazione e di evaporazione.

Il valore di rendimento della soluzione tecnologica standard

Con riferimento ai progetti di efficienza energetica presentati nell'ambito del meccanismo, nonché alla letteratura di settore, ai dati Eurovent e alle normative di riferimento (D.Lgs. 28/2011, etc.), di seguito sono indicati i valori di EER dei gruppi frigo elettrici a compressione standard ad oggi installabili, distinti per fasce di potenza frigorifera.

Ambiente		Gruppi frigo a compressione						
Esterno	Interno	Ambiente esterno (°C)	Ambiente interno (°C)	EER				
				Intervalli di potenza (kWfrig)				
				20-50	51-250	251-500	501-1000	>1000
Aria	Aria	Bulbo secco all'entrata: 35 Bulbo umido all'entrata: 24	Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	3,4**				
	Acqua		Temperatura entrata 12 Temperatura uscita: 7	2,8*	2,9*	2,9*	3,0*	3,2*
Acqua	Aria	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	4,4**				
	Acqua		Temperatura entrata 12 Temperatura uscita: 7	3,9*	4,0*	4,4*	4,8*	4,9*
Salamoia	Aria	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	4,4**				
	Acqua		Temperatura entrata 23 Temperatura uscita: 18	4,4**				

*Elaborazione GSE su dati Eurovent

** Fonte D.lgs. 28/2011

Tabella 3: EER di riferimento per gruppi frigo a compressione elettrici (EER_{standard})

Si precisa che, ai fini del calcolo dei risparmi, è necessario determinare il valore di EER di baseline alle effettive condizioni di esercizio della situazione ex post. È pertanto necessario tener conto delle temperature delle sorgenti e del carico delle macchine frigorifere.

In generale, quindi, il valore di EER di baseline non potrà essere fisso, ma varierà su base oraria in funzione del fattore di carico, secondo la seguente formula:

$$EER_{baseline} = EER \times K_{Carnot} \times K_{carico} \quad (A)$$

In caso di nuova installazione il valore di EER (denominato EER_{standard}) è quello riportato in Tabella 3, riferito alle medesime condizioni di progetto ex post. Il valore di EER_{standard}, infatti, deve essere confrontato con quello ex post a parità di temperatura al condensatore e all'evaporatore.

A tal proposito è necessario applicare il fattore correttivo K_{Carnot} calcolato come di seguito:

$$K_{Carnot} = \frac{EER_{Carnot \text{ da progetto ex post}}}{EER_{Carnot \text{ standard}}}; \quad (B.1)$$

essendo:

- $EER_{\text{Carnot standard}} = \frac{T_{e_standard}}{T_{c_standard} - T_{e_standard}};$
- $EER_{\text{Carnot da progetto ex post}} = \frac{T_{e_progetto_expost}}{T_{c_progetto_expost} - T_{e_progetto_expost}};$

con

- $T_{e_standard}$ = temperatura (espressa in Kelvin) media all'evaporatore (colonna ambiente interno della Tabella 3). Per l'aria si considera, invece, la temperatura di bulbo secco all'entrata;
- $T_{c_standard}$ = temperatura (espressa in Kelvin) media al condensatore (colonna ambiente esterno della Tabella 3). Nel caso di aria si considera la temperatura di bulbo secco all'entrata;
- $T_{e_progetto_expost}$ = temperatura (espressa in Kelvin) media all'evaporatore da progetto del gruppo frigorifero utilizzato nella situazione ex post. Per l'aria si considera, invece, la temperatura di bulbo secco all'entrata;
- $T_{c_progetto_expost}$ = temperatura (espressa in Kelvin) media al condensatore da progetto del gruppo frigorifero utilizzato nella situazione ex post. Nel caso di aria si considera la temperatura di bulbo secco all'entrata.

Il coefficiente correttivo K_{carico} , invece, tiene conto della correlazione che sussiste tra il fattore di carico (F) ed il valore di EER. Tale coefficiente deve essere ricavato con frequenza oraria secondo la seguente formula:

$$K_{carico} = -0,4 \times F + 1,4 \quad \text{se } F \geq 50\%, \quad (B.2)$$

$$K_{carico} = 0,1822 \times \ln(F) + 1,329 \quad \text{se } F < 50\%,$$

essendo:

- F, il fattore di carico pari a $F = \frac{P_{frigo_expost}}{P_{frigo_nom}};$
- P_{frigo_expost} = la potenza frigorifera oraria prodotta dalla macchina nella situazione ex post;
- P_{frigo_nom} = la potenza frigorifera nominale indicata nella scheda tecnica del gruppo frigo installato nella situazione ex post.

In caso di sostituzione di un gruppo frigo, ai fini del calcolo del valore di $EER_{baseline}$ dovrà essere implementata la formula (A).

In particolare, EER sarà pari al valore di EER da scheda tecnica ex ante ($EER_{scheda\ ex\ ante}$).

Il coefficiente K_{Carnot} sarà ricavato tramite la seguente formula:

$$K_{Carnot} = \frac{EER_{\text{Carnot da progetto ex post}}}{EER_{\text{Carnot scheda ex ante}}}, \quad (C.1)$$

essendo:

- $EER_{\text{Carnot scheda ex ante}} = \frac{T_{e_scheda\ ex\ ante}}{T_{c_scheda\ ex\ ante} - T_{e_scheda\ ex\ ante}};$
- $EER_{\text{Carnot da progetto ex post}} = \frac{T_{e_progetto_expost}}{T_{c_progetto_expost} - T_{e_progetto_expost}};$

con

- $T_{e_scheda\ ex\ ante}$ = temperatura (espressa in Kelvin) media all'evaporatore come indicato dalla scheda ex ante del gruppo frigo sostituito. Per l'aria si considera, invece, la temperatura di bulbo secco all'entrata;
- $T_{c_scheda\ ex\ ante}$ = temperatura (espressa in Kelvin) media al condensatore come indicato dalla scheda ex ante del gruppo frigo sostituito. Nel caso di aria si considera la temperatura di bulbo secco all'entrata;
- $T_{e_progetto_expost}$ = temperatura (espressa in Kelvin) media all'evaporatore da progetto del gruppo frigorifero utilizzato nella situazione ex post. Per l'aria si considera, invece, la temperatura di bulbo secco all'entrata;
- $T_{c_progetto_expost}$ = temperatura (espressa in Kelvin) media al condensatore da progetto del gruppo frigorifero utilizzato nella situazione ex post. Nel caso di aria si considera la temperatura di bulbo secco all'entrata;

Il coefficiente K_{carico} dovrà essere ricavato dalle misurazioni **orarie** ex ante e dalle schede tecniche dei gruppi frigo ex ante.

