

M4 – studio di fattibilità relativo all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili o alternative

INDICE

1	PREMESSA ED OBIETTIVI DELLO STUDIO DI FATTIBILITÀ.....	1
2	RICOSTRUZIONE DEI FABBISOGNI ENERGETICI	4
2.1	CENTRO RESIDENZIALE	4
2.1.1	Acqua calda sanitaria	4
2.1.2	Contributo solare termico.....	5
2.1.3	Riscaldamento invernale.....	6
2.1.4	Fabbisogno termico totale.....	7
2.1.5	Condizionamento estivo.....	8
2.1.6	Fabbisogno elettrico delle unità abitative.....	8
2.1.7	Fabbisogno elettrico delle aree comuni.....	9
2.1.8	Fabbisogno elettrico complessivo	9
2.1.9	Contributo fotovoltaico	9
2.2	CENTRO COMMERCIALE	10
2.2.1	Acqua calda sanitaria	10
2.2.2	Contributo solare termico.....	10
2.2.3	Riscaldamento invernale.....	10
2.2.4	Fabbisogno termico totale.....	10
2.2.5	Condizionamento estivo.....	11
2.2.6	Fabbisogno elettrico dell'area di vendita.....	11
2.2.7	Fabbisogno elettrico dell'area esterna.....	12
2.2.8	Fabbisogno elettrico complessivo	12
2.2.9	Contributo fotovoltaico	12
3	IMPIANTO PER LA GENERAZIONE DI ENERGIA.....	13
3.1	COMPONENTI DI IMPIANTO	13
3.1.1	Le microturbine a gas	13
3.1.2	I motori a combustione interna alternativi (MCI).....	14
3.1.3	Caldai.....	15
3.1.4	Gruppi frigoriferi a compressione.....	16
3.1.5	Gruppi frigoriferi ad assorbimento.....	16
3.2	LA CENTRALE DI PRODUZIONE.....	17
4	ANALISI COMPARATIVA.....	21
4.1	VANTAGGI NORMATIVI DELLA COGENERAZIONE.....	21
4.2	CONFRONTO ENERGETICO-ECONOMICO	23
5	ANALISI AMBIENTALE	25
6	CONCLUSIONI	25



1 Premessa ed Obiettivi dello Studio di fattibilità

La presente relazione ha come oggetto lo studio di fattibilità di un sistema energetico trigenerativo per la produzione di energia elettrica, termica e frigorifera a combustibile fossile, integrato anche con sistemi di sfruttamento di fonti rinnovabili.

Il sistema in studio sarà al servizio di un nuovo intervento POC nel Comune di Maranello (Mo) che si estende **XXX** con una superficie fondiaria complessiva pari a **XXX**.

Come riportato nella planimetria allegata nell'area di intervento sono individuate n. 2 tipologie d'ambito:

- un ambito destinato ad attività produttive nel quale si prevede l'insediamento di un nuovo supermercato COOP con superficie di riferimento di 1.500 mq circa evidenziato nella planimetria con colore rosa più scuro; il resto dell'area commerciale è composto da corselli e parcheggi del supermercato. I parcheggi pubblici delle fasce residenziali sono posti nelle zone di mitigazione lungo le strade.
- Un ambito destinato ad insediamento residenziale in cui si prevedono circa 180 unità abitative con una superficie utile di circa 80 mq ciascuna. I fabbricati potranno essere di vario tipo: dalle abitazioni a maisonette alle palazzine di n. 2 o 3 piani fuori terra.

Il presente studio di Fattibilità Energetica è in ottemperanza all'art. 85, commi 1, 2, 3 del P.T.C.P. della Provincia di Modena nel quale con maggior evidenza è prescritto che:

comma 2) *“In sede di P.U.A. o di P.O.C., comportanti interventi di nuova urbanizzazione o di riqualificazione con una superficie utile complessiva superiore ai 1.000 mq dovrà essere valutata ai sensi della L.R. 26/2004, art. 5, comma 4, la fattibilità tecnico-economica dell'applicazione di impianti di produzione di energia basati sulla valorizzazione delle fonti rinnovabili, impianti di cogenerazione/trigenerazione, pompe di calore, sistemi centralizzati di riscaldamento e raffrescamento. ...”*

comma 3) *“I Piani Urbanistici Attuativi o i P.O.C., qualora ne assumano i contenuti, devono prevedere nel caso di interventi di nuova urbanizzazione o di riqualificazione con una superficie utile complessiva superiore ai 10.000 mq il teleriscaldamento con cogenerazione/trigenerazione come opzione prioritaria. ...”*

L'attività del presente studio di fattibilità energetica è stata articolata nelle fasi operative sotto riportate che rappresentano anche i capitoli della presente relazione.

1. Ricostruzione dei fabbisogni energetici:

in tale capitolo sono riportate le modalità adottate per stimare i fabbisogni elettrici, termici e frigoriferi del complesso residenziale e dell'area di vendita, valutati con particolare attenzione alle condizioni climatiche del sito in esame, alle curve di richiesta delle utenze presenti, nonché in funzione della stagione di riferimento per definire un profilo di carico in funzione della stagione.

L'andamento prenderà in considerazione l'apporto energetico dato da sistemi di produzione elettrica e termica ad energia rinnovabile (solare termico e fotovoltaico) come previsto dai regolamenti vigenti (D.Lgs. 311/2006, e ss mm; Delibera della Giunta Regionale n. 156/2008 - *Atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici*).

2. Impianto per la generazione di energia:

nel presente capitolo vengono presentate le soluzioni trigenerative ritenute più adatte al caso in oggetto, tenuto conto, oltre che delle richieste energetiche, delle tecnologie cogenerative disponibili nel mercato e dello scenario legislativo e normativo di riferimento.



3. Analisi comparativa:

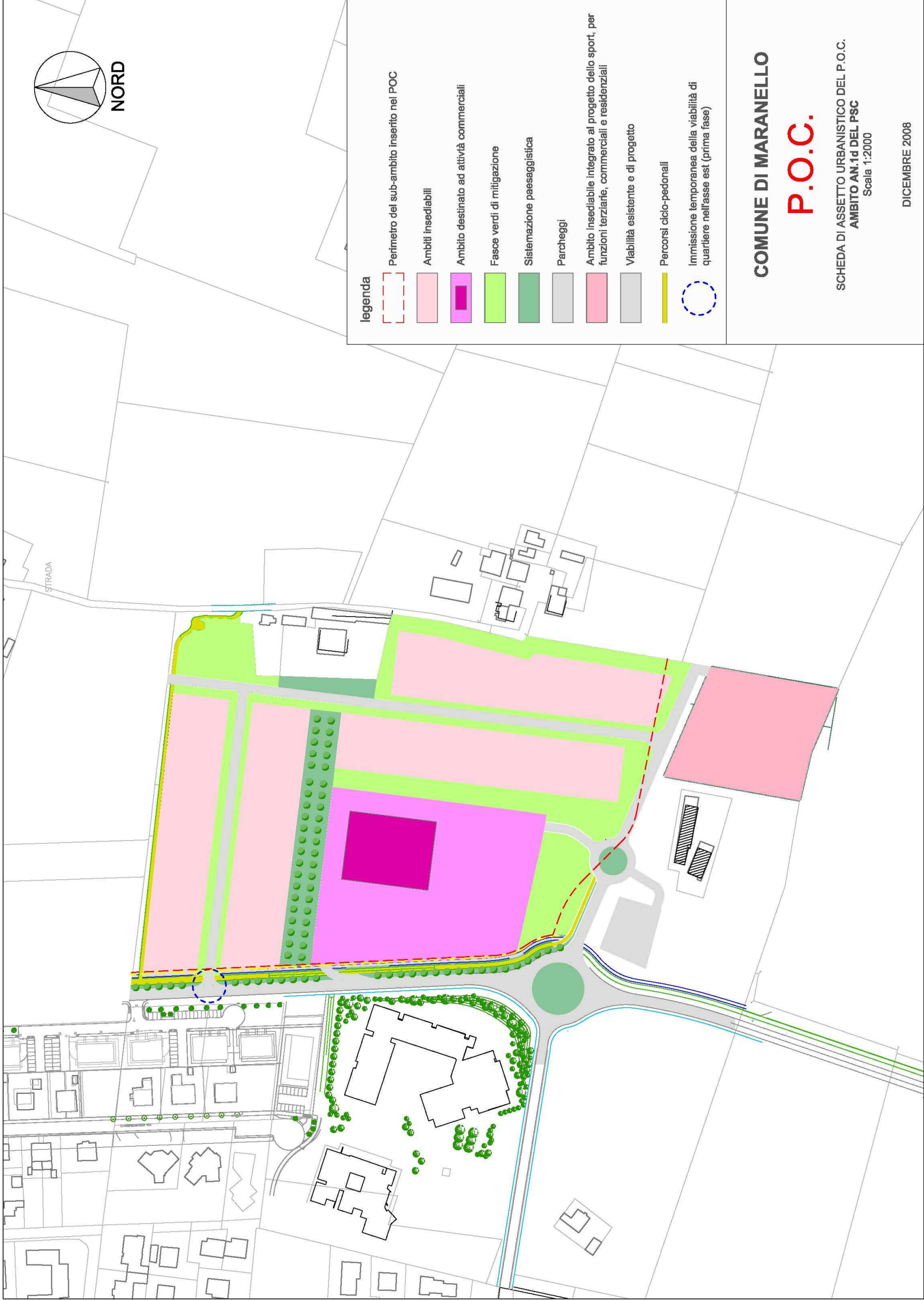
viene presentato il confronto energetico ed economico tra la soluzioni trigenerativa proposto ed il caso di assenza di cogenerazione, confronto volto ad individuare la configurazione più vantaggiosa.

Per cogenerazione di energia si intende la generazione di energia elettrica ed energia termica nella stesso processo di generazione: si recupera il calore a valle del processo di produzione di energia elettrica.

Un particolare campo di sistema di cogenerazione è quello della trigenerazione che, oltre a produrre energia elettrica , consente di utilizzare l'energia termica recuperata dalla trasformazione anche per produrre energia frigorifera, ovvero acqua refrigerata per il condizionamento o per processi industriali

4. Analisi ambientale:

in questa ultima fase viene presentato il risparmio ambientale, in termini di emissioni, dell'impiego dell'assetto trigenerativo rispetto al caso di soddisfacimento delle richieste energetiche con metodi convenzionali (assenza di cogenerazione).





2 Ricostruzione dei fabbisogni energetici

Al fine della stima dei fabbisogni energetici, occorre ricostruire le curve di carico rappresentative della richiesta di potenza elettrica, termica e frigorifera del complesso commerciale e residenziale in oggetto. Per svolgere tale valutazione si è proceduto facendo riferimento a tre “giorni tipo”, differenziati sulle stagioni (inverno, estate e mezza stagione), considerando le seguenti tipologie di fabbisogni energetici:

- acqua calda sanitaria;
- riscaldamento;
- raffrescamento;
- elettricità.

Più in dettaglio, sono stati creati dei profili orari giornalieri di richiesta elettrica, termica e frigorifera per ognuna delle stagioni considerate; tali profili, ovvero “giorni tipo”, assunti costanti per tutta la stagione considerata, hanno permesso la stima dei fabbisogni energetici di tutto il complesso residenziale. È infatti evidente come tali fabbisogni energetici siano influenzati, sia quantitativamente che qualitativamente, dalla stagione dell’anno considerata.

La Tabella 1 riassume le tipologie di fabbisogno considerate in funzione del periodo dell’anno in questione; dalla tabella si osserva che il giorno tipo invernale è caratterizzato da una richiesta di potenza elettrica e da una termica sotto forma di acqua calda sanitaria e riscaldamento degli ambienti; il giorno tipo estivo è invece caratterizzato da una richiesta di potenza elettrica (che si differenzia dalla precedente), di potenza termica (costituita solo dal fabbisogno di acqua calda sanitaria) e inoltre di potenza frigorifera per il condizionamento delle unità abitative; infine, il giorno tipo di mezza stagione è costituito esclusivamente da una richiesta di potenza elettrica (ancora una volta diversa dalle precedenti) e da una di potenza termica rappresentata dal solo fabbisogno di acqua sanitaria.

Tabella 1 - Schema riassuntivo delle tipologie di fabbisogno energetico in funzione del periodo dell’anno.

Stagione	Periodo	Durata	Tipologia di fabbisogno
Inverno	dal 1 gennaio al 15 aprile e dal 15 ottobre al 31 dicembre	183 giorni (circa 26 settimane) = 4.392 ore	- elettricità (consumo invernale) - acqua calda sanitaria - riscaldamento invernale
Mezza stagione	dal 16 aprile al 15 giugno e dal 15 settembre al 14 ottobre	91 giorni (circa 13 settimane) = 2.184 ore	- elettricità (consumo ½ stagione) - acqua calda sanitaria
Estate	dal 16 giugno al 14 settembre	91 giorni (circa 13 settimane) = 2.184 ore	- elettricità (consumo estate) - acqua calda sanitaria - condizionamento estivo

2.1 Centro residenziale

2.1.1 ACQUA CALDA SANITARIA

Il fabbisogno di acqua calda sanitaria per l’intero complesso residenziale è stato assunto secondo quanto riportato in Figura 1 che presenta tale richiesta, in termini di kW richiesti, in funzione delle ore del giorno; come già esposto nel precedente paragrafo tale fabbisogno non è, in prima analisi, influenzato dalla stagione dell’anno.

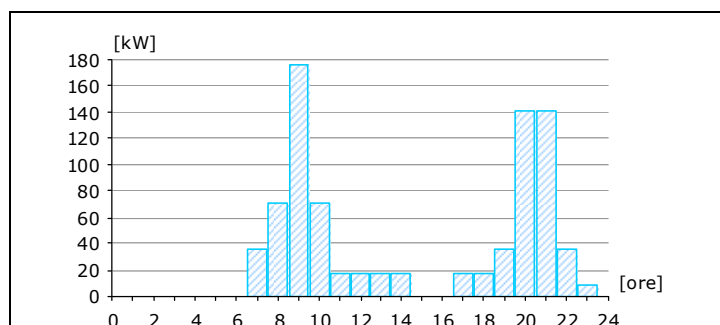


Figura 1 - Andamento giornaliero del fabbisogno di ACS per il complesso residenziale in termini di potenza termica necessaria.

Gli andamenti in figura stimano una richiesta, per tutto il complesso residenziale pari a circa di 950 kWh/dì corrispondenti a circa 30.000 kg/dì (30 mc/dì).

La richiesta annuale di acqua calda sanitaria per tutto il complesso è quindi pari a circa 130'380 kWh.

2.1.2 CONTRIBUTO SOLARE TERMICO

Secondo quanto riportato dal D.Lgs. 311/2006, All. I, art. 12, e quanto ribadito nella Delibera della Giunta Regionale n. 156/2008, "... l'impianto di produzione di energia termica deve essere progettato e realizzato in modo da coprire almeno il 50% del fabbisogno annuo di energia primaria richiesta per la produzione di ACS con l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili. ...".