2.3 Sistemi ad assorbimento

Nei gruppi frigo ad assorbimento, il ciclo frigorifero è analogo a quello a compressione, con la differenza che la fase di compressione è sostituita dal gruppo generatore e assorbitore. Il sistema ad assorbimento sfrutta la solubilità e l'elevata affinità di due sostanze, di cui una ha la funzione di refrigerante e l'altra di assorbente. In commercio le soluzioni impiegate sono:

1. bromuro di litio e acqua ($H_2O - LiBr$), dove l'acqua rappresenta il refrigerante;
2. ammoniaca e acqua ($NH_3 - H_2O$), dove l'ammoniaca rappresenta il refrigerante.

Il ciclo è costituito da:

1. un *evaporatore*, dove si trova la soluzione ricca di refrigerante, che evapora asportando calore alla sorgente fredda;
2. un *assorbitore*, dove si trova la soluzione ricca di sostanza assorbente che assorbe il refrigerante evaporato;
3. una *pompa*, che ha il compito di innalzare la pressione della soluzione presente nell'assorbitore inviandola al generatore;
4. un *generatore*, dove viene fornito il calore necessario per far evaporare il refrigerante presente nella soluzione;
5. un *condensatore* che permette la cessione del calore alla sorgente calda;
6. un *organo di laminazione*.

I gruppi frigo disponibili sul mercato possono essere a singolo effetto o a doppio effetto a seconda del livello di temperatura reso disponibile dal generatore.

I generatori possono essere:

1. ad alimentazione diretta, in cui il calore viene generato mediante:
 - a. un bruciatore presente direttamente nel gruppo frigo. Il bruciatore può essere alimentato con metano, GPL o biomasse;
 - b. energia solare (solar cooling);
2. ad alimentazione indiretta, ovvero mediante recuperi termici da processi industriali.

2.4 Sistemi free-cooling

I sistemi free cooling sono sistemi che sfruttano l'apporto termico gratuito di un fluido ambiente (aria, o acqua) quando le condizioni termodinamiche del processo lo permettono, ovvero quando la temperatura ambiente, o dell'acqua di falda, è inferiore a quella del fluido refrigerante o dell'aria da raffreddare.

Tali sistemi sono largamente utilizzati sia in ambito terziario, sia in ambito industriale.

Dal punto di vista impiantistico i free cooler sono quasi sempre inseriti in parallelo o direttamente integrati con gruppi frigo tradizionali che garantiscono la copertura del fabbisogno di freddo nelle condizioni di picco.

Le possibili soluzioni tecnologiche sono:

- il free cooling diretto ad **aria**, ovvero sistemi che prevedono l'immissione diretta di aria negli ambienti quando l'aria esterna è più fredda di quella interna. Il free cooling diretto avviene mediante unità ad espansione diretta (roof-top) dotate di serrande che si attivano in funzione della temperatura dell'aria esterna; il free cooling indiretto con **dry cooler**, ovvero aerotermini che sfruttano direttamente l'aria esterna come fluido secondario. Esistono tuttavia soluzioni dotate di dispositivo adiabatico, ovvero di un sistema di nebulizzazione che sfrutta l'ulteriore salto termico dovuto all'evaporazione d'acqua;
- il free cooling indiretto ad **acqua di falda**, ovvero sistemi che prevedono l'impiego dell'acqua di falda per raffreddare il fluido refrigerante;
- il free cooling indiretto con **torri evaporative** in cui il fluido da raffreddare attraversa per gravità la torre, all'interno della quale viene nebulizzata acqua che cede per scambio diretto con l'aria sia calore latente che calore sensibile.

La scelta delle soluzioni sopra indicate dipende da diversi fattori quali la disponibilità di acqua, la tipologia di applicazione, il tipo di fluido da raffreddare, etc.

Si rappresenta che, a seconda della soluzione di free cooling che si intende adottare, dovrà essere individuata la corrispondente tipologia di intervento presente nella Tabella 1, di cui all'Allegato 2 al D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii., ovvero:

- le tipologie di intervento *“Gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere, per la climatizzazione degli ambienti e/o surgelazione”*, ovvero *“Gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere”* devono essere adottate per:
 - a) il free cooler ad aria con raffreddamento adiabatico che sfrutta l'acqua presente in un circuito chiuso, garantendo un ridotto consumo di acqua rispetto alle torri evaporative;
 - b) l'utilizzo di acqua di falda solo nel caso la realizzazione del sistema di captazione risulta tecnicamente complesso;
- la tipologia di intervento *“Altri sistemi di free-cooling”* deve essere adottata per tutti i sistemi di free cooling che non rientrano al punto precedente.

3 IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA

Gli impianti di produzione di energia termica possono essere adibiti alla climatizzazione di ambienti, alla produzione di acqua calda sanitaria o ad esigenze di processo (ambito industriale).

Nella presente linea guida si distinguono:

1. i sistemi a combustione, ovvero i generatori di calore;
2. i sistemi basati sul principio dei cicli frigoriferi inversi, ovvero le pompe di calore.

Oltre agli impianti sopra elencati, di seguito si riportano tutte le tipologie di interventi riportati all'interno della tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii., riferiti agli impianti di produzione di energia termica. Inoltre, tra le misure comportamentali “adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti” rientrano l'installazione di sistemi di automazione e controllo.

Tipologie di intervento su impianti di produzione di energia termica tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.		Vita utile		
		Nuova installazione	Sostituzione	Efficientamento integrato
Settore industriale	Impianti di produzione di energia termica	10	7	5
	Gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere, ivi compresi gli impianti di surgelazione e refrigerazione	7	5	5
	Impianti per la climatizzazione degli ambienti in ambito industriale con sistemi radianti ad alta temperatura	10	7	-
	Economizzatori sulla linea fumi di impianti di produzione di energia termica	7	5	-
	Addolcitori e impianti a osmosi inversa rispettivamente per impianti termici con potenza al focolare inferiore a 100 kWt e a 2000 kWt	7	5	-
	Degasatori pressurizzati per impianti a vapore con pressioni inferiori 10 bar e potenza al focolare inferiore 5000 kW	7	5	-
	Installazione di componenti per il recupero di calore, qualora non tecnicamente possibile nella situazione ex ante, anche a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	7	-	-
	Altri sistemi di recupero di calore	3	-	-
Settore reti, servizi e trasporti	Impianti di produzione di energia termica o frigorifera a servizio di teleriscaldamento e/o raffrescamento	10	7	5
	Componenti per il recupero di calore a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	7	7	-
Settore civile (residenziale, terziario) e agricolo	Impianti di produzione di energia termica	10	7	5
	Gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere	10	7	7
	Economizzatori sulla linea fumi di impianti di produzione di energia termica	7	5	-
Misure comportamentali	Adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti	3	-	-

Tabella 4: tipologie di intervento su impianti di produzione di energia termica, tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.

In merito alla tipologia di intervento “Installazione di componenti per il recupero di calore, qualora non tecnicamente possibile nella situazione ex ante, anche a servizio di reti di teleriscaldamento e/o

teleraffrescamento” si rappresenta che: non rientrano nella definizione di “*non tecnicamente possibile nella situazione ex ante*” gli interventi che fanno riferimento ad interventi di installazione di un sistema di recupero del calore per soddisfare un mero incremento di richiesta di energia termica delle utenze rispetto alla situazione ex ante. A titolo esemplificativo, non è considerato “*non tecnicamente possibile nella situazione ex ante*” un intervento di recupero di calore per fornire energia termica per il riscaldamento di un ambiente precedentemente non riscaldato. Ulteriori esempi di casi che non rientrano nel concetto di “*non tecnicamente possibile nella situazione ex ante*” sono relativi ad interventi che riguardano l’installazione di un sistema di recupero dell’energia termica:

- a seguito del mero incremento di calore recuperabile rispetto alla situazione ex ante, legato ad esempio all’aumento della produttività del processo a monte del sistema di recupero del calore. A titolo esemplificativo, si può fare riferimento al caso di aumento di energia termica recuperabile da un forno di cottura delle piastrelle ceramiche a seguito dell’incremento dei volumi produttivi del forno;
- da un impianto nuovo, ovverosia non presente nella situazione ex ante.

Per la realizzazione degli interventi riportati nella Tabella 5, il calcolo dei risparmi dovrà essere effettuato con riferimento al consumo energetico del “*Sistema tecnologico assunto come punto di riferimento*”. Pertanto, la realizzazione dei succitati interventi verrà incentivata in relazione alla riduzione dei consumi energetici rispetto alle condizioni ex ante del sistema tecnologico assunto come punto di riferimento.

Sistema tecnologico assunto come punto di riferimento	Tipologie di intervento secondo la tabella 1 del D.M. 11 gennaio e ss.mm.ii.	Vita utile		
		Nuova installazione	Sostituzione	Efficientamento integrato
Impianti di produzione di energia termica (settore industriale)	Economizzatori sulla linea impianti di produzione di energia termica	7	5	-
	Addolcitori e impianti a osmosi inversa rispettivamente per impianti termici con potenza al focolare inferiore a 100 kWt a 2000 kWt	7	5	-
	Installazione di componenti per il recupero di calore, qualora non tecnicamente possibile nella situazione ex ante, anche a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	7	-	-
	Altri sistemi di recupero di calore	3	-	-
Impianti di produzione di energia frigorifera (settore industriale)	Installazione di componenti per il recupero di calore, qualora non tecnicamente possibile nella situazione ex ante, anche a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	7	-	-
	Altri sistemi di recupero di calore	3	-	-
Impianti a vapore (settore industriale)	Degasatori pressurizzati per impianti a vapore con pressioni inferiori 10 bar e potenza di focolare inferiore 5000 kW	7	5	-

Impianti di produzione di energia termica (settore reti, servizi e trasporti)	componenti per il recupero di calore a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	7	7	-
Impianti di produzione di energia termica (settore civile (residenziale, terziario) e agricolo)	Economizzatori sulla linea fumi di impianti di produzione di energia termica	7	5	-
Impianti di produzione di energia termica (qualunque settore)	Misure comportamentali: adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti	3	-	-

Tabella 5: correlazione tra “sistema tecnologico assunto come punto di riferimento” e tipologie di intervento

Così come previsto dal D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii., si specifica che, nel caso di sostituzione, ovvero di efficientamento energetico integrato di impianti di produzione di energia termica, sarà necessario effettuare il confronto tra la configurazione antecedente alla realizzazione del progetto di efficienza energetica e il macchinario installato a parità di servizio reso.

Di seguito si mostrano degli esempi di progetti di efficientamento energetico integrato per le tipologie di intervento di cui alla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**:

- per la tipologia di intervento “*Impianti di produzione di energia termica*”: la contestuale installazione di “*Economizzatori sulla linea fumi di impianti di produzione di energia termica*” e l’implementazione di un sistema di controllo innovativo;
- per le tipologie di intervento “*Gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere, per la climatizzazione degli ambienti e/o surgelazione*”, “*Gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere*”, “*Impianti di produzione di energia termica o frigorifera a servizio di teleriscaldamento e/o raffrescamento*”: la contestuale sostituzione del motore elettrico del compressore della pompa di calore con uno più efficiente, dotato di inverter, e l’implementazione di un sistema di controllo innovativo.

3.1 Condizioni di ammissibilità

Ai fini dell’accesso al meccanismo dei certificati bianchi, nel caso di riqualificazione energetica di edifici, così come definita dall’art. 2, comma 1, lettere l-viciester del D.Lgs. 192/2005 e s.m.i, per **caldaie a combustibile liquido e gassoso** è necessario il rispetto del rendimento di generazione utile minimo di cui al punto 1.3.1, dell’Appendice B all’Allegato 1 al D.M. 26/06/2015, ovvero $90 + 2 \log(P_n)$ (dove $\log(P_n)$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore, espressa in kW. Per valori di P_n maggiori di 400 kW si applica il limite massimo corrispondente a 400 kW).