Ipotizzando di impiegare pannelli solari termici, la cui produttività è funzione del periodo dell'anno, si ottiene che il fabbisogno di acqua calda sanitaria da produrre diventa inevitabilmente influenzato dalla stagione.

Alla luce di quanto sopra esposto è possibile stimare le richieste termiche per il giorno tipo invernale, estivo e di mezza stagione dalla Figura 2 la quale mostra il fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria del complesso residenziale.

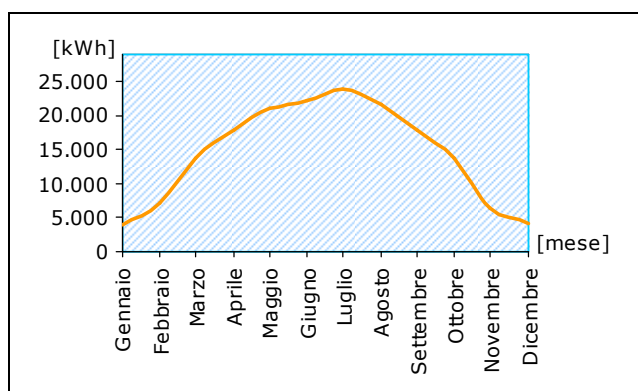


Figura 2 - Andamento mensile del fabbisogno di ACS per il complesso residenziale in termini di potenza termica richiesta e l'andamento della minima produzione da solare termico.

La Tabella 2 riassume i fabbisogni energetici stagionali di acqua calda sanitaria evidenziando la quota parte coperta dai pannelli solari termici e la restante parte ancora da produrre con sistemi tradizionali.

Tabella 2 - Fabbisogno stagionale di ACS del residenziale, e quota parte producibile mediante pannelli solari termici.

	Fabbisogno [kWh]	Quota parte prodotta dal solare termico [kWh]	Quota parte ancora da produrre [kWh]
Inverno	173.526	51.245	122.282
Mezza stagione	86.763	56.846	29.917
Estate	86.763	65.861	20.903
Totale	347.052	173.951	173.101

2.1.3 RISCALDAMENTO INVERNALE

Per ricostruire il fabbisogno di energia termica finalizzata al riscaldamento degli ambienti residenziali si è fatto riferimento ai D.Lgs. 192/05, come modificato dal D.Lgs. 311/06 e ss mm. Sulla base di tali documenti è possibile collocare il comune di Maranello nella Zona Climatica E che prevede un periodo di accensione degli impianti di riscaldamento dal 15 ottobre al 15 aprile per 14 ore giornaliere. Il limite superiore sulle ore giornaliere di riscaldamento consentite decade nell'ipotesi di impiegare un impianto cogenerativo, come nel caso in esame.

Sulla base dei Gradi Giorno GG previsti per il comune di Modena e calcolando il grado di compattezza di delle palazzine previste per il complesso residenziale in esame (ovvero il rapporto tra la superficie disperdente S ed il volume V riscaldato) è possibile stimare un fabbisogno specifico EP, espresso in kWh/mq all'anno, pari a 50 kWh/mq (Classe energetica B - norma UNI EN 15217).

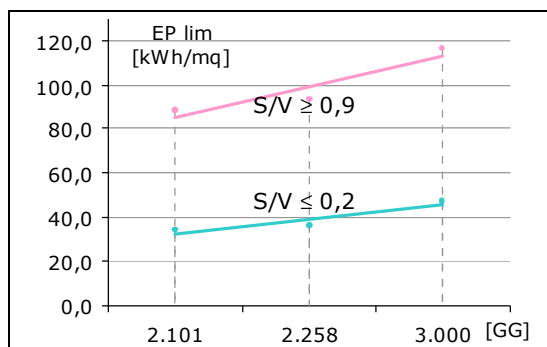


Figura 3 - Valori limite per il riscaldamento invernale EP secondo il D.Lgs. 311/06 e ss mm nel caso del comune di Maranello (Mo), in funzione dei GG e del rapporto S/V.

Per quanto appena detto, è possibile ricostruire un profilo giornaliero di richiesta di potenza termica per riscaldamento tale da rispettare i massimi consumi energetici consentiti dalle norme in questione.

La Figura 4 rappresenta il profilo di carico, in termini di potenza termica fornita a tutto il complesso residenziale, in funzione delle ore/giorno del periodo invernale. Come già detto, il profilo di richiesta

termica elaborato può non rispettare il limite massimo delle 14 ore al giorno essendo previsto l'impiego di un impianto cogenerativo.

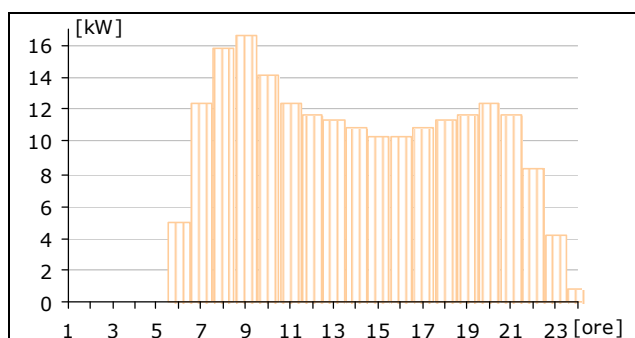


Figura 4 - Andamento giornaliero della potenza termica necessaria per il riscaldamento del complesso residenziale.

2.1.4 FABBISOGNO TERMICO TOTALE

Il fabbisogno termico totale è dato dalla somma del calore necessario alla produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento (quando presente).

Nella figura che segue si riporta l'andamento del fabbisogno termico totale ($Th_{\text{richiesto}}$) ottenuto sottraendo alla somma della richiesta per il riscaldamento (Risc) e l'acqua calda sanitaria (ACS), il contributo solare ($Solare_T$) prodotto mediante pannelli solari termici.

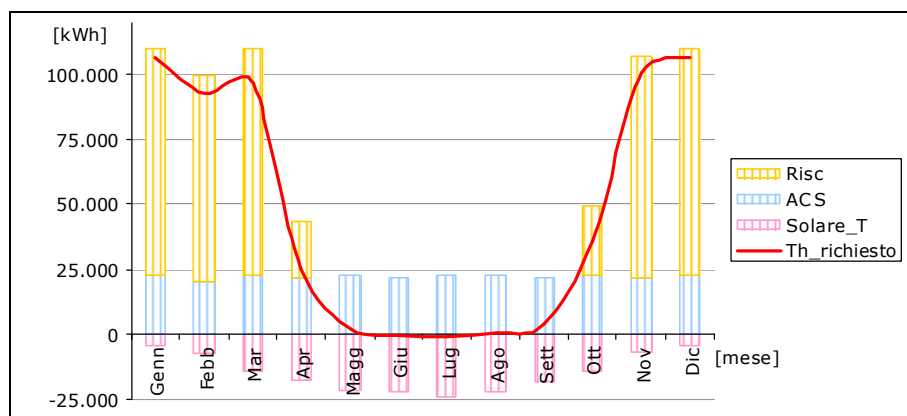


Figura 5 - Andamento del fabbisogno termico annuo richiesto dal centro residenziale.

Dagli andamenti nella Figura 5 appare evidente che la richiesta di potenza termica, nonché di energia, è preponderante durante il periodo invernale; durante tale stagione, infatti, si assiste alla contemporanea richiesta di potenza per riscaldamento e per acqua calda sanitaria e la produttività dei pannelli solari termici è invece minima.