Nel caso di installazione di **impianti alimentati a biomasse o bioliquidi**, ai fini dell’accesso del meccanismo dei certificati bianchi, è necessario rispettare i requisiti previsti dall’Allegato 2 al D.Lgs. 28/2011 e ss.mm.ii., con riferimento:

- a) al rendimento di generazione degli impianti (85%);
- b) ai criteri e ai requisiti tecnici stabiliti dal provvedimento di cui all’articolo 290, comma 4, del D.Lgs. 152/2006, ovvero D.M. 186/2017 e s.m.i;
- c) alla tipologia di biomassa impiegata;
- d) ai laboratori accreditati al rilascio delle attestazioni circa rispetto dei precedenti punti;
- e) alle dichiarazioni dei produttori circa la corrispondenza degli impianti con quelli oggetto delle suddette attestazioni.

Pertanto, in fase di presentazione di un progetto è necessario rispettare quanto indicato nei documenti pubblicati sul sito del GSE *"Interventi di efficienza energetica relativi ad impianti alimentati a biomasse e bioliquidi - chiarimenti operativi"*, *"Procedura per la verifica del rispetto dei limiti di rendimento degli impianti alimentati a biomasse e bioliquidi"* e *"Chiarimenti operativi sui progetti che prevedano l'impiego di fonti rinnovabili per usi non elettrici e sul decreto-legge n. 34/2019 (D.L. Crescita)"*

Nel caso di installazione di **pompe di calore**, ai fini dell'accesso al meccanismo dei certificati bianchi, è necessario rispettare i requisiti minimi prescritti dall'Allegato 2, punto 3 del D.Lgs. 28/2011 e ss.mm.ii. secondo quanto di seguito riportato.

Ambiente			Pompe elettriche		
Esterno	Interno		Ambiente esterno (°C)	Ambiente interno (°C)	COP
Aria	Aria		Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	3,9
	Acqua	Potenza termica utile riscaldamento ≤ 35kW		Temperatura entrata 30 Temperatura uscita: 35	4,1
		Potenza termica utile riscaldamento > 35kW			3,8
Acqua	Aria		Temperatura entrata: 15 Temperatura uscita: 12	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	4,7
	Acqua		Temperatura entrata: 10	Temperatura entrata 30 Temperatura uscita: 35	5,1
Salamoia	Aria		Temperatura entrata: 0	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	4,3
	Acqua			Temperatura entrata 30 Temperatura uscita: 35	4,3

Tabella 6: limiti di COP per pompe di calore elettriche previsti dal D.Lgs. 28/2011

Ambiente		Pompe di calore a gas		
Esterno	Interno	Ambiente esterno (°C)	Ambiente interno (°C)	COP (o GUE)
Aria	Aria	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Bulbo secco all'entrata: 20	1,46
	Acqua		Temperatura entrata 30*	1,38
Acqua	Aria	Temperatura entrata: 10	Bulbo secco all'entrata: 20	1,6
	Acqua		Temperatura entrata 30*	1,56
Salamoia	Aria	Temperatura entrata: 0	Bulbo secco all'entrata: 20	1,59
	Acqua		Temperatura entrata 30*	1,47

(*) Δt : pompe di calore ad assorbimento 30-40°C

Tabella 7: limiti di COP per pompe di calore a gas previsti dal D.Lgs. 28/2011

Sia per le pompe di calore che per gli impianti alimentati a biomasse o bioliquidi, qualora contestualmente all'installazione o sostituzione di una caldaia a biomasse o di una pompa di calore venga effettuata anche la realizzazione ex novo, o una ristrutturazione rilevante dell'edificio servito dagli impianti stessi, è necessario rispettare le quote d'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili imposte dal D.Lgs. 28/2011 e ss.mm.ii.. Pertanto, sarà incentivabile esclusivamente la quota percentuale residuale oltre l'obbligo di legge.

A tal proposito sarà necessario fornire idonea documentazione atta a dimostrare la quota d'obbligo prevista e la quota di energia rinnovabile installata nella situazione ex post.

Si precisa che il D.Lgs. 28/2011 [e ss.mm.ii.](#) definisce le metodologie di determinazione dei rendimenti delle macchine e prescrive al punto 7 del medesimo allegato che il rispetto dei valori di rendimento sia comprovato *“tramite attestazione rilasciata da laboratori accreditati da organismi di accreditamento appartenenti allo European Co-operation for Accreditation (EA), o che abbiano stabilito accordi di mutuo riconoscimento con EA”,* ovvero che siano accreditati alla norma ISO/IEC 17025. Inoltre, *“tale attestazione deve essere accompagnata da dichiarazione del produttore circa la corrispondenza dei prodotti immessi in commercio con quelli oggetto della suddetta attestazione”.* **Pertanto, in fase di presentazione di un progetto, sarà necessario fornire la dichiarazione del produttore della macchina circa il rispetto dei requisiti minimi prestazionali definiti dal D.Lgs. 28/2011 e ss.mm.ii., verificati mediante le metodologie prescritte dal succitato disposto normativo.**

Infine si segnala che, per progetti che prevedano l'impiego di pompe di calore con compressori azionati da motore a combustione interna a gas, ovvero **Gas Engine Heat Pump (GEHP)**, la normativa di riferimento è quella della cogenerazione.

3.2 Generatori di calore

Per i generatori di calore i combustibili impiegati possono essere gassosi (metano, GPL, idrogeno, biogas, biometano, etc.), liquidi (gasolio, BTZ, GPL, bioliquidi, etc.) e solidi (coke, carbone, biomasse, rifiuti biodegradabili, parzialmente biodegradabili o non biodegradabili, etc.), mentre i fluidi termovettori possono essere acqua calda, acqua surriscaldata, vapore, aria o olio diatermico.

Gli interventi di efficienza energetica riguardanti gli impianti di produzione di energia termica possono essere legati a nuove installazioni e sostituzione di impianti o a revamping degli stessi.

In particolare, i progetti di revamping che generano risparmi energetici aggiuntivi sono:

- installazione di economizzatori sulla linea fumi;
- installazione di sistemi di trattamento delle acque: sistemi di addolcimento per generatori di piccole potenza, sistemi ad osmosi inversa per generatori di potenze medio-basse;
- installazione di degasatori pressurizzati;
- installazione di sistemi di controllo.

Con riferimento ai progetti di efficienza energetica presentati nell'ambito del meccanismo, nonché alla letteratura di settore e alle normative di riferimento di seguito sono indicati i valori di rendimento medio annuale (del solo sistema di generazione) delle soluzioni tecnologiche standard ad oggi installabili.

Tali valori, distinti per vettore energetico, prescindono dall'ambito di applicazione degli impianti.

Si precisa che, per sistemi di generazione di energia termica con fluidi termovettori intermedi (tipicamente olio diatermico per la generazione di acqua calda surriscaldata o vapore) il rendimento della soluzione tecnologica standard è determinato rispetto al fluido di interfaccia con l'utenza. Ad esempio, per sistemi di produzione di acqua surriscaldata con utilizzo di olio diatermico come fluido intermedio, il valore di rendimento della soluzione tecnologica standard è pari a 92%. Sarà, invece, pari a 89%, come indicato nella tabella seguente, qualora sia impiegato direttamente olio diatermico nel processo produttivo.

	Fluido termovettore di interfaccia con l'utenza					
	Acqua calda			Aria calda	Vapore, acqua surriscaldata	Olio diatermico
	0-5 MW	5,01-15 MW	>15,01 MW			
Aree metanizzate	95%	92%	91%	91%	92%	89%
Aree non metanizzate	91%	88%				

Tabella 8: Rendimenti medi annuali di riferimento dei generatori di calore a combustione

3.3 Pompe di calore

La pompa di calore è una macchina basata su un ciclo frigorifero in grado di trasferire il calore da una sorgente a bassa temperatura a un pozzo a temperatura maggiore e presenta le stesse caratteristiche tecnologiche descritte nei paragrafi precedenti.

Le pompe di calore, quindi, possono essere a compressione, con azionamento meccanico del compressore mediante motore elettrico (di seguito, pompe di calore elettriche) o mediante un motore a combustione interna, o ad assorbimento. Quest'ultime necessitano di attivazione termica mediante la fiamma diretta di un combustibile oppure del calore recuperato da un sistema di cogenerazione o da un altro processo industriale. Sia per le macchine a compressione, sia per quelle ad assorbimento esistono modelli polivalenti in grado di soddisfare contemporaneamente la richiesta di energia termica e frigorifera, sotto forma di acqua o aria.

Le principali sorgenti termiche delle pompe di calore sono tipicamente l'aria, l'acqua (acque superficiali, di sottosuolo, di processo, di scarico) e il sottosuolo (è previsto l'impiego di sonde geotermiche verticali o orizzontali). Ciò qualifica le pompe di calore rispettivamente come aerotermiche, idrotermiche e geotermiche. Quando è impiegato come sorgente termica il calore prodotto da pannelli solari si parla di pompe di calore elio-assistite.

I fluidi termovettori impiegati sul "lato utenza" delle pompe di calore sono comunemente l'acqua, l'aria o lo stesso fluido refrigerante.

Con riferimento ai progetti di efficienza energetica presentati nell'ambito del meccanismo, nonché alla letteratura di settore, ai dati Eurovent, alle normative di riferimento, di seguito sono indicati i valori di COP e EER (o GUE) (al 100% del carico nominale) delle soluzioni tecnologiche standard ad oggi installabili.

Ambiente		Pompe Elettriche					
Esterno	Interno	Riscaldamento			Raffrescamento		
		Ambiente esterno (°C)	Ambiente interno (°C)	COP	Ambiente (°C)	Ambiente interno (°C)	EER
Aria	Aria	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	3,9**	Bulbo secco all'entrata: 35 Bulbo umido all'entrata: 24	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	3,4**
	Acqua		Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	4,1**		Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	3,8**
Acqua	Aria	Temperatura entrata: 15 Temperatura uscita: 12	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	4,7**	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	4,4**
	Acqua	Temperatura entrata: 10	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	5,7*		Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	5,9*
Salamoia	Aria	Temperatura entrata: 0	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	4,3**		Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	4,4**
	Acqua	Temperatura entrata: 0	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	4,3**		Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	4,4**

*Elaborazione GSE su dati Eurovent

** D. Lgs. 28/2011

Tabella 9: COP_{standard} e EER_{standard} di riferimento per pompe di calore elettriche

4 INDIVIDUAZIONE DELLA SOLUZIONE DI BASELINE ED ALGORITMI

Nelle seguenti tabelle sono indicati gli algoritmi da adottare e la soluzione tecnologica di baseline con cui confrontarsi a seconda della tipologia di intervento che si andrà a realizzare.

Si precisa che, nei casi in cui nelle seguenti tabelle le formule non sono espressamente indicate, l'algoritmo dovrà essere indicato dal soggetto proponente.

Nomenclatura	Definizione
GFC	Gruppo frigo a compressione elettrico condensato ad aria o ad acqua
GFC aria	Gruppo frigo a compressione elettrico condensato ad aria
GFC acqua	Gruppo frigo a compressione elettrico condensato ad acqua
GFC con free cooling integrato	Gruppo frigo a compressione elettrico condensato ad aria o ad acqua con free cooling integrato
GFA	Gruppo frigo ad assorbimento diretto o indiretto
GFA diretto	Gruppo frigo ad assorbimento diretto
GFA indiretto	Gruppo frigo ad assorbimento indiretto
PdCc	Pompa di calore a compressione elettrica con produzione simultanea di energia termica e frigorifera condensata ad aria o ad acqua
PdCc aria	Pompa di calore a compressione elettrica condensata ad aria
PdCc acqua	Pompa di calore ad assorbimento elettrica condensata ad acqua
PdCa	Pompa di calore ad assorbimento diretto o indiretto
GEHP	Gruppo frigo o pompa di calore a compressione gas con motore endotermico
Free cooling	Free cooling diretto o indiretto

Tabella 10: Nomenclatura di riferimento per le Tabella 11 e Tabella 12

ENERGIA FRIGORIFERA		
Sostituzione		
Situazione ex ante	Situazione ex post	Formula
GFC	GFC	1
GFC	GFA diretto	2
	GFA indiretto	3
GFC	Free cooling diretto adiabatico	4
GFC	Free cooling indiretto ad acqua di falda	4
GFA	GFA	-
GFC	Altri sistemi di free cooling	4
Qualsiasi soluzione tecnologica	GFC con free cooling integrato*	--
Nuova installazione		
Soluzione tecnologica di baseline	Situazione ex post	Formula
GFC aria standard	GFC aria	1
GFC acqua standard	GFC acqua	1
GFC	GFA diretto	2
GFC	GFA indiretto	3
GFC	Altri sistemi di free cooling	4
GFC	GFC con free cooling integrato*	-
GFC	Free cooling diretto adiabatico	4
GFC	Free cooling indiretto ad acqua di falda	4