La Tabella 3 riassume le energie richieste rispettivamente per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria e prodotte dai pannelli solari termici nel giorno tipo invernale, estivo e di mezza stagione e complessivamente nella stagione stessa.



Tabella 3 – Energia termica totale richiesta nel giorno tipo invernale, estivo e di mezza stagione e complessiva nell'anno per il complesso residenziale.

	Riscaldamento [kWh/y]	ACS [kWh/y]	Solare Termico [kWh/y]
Inverno	450.639	173.526	- 51.245
Mezza stagione	24.149	86.763	- 56.846
Estate	0	86.763	- 65.861
Totale	474.787	347.052	- 173.951

2.1.5 CONDIZIONAMENTO ESTIVO

La ricostruzione del fabbisogno frigorifero nel caso civile è un'operazione estremamente complessa e affetta da un notevole grado di aleatorietà. Tale incertezza è dovuta soprattutto al gradiente individuale di fruizione del servizio, che tra l'altro nella valutazione corrente non è ancora considerato indispensabile.

Tenendo conto della premessa appena fatta, si è considerato che ogni appartamento provveda al raffrescamento estivo mediante split, ipotizzando la presenza di condizionamento del 30% delle abitazioni con un impegno medio di 1 kW elettrico per unità; pertanto tale valore è stato sommato al fabbisogno elettrico riportato nel Cap. 2.1.6 successivo.

2.1.6 FABBISOGNO ELETTRICO DELLE UNITÀ ABITATIVE

Il fabbisogno elettrico delle abitazioni del complesso residenziale è stato differenziato nei consumi e negli andamenti in funzione delle diverse stagioni; nella figura di seguito è riportata la potenza oraria di un giorno tipo invernale, di mezza stagione ed estivo.

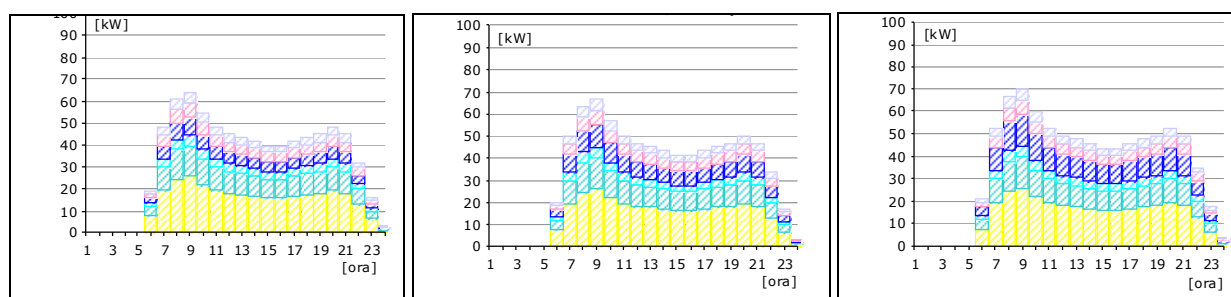


Figura 6 - Andamento della potenza elettrica necessaria per ogni unità abitativa, partendo da sinistra, nel giorno tipo invernale, mezza stagione ed estivo suddivise per lavastoviglie, lavatrice, frigorifero, pc, audio/video, illuminazione e condizionamento estivo.

L'andamento in Figura 6 mostra che le massime richieste di potenza elettrica si presentano durante il periodo estivo, quindi nella mezza stagione ed infine in inverno; tale differenza è da imputarsi soprattutto al consumo delle apparecchiature frigorifere e gli impianti di condizionamento che sono infatti molto sensibili al variare delle condizioni climatiche ed aumentano sensibilmente il consumo di energia in modo proporzionale al crescere della temperatura dell'ambiente.



2.1.7 FABBISOGNO ELETTRICO DELLE AREE COMUNI

Per quanto riguarda le aree comuni si è tenuto conto di tutte le voci che concorrono a costruire il fabbisogno di elettricità di un complesso condominiale (illuminazione delle aree comuni quali scale, garage, vie condominiali, forza motrice degli ascensori, saracinesche dei garage, ecc.) differenziandole, quando necessario, sia sulla base della stagione che delle ore della giornata.

Il risultato finale di queste valutazioni è presentato in Figura 7 che mostra la richiesta di potenza elettrica media calcolata in funzione delle ore/giorno.

Le differenze nella richiesta di potenza oraria tra le varie stagioni, non sempre comunque sostanziali, sono essenzialmente dovute ai carichi elettrici per l'illuminazione che, stagionalmente, è stata calcolata in funzione delle ore di luce solare al giorno.

2.1.8 FABBISOGNO ELETTRICO COMPLESSIVO

Il fabbisogno elettrico del complesso residenziale è somma del carico dovuto alle unità abitative, di quello riconducibile alle aree comuni condominiali.

2.1.9 CONTRIBUTO FOTOVOLTAICO

Alle voci di cui sopra è necessario decurtare la quota parte di elettricità prodotta dai pannelli solari fotovoltaici, la cui installazione è obbligatoria secondo dal D.Lgs. 311/2006, All. I, art. 12, e quanto ribadito nella Delibera della Giunta Regionale n. 156/2008, “... l'installazione di impianti a fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica per una potenza installata non inferiore a 0,5 kW/100 mq di superficie utile di edifici ad uso non residenziale. ...”.

Come già visto nel caso dei pannelli solari termici, la produttività, anche nel caso dei pannelli fotovoltaici, è strettamente legata alla stagione oltre che ovviamente alla località geografica.

Nella figura che segue si riporta l'andamento del fabbisogno elettrico totale (EE_richiesto) ottenuto sottraendo alla somma della richiesta dei privati (EE), il condizionamento (split) e la richiesta delle parti comuni (PI), il contributo solare (FV) prodotto mediante pannelli fotovoltaici.

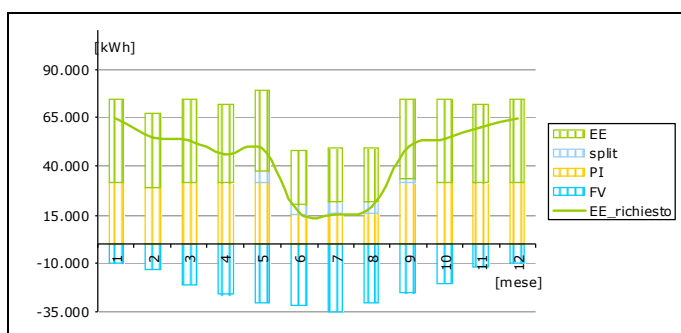


Figura 7 - Andamento del fabbisogno energetico annuo richiesto dal centro residenziale.



2.2 Centro commerciale

Dai referenti tecnici del futuro centro commerciale sono stati forniti i valori caratteristici di seguito elencati dei fabbisogni energetici medi e di punta specificati ciascuno nei capitoli specifici seguenti.

Dai suddetti valori si sono ricostruiti poi i profili di carico ipotizzando le seguenti ore di funzionamento:

- ciclo di apertura del centro commerciale: complessivamente 4.752 ore all'anno;
- ciclo di funzionamento dei congelatori: complessivamente 5.110 ore all'anno.

2.2.1 ACQUA CALDA SANITARIA

Non avendo dati a disposizione si è stimato un consumo per acqua calda sanitaria per l'alimentazione dei servizi igienici e per la pulizia dei banchi frigo e del centro commerciale.

2.2.2 CONTRIBUTO SOLARE TERMICO

Il contributo solare termico è già stato considerato nel suo valore complessivo, rispettando i minimi previsti dalla normativa, nel Cap. 2.1.2.