*Per la rendicontazione dei risparmi è necessario determinare la quota di energia frigorifera prodotta dalla sezione free cooling rispetto a quella prodotta dal circuito frigorifero, in quanto il progetto di efficienza energetica relativo all'installazione di un GFC con free cooling integrato è costituito da due tipologie di intervento caratterizzate da differenti vite utili. Pertanto, per interventi effettuati ad esempio nel settore industriale, si avrà "Gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere, ivi compresi gli impianti di surgelazione e refrigerazione" e "Altri sistemi di free cooling".

Tabella 11: Individuazione della soluzione tecnologica di baseline ed algoritmi per la produzione di energia frigorifera

ENERGIA TERMICA		
Sostituzione		
Situazione ex ante	Situazione ex post	Formula
Caldaia olio diatermico	Caldaia vapore	5
Caldaia vapore		5
Caldaia vapore	Caldaia acqua	5
Generatore aria		5
Caldaia acqua		5
Caldaia olio diatermico		5
Generatore aria	Generatore aria	5
Caldaia	PdCc	6
	PdCa	7
PdCc	PdCc	8
	PdCa	--
PdCa	PdCa	--
Nuova installazione		
Soluzione tecnologica di baseline	Situazione ex post	Formula
Caldaia vapore standard	Caldaia vapore	5
Caldaia acqua standard	Caldaia acqua	5
Caldaia olio diatermico standard	Caldaia olio diatermico	5
Generatore aria standard	Generatore aria	5
Caldaia standard	PdCc aria	6
PdCc aria standard*		8
Caldaia standard	PdCc acqua	6
PdCc acqua standard*		8
Caldaia standard	PdCa	7

(*) per applicazioni a bassa temperatura, ovvero per applicazioni in cui la temperatura media di progetto al condensatore è inferiore a 40°C

Tabella 12: Individuazione della soluzione tecnologica di baseline ed algoritmi per la produzione di energia termica

Sistema tecnologico assunto come punto di riferimento	Intervento secondo la tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.	Formula
impianti di produzione di energia termica (settore industriale)	economizzatori sulla linea impianti di produzione di energia termica	5
	addolcitori e impianti a osmosi inversa rispettivamente per impianti termici con potenza al focolare inferiore a 100 kWt e a 2000 kWt	5
	Installazione di componenti per il recupero di calore, qualora non tecnicamente possibile nella situazione ex ante, anche a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	--
	altri sistemi di recupero del calore	--
impianti di produzione di energia frigorifera (settore industriale)	Installazione di componenti per il recupero di calore, qualora non tecnicamente possibile nella situazione ex ante, anche a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	--
	altri sistemi di recupero del calore	--
impianti a vapore (settore industriale)	degasatori pressurizzati per impianti a vapore con pressioni inferiori 10 bar e potenza al focolare inferiore 5000 kW	4
impianti di produzione di energia termica (settore reti, servizi e trasporti)	componenti per il recupero di calore a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	--
impianti di produzione di energia termica (settore civile (residenziale, terziario) e agricolo)	installazione di economizzatori sulla linea fumi di impianti di produzione di energia termica	4
impianti di produzione di energia termica (qualunque settore)	misure comportamentali: adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti	--

Tabella 13: formula da adottare per il calcolo dei risparmi per gli interventi di cui Tabella 5

Produzione di energia frigorifera

Per le installazioni riferite alla Tabella 11 e Tabella 13, gli algoritmi per il calcolo dei risparmi sono i seguenti:

Formula	Algoritmo
1	$RISP = \left(\frac{1}{EER_{baseline}} - \frac{1}{EER_{expost}} \right) \times E_{frigo} \times f_e$
2	$RISP = \frac{1}{EER_{baseline}} \times E_{frigo} \times f_e - E_{th} \times f_t - E_{aux} \times f_e$
3	$RISP = \frac{1}{EER_{baseline}} \times E_{frigo} \times f_t - E_{aux} \times f_e$
4	$RISP = \frac{1}{EER_{baseline}} \times E_{frigo} - E_{el, free cooling} \times f_e$

Tabella 14: Algoritmi di calcolo dei risparmi per la produzione di energia frigorifera

dove:

- $EER_{baseline}$ è stato definito nei precedenti paragrafi;
- EER_{expost} = valore orario misurato nelle condizioni ex post, pari a:

$$EER_{expost} = \frac{E_{frigo}}{E_{elettrica}}$$

con

- E_{frigo} = energia frigorifera ceduta all'utenza [MWh];
- $E_{elettrica}$ = energia assorbita dal solo compressore [MWh];
- E_{th} = valore orario misurato dell'energia termica associata al combustibile utilizzato [MWh];
- E_{aux} = autoconsumi elettrici [MWh];
- $E_{el, free cooling}$ = consumi elettrici del sistema di free cooling [MWh];
- f_e = fattore di conversione pari a 0,187 tep/MWh, in caso di prelievo di energia elettrica dalla rete elettrica nazionale;
- f_t = fattore di conversione pari a 0,086 tep/MWh_t.

Si precisa che, nel caso di sostituzione di impianti condensati ad aria con impianti condensati ad acqua, sarà necessario considerare il maggiore consumo elettrico legato ai sistemi ausiliari di questi ultimi.

Produzione di energia termica

Per le installazioni riferite alla Tabella 12 e Tabella 13, gli algoritmi per il calcolo dei risparmi sono i seguenti:

Formula	Algoritmo
5	$RISP = \left(\frac{1}{\eta_{baseline}} - \frac{1}{\eta_{expost}} \right) \times E_{termica} \times f_t$
6	$RISP = \frac{E_{termica}}{\eta_{baseline}} \times f_t - E_{e_PdCc} \times f_e$
7	$RISP = \frac{E_{termica}}{\eta_{baseline}} \times f_t - E_{t_PdCa} \times f_t$
8	$RISP = \left(\frac{1}{COP_{baseline}} - \frac{1}{COP_{expost}} \right) \times E_{termica} \times f_e$

Tabella 15: Algoritmi di calcolo dei risparmi per la produzione di energia termica

dove:

- $\eta_{baseline}$ è il valore di cui alla

	Fluido termovettore di interfaccia con l'utenza					
	Acqua calda			Aria calda	Vapore, acqua surriscaldata	Olio diatermico
	0-5 MW	5,01-15 MW	>15,01 MW			
Aree metanizzate	95%	92%	91%	91%	92%	89%
Aree non metanizzate	91%	88%				

- Tabella 8 in caso di nuove installazioni, mentre è pari a rendimento della situazione ex ante in caso di sostituzione della caldaia;
- η_{expost} = valore misurato nelle condizioni ex post, pari a:

$$\eta_{expost} = \frac{E_{termica}}{E_{comb}}$$

con

- $E_{termica}$ = energia termica netta ceduta all'utenza [MWh];
- E_{comb} = energia termica in ingresso al sistema di generazione del calore [MWh];
- E_{e_PdCc} = energia elettrica assorbita dalla pompa di calore a compressione elettrica [MWh];
- E_{t_PdCa} = energia termica primaria (del combustibile) assorbita dalla pompa di calore ad assorbimento diretto [MWh];
- COP della pompa di calore della situazione ex ante;
- COP_{expost} = valore orario misurato nelle condizioni ex post, pari a:

$$COP_{expost} = \frac{E_{termica}}{E_{elettrica}}$$

con

- $E_{termica}$ = energia termica netta ceduta all'utenza [MWh];
- $E_{elettrica}$ = energia assorbita dal solo compressore [MWh];
- f_t = fattore di conversione pari a 0,086 tep/MWh_t;
- f_e = fattore di conversione pari a 0,187 tep/MWh_e, in caso di prelievo di energia elettrica dalla rete elettrica nazionale.

Nel caso di variazione del combustibile di alimentazione o del fluido di processo (ad es. sostituzione di impianti alimentati con combustibili gassosi o liquidi con impianti a biomasse, sostituzione di impianti condensati ad aria con impianti condensati ad acqua, etc.), sarà necessario considerare nel calcolo dei risparmi l'eventuale variazione dei consumi elettrici tra la configurazione ante e post legati agli ausiliari degli impianti oggetto di intervento.

5 METODOLOGIA ADOTTATA PER LA PRESENTE GUIDA

Rispetto ai **gruppi frigo a compressione elettrici**, i valori di EER di riferimento (riferiti alla sola fase di compressione, senza quindi considerare i consumi degli ausiliari) riportati in Tabella 3 sono gli stessi di quelli indicati dal D.Lgs. 28/2011, ad eccezione di quelli aria-acqua e acqua-acqua, ottenuti a partire dai dati presenti sul sito Eurovent. In particolare, l'analisi è stata effettuata individuando, per diverse fasce di potenza e classi energetiche, la numerosità di gruppi frigo presenti nel database Eurovent. Per ogni fascia di potenza è stato individuato un campione di apparecchi di riferimento, **il cui perimetro è stato ottenuto sommando ciascun valore percentuale di presenza sul mercato degli apparecchi a partire dalla classe energetica più elevata fino al raggiungimento della classe energetica mediante la quale si è ottenuto un valore cumulato di presenza sul mercato pari al 75% del totale degli apparecchi presenti nel database Eurovent**. Il valore di EER è stato calcolato come media pesata tra la numerosità dei prodotti e l'EER relativo alla classe energetica corrispondente.

La formula per il calcolo dei risparmi dei gruppi frigo a compressione è stata definita a partire da quanto indicato nella scheda tecnica 35E del D.M. 28 dicembre 2012, considerando come variabili che influenzano i consumi energetici le temperature delle sorgenti e la percentuale di carico. In particolare, è stato introdotto un coefficiente correttivo " K_{carico} " che permette di definire il valore dell'EER di baseline per il calcolo dei risparmi. La funzione di correlazione è quella rappresentata nel grafico in Figura 2 ed è stata ottenuta analizzando diverse schede tecniche di gruppi frigo e individuando un andamento medio dell'EER ai carichi parziali fino ad un fattore di carico del 25%. Per fattori di carico inferiori al 25% si è fatto riferimento ai valori della UNI TS 11300 parte 3.

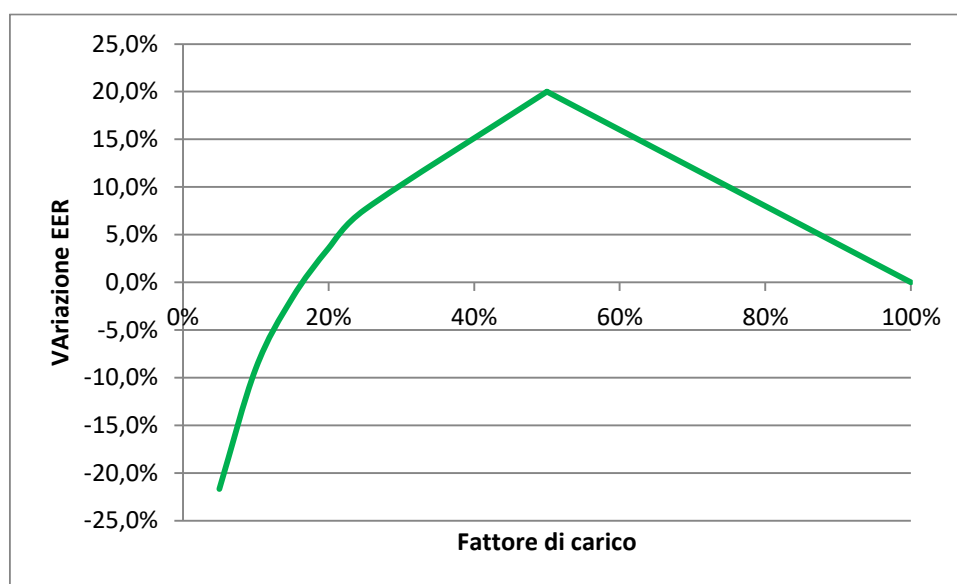


Figura 2: Variazione percentuale del EER in funzione del fattore di carico

I dati disponibili hanno portato all'individuazione di un andamento lineare dell'EER per fattori di carico compresi tra il 100% e il 50%. Tale andamento, invece, risulta logaritmico per fattori di carico compresi tra il 50% e il 5%. I dati di riferimento sono riportati in Tabella 16.