2.2.3 RISCALDAMENTO INVERNALE

Per il riscaldamento invernale è stata indicata una potenza massima nella stagione invernale di 170 kWt dalla quale è stato ricostruito un profilo teorico di carico giornaliero come quello riportato nella figura sotto, oltre al fabbisogno termico annuo della stagione del riscaldamento.

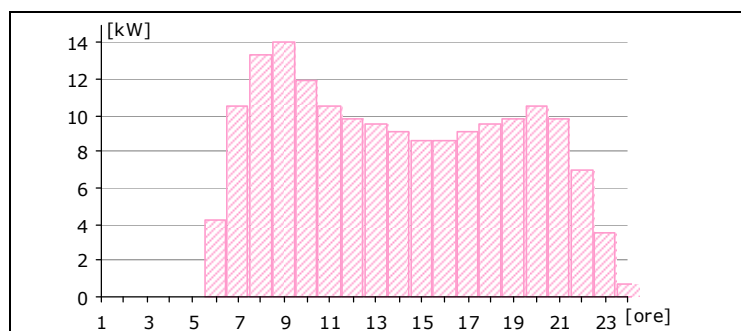


Figura 8 - Andamento giornaliero della potenza termica necessaria per il riscaldamento del complesso commerciale.

2.2.4 FABBISOGNO TERMICO TOTALE

Come per il residenziale si sono sommati i contributi termici per l'ACS ed il riscaldamento ottenendo l'andamento di Figura 9.

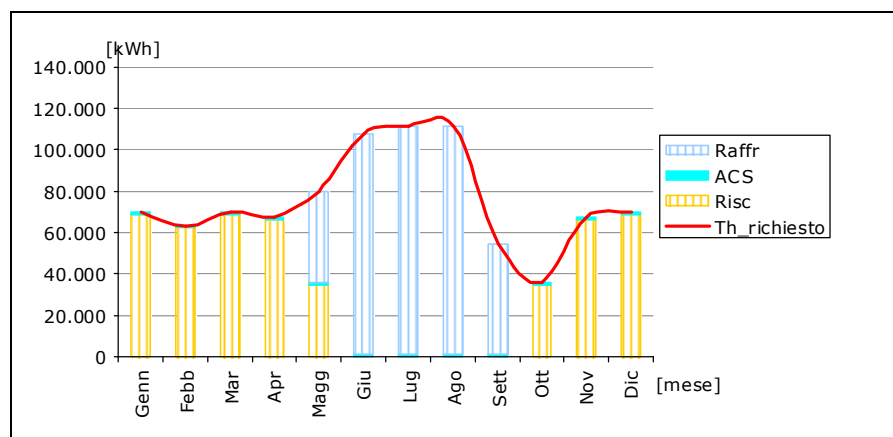


Figura 9 - Andamento del fabbisogno termico annuo richiesto dal centro commerciale.

2.2.5 CONDIZIONAMENTO ESTIVO

Relativamente al condizionamento estivo del centro commerciale si è ipotizzato di sopperire a tale fabbisogno mediante l'accoppiamento alla MTG di un gruppo frigo ad assorbimento che converte l'energia termica in energia frigorifera; per questo motivo si somma il contributo frigorifero nel fabbisogno termico (si veda la Figura 9).

Per il raffrescamento estivo è stata indicata una potenza frigorifera massima di 186 kWf nella stagione estiva. Da questo valore, come nel caso del riscaldamento invernale, è stato ricostruito il profilo teorico di carico giornaliero oltre al fabbisogno annuo della stagione di raffrescamento.

2.2.6 FABBISOGNO ELETTRICO DELL'AREA DI VENDITA

Partendo dalle potenze elettriche totali minime e massime indicate dai responsabili del centro commerciale e di seguito riportate, si sono stimati i relativi fabbisogni:

	Banco Frigo	Condizionamento/ riscaldamento/ trattamento aria	FEM, illuminazione	
<u>Potenza elettrica di picco minima</u> (1/2 stagione)	120 kW	30 kW	60 kW	= <u>210 kW</u>
<u>Potenza elettrica di picco massima</u> (stagione estiva)	135 kW	85 kW	110 kW	= <u>330 kW</u>

In Figura 10 sono rappresentati gli andamenti minimo e massimo della potenza elettrica impegnata dal centro commerciale.

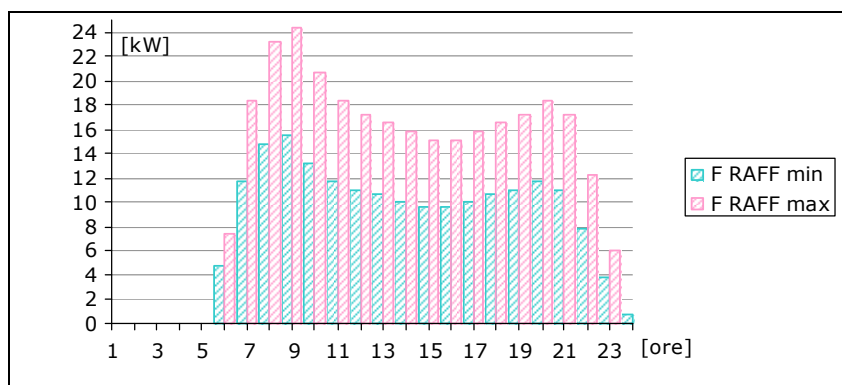


Figura 10 - Andamento della potenza elettrica impegnata dal centro commerciale nella condizione di potenza elettrica minima e massima.

2.2.7 FABBISOGNO ELETTRICO DELL'AREA ESTERNA

Come per il residenziale si è aggiunta alla quota di fabbisogno di energia elettrica del centro commerciale anche quella relativa all'illuminazione del pertinente parcheggio utilizzando le stesse considerazioni fatte per il residenziale.

2.2.8 FABBISOGNO ELETTRICO COMPLESSIVO

Nel grafico che segue si riassumono i fabbisogni elettrici richiesti dal centro commerciale ottenuti come somma della richiesta elettrica per il condizionamento (CDZ), il banco frigo (B.FR), la F.E.M. e l'illuminazione (FEM_ILL) e l'illuminazione dei parcheggi (PI).

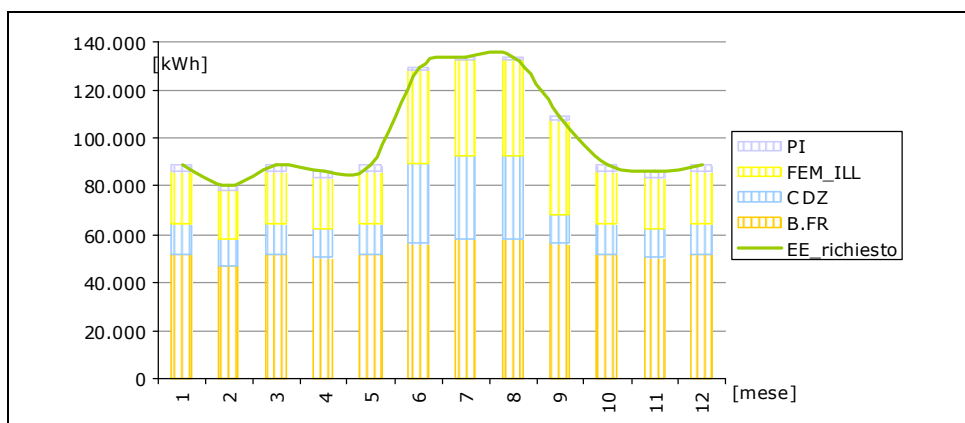


Figura 11 - Andamento del fabbisogno energetico annuo richiesto complessivamente dal centro commerciale.

2.2.9 CONTRIBUTO FOTOVOLTAICO

Il contributo fotovoltaico è già stato considerato nel suo valore complessivo, rispettando i minimi previsti dalla normativa, nel Cap. 2.1.9.

3 Impianto per la generazione di energia

Prima di analizzare le soluzioni impiantistiche proposte per la copertura dei fabbisogni energetici del centro commerciale in oggetto, vengono in questo paragrafo brevemente presentati i sistemi di conversione di energia a cui si farà esplicito riferimento.

In figura si riportano gli andamenti delle potenze medie richieste nell'arco dell'anno e più sotto del fabbisogno energetico annuo complessivo (commerciale + residenziale).

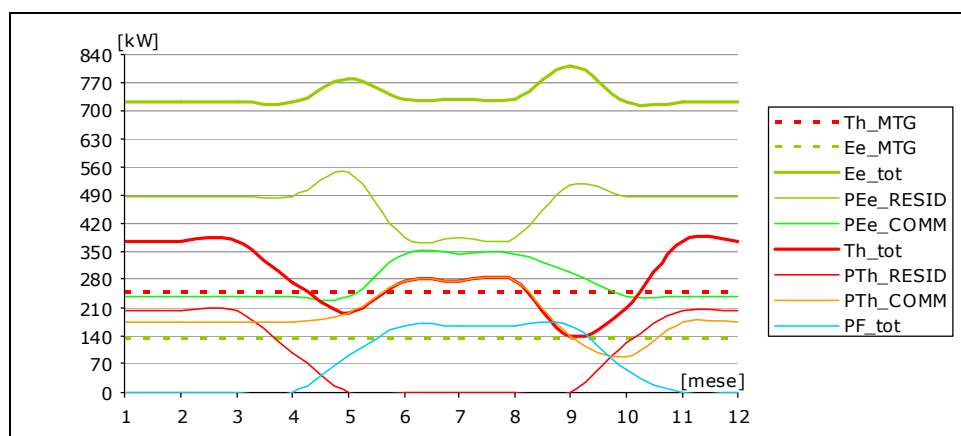


Figura 12 - Andamenti medi mensili delle potenze termiche, elettriche e frigorifere del sistema commerciale e residenziale.

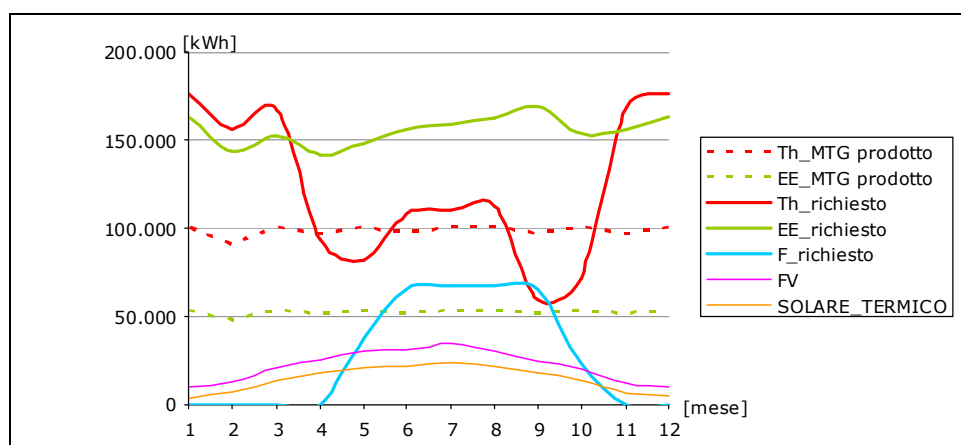


Figura 13 - Andamenti medi mensili delle energie termiche, elettriche e frigorifere del sistema commerciale e residenziale.

3.1 Componenti di impianto

3.1.1 LE MICROTURBINE A GAS

Con il termine microturbine a gas (MTG) si identifica un sistema di generazione di piccola taglia (sotto i 250 kWe) di recente apparizione sul mercato.

I componenti fondamentali di una MTG sono il compressore, il recuperatore, la camera di combustione, la turbina e il sistema di conversione elettro/meccanico.



Le MTG possono essere alimentate con gas naturale o, in applicazioni particolari, attraverso gas a basso potere calorifico (biogas) opportunamente depurati.

L'impiego cogenerativo di una MTG prevede il recupero di parte del calore scaricato attraverso i fumi, che solitamente hanno temperature superiori ai 250°C, per produrre acqua calda.

Nel range di potenze di interesse per la presente analisi, ovvero intorno i 100 kWe, esistono attualmente in commercio due modelli di MTG: la Turbec T100 prodotta dalla italiana APIcom di Cento (FE), e la Elliott TA 100-R della statunitense Elliott Energy Systems (vedi tabella per i valori di dettaglio). Entrambi i sistemi, che hanno prestazioni molto simili, vengono proposti sul mercato in un package in cui è già presente lo scambiatore di recupero termico fumi/acqua.

E' possibile inoltre valutare l'impiego della statunitense Capstone con potenza elettrica pari a 65 kW prevedendo nel caso in esame l'impiego di n. 2 apparecchiature.

modello	potenza elettrica [kWe]	rendimento elettrico [%]	potenza termica recuperabile [kW] acqua calda 50/60 °C	dimensioni [m]
Turbec T100	100	30	167	2,90 x 0,84 x 1,9
Elliott TA-100	100	28	165	3,00 x 0,84 x 2,1
Capstone	65	28	124	0,76 x 1,95 x 2,1

I modelli di MTG sopra presentati possono essere accoppiati ad un gruppo frigorifero ad assorbimento alimentato ad acqua calda (vedi sotto) per la refrigerazione di ambienti. In tal caso è generalmente richiesta la produzione, da parte dello scambiatore di recupero termico fumi/acqua, di acqua a temperature superiori agli 80-90°C e ciò comporta una leggera riduzione del valore della potenza termica recuperabile rispetto al valore di tabella.

E' bene evidenziare che i dati di tabella si riferiscono a particolari condizioni di funzionamento, ovvero macchina nuova, 100% del carico, temperatura esterna pari a 15°C. Al variare di tali condizioni variano conseguentemente sia la potenza che il rendimento della MTG; di tali considerazioni si è tenuto conto nello svolgimento delle valutazioni riportate nella seguente relazione.

Nel proseguo si farà riferimento ad una generica MTG con prestazioni medie tra i due modelli presentati e con un costo di investimento di 1200 €/kWe e un costo di manutenzione di 14 €/MWe.

3.1.2 I MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA ALTERNATIVI (MCI)

I motori a combustione interna alternativi rappresentano la tecnologia attualmente più diffusa e consolidata per la produzione di potenza elettrica per taglie inferiori al MWe.

Nell'impiego cogenerativo si utilizzano generalmente motori a ciclo Otto (ovvero del tipo dei motori a benzina per trazione automobilistica) alimentati a gas naturale.

Il recupero di calore da un MCI può avvenire dall'olio del circuito di lubrificazione, dal circuito di raffreddamento-motore, dall'intercooler (se il motore è sovralimentato) e dai fumi di scarico.

I livelli di temperatura delle diverse fasi di recupero sono tuttavia molto diversi: mentre dai fumi che hanno temperature comprese solitamente fra i 400 e i 500 °C è facile produrre acqua calda a temperature relativamente alte (superiori ai 100 °C), diversamente il liquido del circuito di raffreddamento, l'olio di lubrificazione e l'intercooler rendono disponibile calore a temperature rispettivamente intorno ai 90, 80 e 60 °C.