Si precisa che l'analisi non ha preso in considerazione i sistemi ad espansione diretta con fluido refrigerante ammoniacale (R717) e anidride carbonica (R744).

Fattore di carico	Variazione EER
100%	0,0%
75%	10,0%
50%	20,0%
25%	7,6%
20%	3,6%
15%	-1,7%
10%	-9,1%
5%	-21,7%

Tabella 16: Variazione del EER in funzione del fattore di carico

Rispetto ai **gruppi frigo ad assorbimento**, visto che la soluzione di riferimento in caso di nuova installazione è costituita da un gruppo frigo a compressione elettrica, non è stata effettuata l'analisi per l'individuazione del EER di riferimento.

Rispetto ai **generatori di calore a combustione**, i rendimenti medi annuali di riferimento riportati in

	Fluido termovettore di interfaccia con l'utenza					
	Acqua calda			Aria calda	Vapore, acqua surriscaldata	Olio diatermico
	0-5 MW	5,01-15 MW	>15,01 MW			
Aree metanizzate	95%	92%	91%	91%	92%	89%
Aree non metanizzate	91%	88%				

Tabella 8 sono stati ottenuti come di seguito:

- *aria calda*, valore medio dei rendimenti ricavati dall'analisi dei prodotti attualmente disponibili in commercio;
- *vapore e acqua surriscaldata*, valore ritenuto indicativo sulla base dei rendimenti ex ante indicati dagli operatori nei vari progetti a consuntivo presentati al GSE;
- *olio diatermico*, valore medio dei rendimenti ricavati dall'analisi dei prodotti attualmente disponibili in commercio.

Nel caso di acqua calda come fluido termovettore è stata effettuata una suddivisione per fasce di potenza e per aree di installazione (metanizzate e non metanizzate). In particolare, si sono considerati i valori riportati nel D.M. 26 giugno 2015 e nel Regolamento 2015/2402 per fasce di potenza inferiori a 5 MW (potenza termica nominale), nonché i dati emersi dall'analisi del "Annuario 2016 – Il riscaldamento urbano, AIRU" per le fasce di potenza superiori. Nello specifico, per l'individuazione dei valori di rendimento per le aree metanizzate, si sono considerati i valori riferiti alle caldaie a gas, mentre per le aree non metanizzate sono stati considerati i valori di rendimento delle caldaie a biomassa (al netto di quelle con rendimento inferiore all'85%) e a gasolio. I dati sono stati infine confrontati con quelli presenti nel database del GSE.

Si precisa che i rendimenti indicati in

	Fluido termovettore di interfaccia con l'utenza					
	Acqua calda			Aria calda	Vapore, acqua surriscaldata	Olio diatermico
	0-5 MW	5,01-15 MW	>15,01 MW			
Aree metanizzate	95%	92%	91%	91%	92%	89%
Aree non metanizzate	91%	88%				

Tabella 8 sono stati calcolati con riferimento ai seguenti PCI: 8.250 kcal/Sm³ per il gas naturale, 10.200 kcal/kg per il gasolio, 9.800 kcal/kg per il BTZ e 11.000 kcal/kg per il GPL.

Rispetto alle **pompe di calore elettriche**, l'approccio adottato per la definizione del COP e dell'EER di riferimento (Tabella 9), nonché dell'algoritmo di calcolo dei risparmi, è il medesimo di quello adottato per i gruppi frigo a compressione. Anche in questo caso è stato possibile individuare una certa correlazione tra il fattore di carico e il valore del COP di una pompa di calore. Tuttavia, dal momento che è risultato che il COP fosse costante per fattori di carico tra il 50% e 100%, in un'ottica di semplificazione del programma di misura, non si ritiene necessario applicare un fattore correttivo all'algoritmo in quanto la variazione al di sotto del 50% del carico risulta poco significativa.

Rispetto alle **pompe di calore ad assorbimento**, visto che la soluzione di riferimento, in caso di nuova installazione, è costituita da una caldaia, non è stata effettuata l'analisi per l'individuazione dei COP di riferimento.

Per progetti che prevedano l'impiego di pompe di calore con compressori azionati da motore a combustione interna a gas, ovvero **Gas Engine Heat Pump** (GEHP), la normativa di riferimento è quella della cogenerazione.

6 BIBLIOGRAFIA

- Annuario 2016 – Il riscaldamento urbano, AIRU;
- D.M. 26 giugno 2015, Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici;
- REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2015/2402 DELLA COMMISSIONE del 12 ottobre 2015 che rivede i valori di rendimento di riferimento armonizzati per la produzione separata di energia elettrica e di calore in applicazione della direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio e che abroga la decisione di esecuzione 2011/877/UE della Commissione;
- Regolamento UE n. 813/2013, Recante modalità di applicazione della direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio in merito alle specifiche per la progettazione ecocompatibile degli apparecchi per il riscaldamento d’ambiente e degli apparecchi di riscaldamento misti;
- Monografia “La pompa di calore per un comfort sostenibile”, RSE, 2013, www.rse-web.it;
- UNI/TS 11300-4:2012;
- D.Lgs. 3 marzo 2011 , n. 28, Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE;
- Definizione di una metodologia per l’audit energetico negli edifici ad uso residenziale e terziario, RSE, Report RdS/2011/143;
- UNI/TS 11300-3:2010;
- D.M. 6 agosto 2009, Disposizioni in materia di detrazioni per le spese di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, ai sensi dell'articolo 1, comma 349, della legge 27 dicembre 2006, n. 296;
- D.M. 20 luglio 2004, Nuova individuazione degli obiettivi quantitativi per l'incremento dell'efficienza energetica negli usi finali ai sensi dell'art. 9, comma 1, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79;
- D.P.R. 15-11-1996 n. 660, Regolamento per l'attuazione della direttiva 92/42/CEE concernente i requisiti di rendimento delle nuove caldaie ad acqua calda, alimentate con combustibili liquidi o gassosi.