Nel range di potenze di interesse per la presente analisi esistono in commercio molteplici proposte commerciali; per svolgere la presente analisi si farà riferimento ad un motore da 100 kWe le cui prestazioni - in linea con i dati dei maggiori costruttori (Cat, Man, MTU, Iveco, Perkins, ecc.) - sono le seguenti:

potenza elettrica [kWe]	rendimento elettrico [%]	potenza termica recuperata [kWt] - acqua 60 - 70 °C -
100	33	170

Anche per quanto riguarda i MCI è possibile pensare ad un accoppiamento con un gruppo frigorifero ad assorbimento per la refrigerazione di ambienti come meglio specificato nel proseguo.

Inoltre anche in questo caso i dati di tabella sono da intendersi come valori di targa e quindi verranno “corretti” in funzione del carico, delle condizioni ambientali e della vita del motore.

Per quanto riguarda le condizioni economiche si può stimare un costo di investimento dell’unità in assetto cogenerativo pari a 1200 €/kWe e un costo di manutenzione intorno ai 14 €/MWhe.

Dai valori sopra riportati si noterà come, operando con generatori da circa 100 kWe, il confronto MTG-MCI non evidenzia forti differenze sia nelle prestazioni energetiche che nei costi delle due diverse tecnologie.

Tuttavia, è bene evidenziare due aspetti che possono giocare un ruolo importante nella scelta del tipo di macchina da impiegare:

- le MTG hanno livelli di emissioni specifiche di NOx e CO inferiori di un ordine di grandezza rispetto ai MCI;
- le MCI presentano vibrazioni e livelli di rumorosità decisamente più elevati delle MTG;

3.1.3 CALDAIE

Le caldaie sono macchine molto semplici e comuni usate per convertire l’energia chimica di un combustibile in energia termica di un fluido vettore.

Nel nostro caso si farà esplicito riferimento a caldaie alimentate a gas naturale per la produzione di acqua calda a temperature inferiori ai 100 °C di taglia massima intorno ai 350 kWt, ovvero 300.000 kcal/h.

In tale fascia di potenza sono disponibili caldaie tradizionali a bassa temperatura – che consentono rendimenti fino al 94 % - e caldaie “a condensazione” che raggiungono rendimenti del 109%.

La possibilità di sfruttare a pieno tale nuova soluzione è subordinata all’utilizzo della stessa a servizio di un circuito di riscaldamento che necessità di acqua calda a bassissima temperatura (i 30 °C circa dei pannelli radianti), come nel caso del Centro Direzionale in oggetto. Ciò significa che, qualora la caldaia dovesse essere posta al servizio di un utilizzatore a più alta temperatura (quale ad esempio i 90-100 °C di un gruppo frigorifero ad assorbimento) il rendimento della stessa verrebbe a ridursi a valori paragonabili a quelli di una caldaia convenzionale.

Nella presente analisi, per quanto riguarda i rendimenti si farà riferimento al valore di produzione del calore per usi civili come da Direttiva 42/02 dell’AEEG e al valore minimo presentato nel DPR 660/96



per le caldaie a condensazione di taglia inferiore ai 400 kWt (vedi tabella dove sono inoltre riportati i costi specifici delle caldaie).

	rendimento medio caldaia	costo specifico	costi annui di manutenzione
caldaia convenzionale	80 %	25 €/kWt	5 €/kWt installato
caldaia “a condensazione”	99 % in riscaldamento	70 €/kWt	
	93 % in altro impiego		

3.1.4 GRUPPI FRIGORIFERI A COMPRESSIONE

Un impianto frigorifero a compressione è un sistema in grado di produrre energia frigorifera sfruttando il lavoro meccanico di uno o più compressori ovvero assorbendo energia elettrica.

I componenti fondamentali di tale sistema (che può essere a semplice compressione o a compressione frazionata) sono, oltre al compressore, uno o più corpi cilindrici vaporizzatori, valvole di laminazione (per realizzare l'abbassamento di pressione) ed un condensatore. Per quanto riguarda la tipologia del compressore impiegato è possibile osservare che attualmente sono presenti sul mercato macchine che impiegano compressori rotativi a palette, alternativi, di tipo scroll (o a spirale orbitante), a vite o centrifughi.

Le prestazioni di un gruppo frigorifero vengono misurate attraverso il "coefficiente di prestazione" (COP), definito come il rapporto tra la potenza frigorifera prodotta e la potenza consumata (in questo caso potenza elettrica); il COP dipende principalmente dalla taglia, dal sistema di condensazione ed in misura minore dal fluido frigorifero adottato.

In generale gli impianti di taglia intorno ai 250 kWf che impiegano un condensatore ad aria presentano COP che oscillano tra 2,5 e 3,5 (valori di COP che superano il 4 si hanno nel caso, qui non di interesse, di condensatori ad acqua).

Tali valori si riferiscono a determinate condizioni di carico e temperature esterne; se la variazione del carico può risultare poco influente utilizzando compressori completamente modulanti, al contrario l'influenza della temperatura esterna sulle prestazioni dei cicli frigoriferi a compressione è dell'ordine del 1,5% del valore del COP di design per ogni 1°C di variazione della temperatura dell'aria esterna.

Nella presente analisi si farà esplicito riferimento a gruppi frigoriferi a compressione le cui prestazioni e costi sono riportati in tabella

COP - condensatore aria temp. esterna 32 °C	costo specifico [€/kWf]	costi annui di manutenzione [€/kWf installato]
3,0	150	6

3.1.5 GRUPPI FRIGORIFERI AD ASSORBIMENTO

Un impianto frigorifero ad assorbimento è un sistema in grado di produrre energia frigorifera utilizzando calore che può essere generato direttamente attraverso una combustione (assorbitori a fiamma diretta) o introdotto attraverso un fluido vettore quale acqua calda, olio diatermico o gas caldi.



I gruppi frigoriferi ad assorbimento operano secondo un ciclo nel quale la fase di incremento della pressione avviene nella fase liquida, con evidente risparmio rispetto alla compressione dei cicli convenzionale.

Componenti fondamentali di un gruppo ad assorbimento sono, oltre al condensatore e all'evaporatore, il rettificatore (non sempre presente), l'assorbitore e il generatore; in quest'ultimo viene introdotto il calore ad alta temperatura che, insieme con il calore assorbito dall'evaporatore, deve essere poi "scaricato" nell'ambiente esterno attraverso il condensatore. Tale operazione può richiedere l'utilizzo di torri evaporative dato l'ingente quantitativo di calore da scaricare.

I gruppi ad assorbimento utilizzano, come fluido operativo, una miscela di due fluidi che possono essere $H_2O/LiBr$ o NH_3/H_2O .

I gruppi a bromuro di litio rappresentano attualmente la tipologia utilizzata per sfruttare il calore recuperato da una MTG o da un MCI; in tali gruppi però diventa indispensabile l'utilizzo di torri evaporative che hanno anche la funzione di mantenere basse le temperature di alcuni componenti del circuito.

I gruppi ad assorbimento sono caratterizzati da elevata affidabilità, basso rumore e vibrazioni ed un buon comportamento ai carichi parziali.

Nel range di potenze qui di interesse, i valori del COP che si riescono a raggiungere con un ciclo a $H_2O/LiBr$ alimentato con una sorgente termica intorno ai 100 °C (acqua calda prodotta dallo scambiatore del gruppo cogenerativo) sono intorno a 0,7.

Nella presente analisi si farà esplicito riferimento a gruppi frigoriferi ad assorbimento le cui prestazioni e costi assunti sono riportati in tabella.

COP temp. esterna 32 °C	consumi elettrici [kWe/kWf]	costo specifico [€/kWf]	costo annui di manutenzione [€/kWf]
0,66	0,017	280	10

3.2 La centrale di produzione

Nel presente paragrafo vengono presentate le diverse soluzioni impiantistiche poste a confronto per soddisfare le richieste energetiche del complesso in esame.

Tali soluzioni verranno poi energeticamente ed economicamente confrontate nei successivi paragrafi.

Prima di entrare nel dettaglio nel sistema trigenerativo è utile premettere alcune considerazioni sulla tipologia di centrale da realizzare.

Innanzitutto è importante considerare che l'entità e l'andamento del fabbisogno energetico per il condizionamento delle utenze residenziali presenta le caratteristiche qui di seguito riportati tali da permettere di affermare sin da ora che non risulta economicamente conveniente centralizzare la produzione.

- Il fabbisogno frigorifero è relativo ad un periodo temporale limitato (stagione estiva).
- La ricostruzione del fabbisogno frigorifero è estremamente aleatoria in quanto spesso dipende alla sensibilità termica dell'utente finale.
- Il condizionamento delle utenze residenziali non è comunque un fabbisogno primario che è obbligo soddisfare in un intervento di urbanizzazione.



Quanto sopra ci consente di affermare che centralizzare la produzione frigorifera impone un elevato investimento economico a fronte di un utilizzo del sistema per un intervallo temporale breve e per una utenza estremamente discontinua e non chiaramente prevedibile.

Centralizzando tutte la produzione di energia necessaria al complesso residenziale e commerciale è necessario prevedere la realizzazione di una rete di teleriscaldamento per la distribuzione dell'energia termica delle utenze.

Con esclusione dell'alimentazione del centro commerciale (ove la rete di teleriscaldamento sarà del tipo a n. 4 tubi) la rete di distribuzione sarà del tipo a n. 2 tubi, Questa soluzione consente l'ulteriore vantaggio di limitare i costi di investimento relativi alla rete di distribuzione rispetto ad una rete a n. 4 tubi, e soprattutto consente di avere un funzionamento più regolare, della rete di teleriscaldamento nell'arco dell'anno.

I n. 2 schemi di principio del sistema per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici del complesso residenziale e commerciale in esame sono riportati nelle seguenti figure rispettivamente per il sistema di produzione dell'energia convenzionale (Figura 14) e per il sistema combinato di trigenerazione (Figura 15).

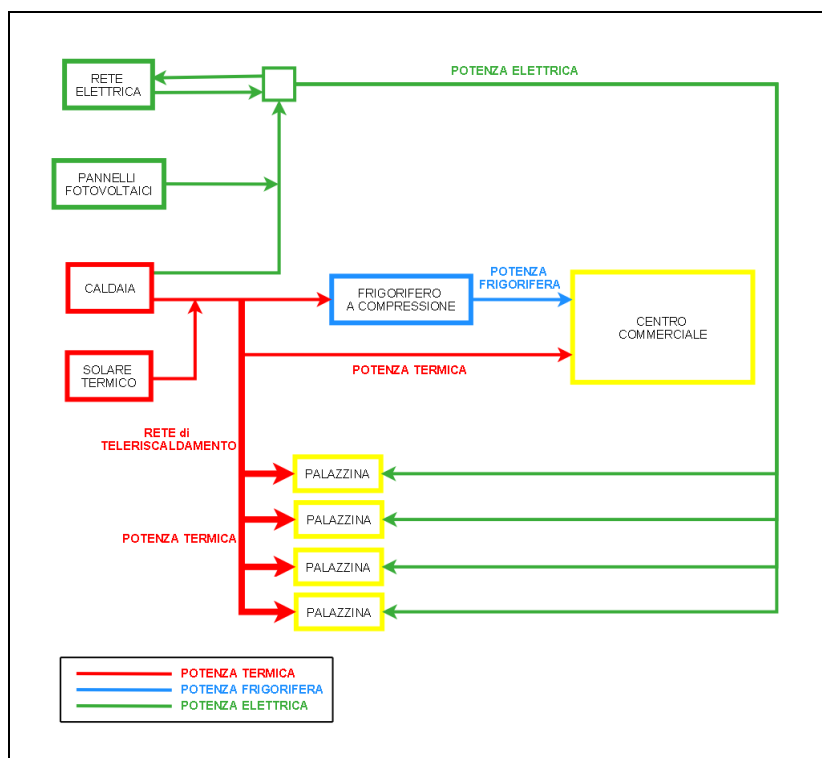


Figura 14 - Schema funzionale del sistema energetico convenzionale per la produzione di energia elettrica, termica e frigorifera.

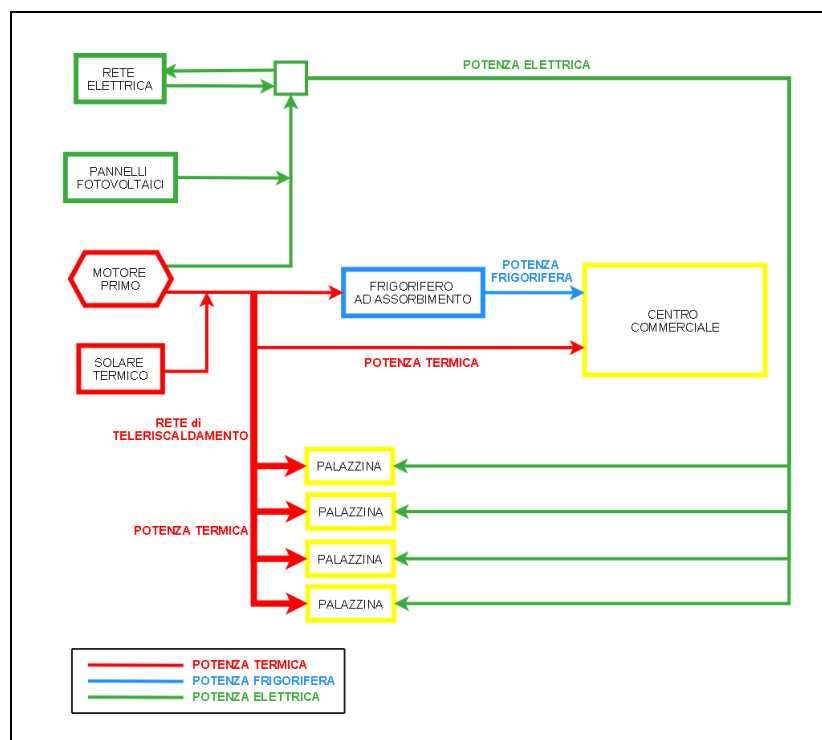


Figura 15 - Schema funzionale del sistema energetico combinato per la produzione di energia elettrica, termica e frigorifera.



Nel dettaglio, relativamente alla soluzione convenzionale, si osserva che la centrale di produzione è composta da una caldaia a gas naturale, da un gruppo frigo a compressione, da pannelli solari sia termici che fotovoltaici. In particolare:

- ~ energia termica → caldaia alimentata a gas naturale (è previsto l'utilizzo di una caldaia convenzionale o a condensazione);
- ~ energia frigorifera → gruppo frigorifero a compressione alimentato attraverso l'energia elettrica acquistata dalla rete;

Relativamente al sistema combinato trigenerativo si osserva che la centrale di produzione è composta da un motore primo, una caldaia integrativa e dei pannelli solari sia termici che fotovoltaici.

Come si osserva dalla Figura 15 la centrale produce energia elettrica, in parallelo con la rete di distribuzione nazionale e/o energia termica con la quale alimenta la rete di teleriscaldamento interna al complesso residenziale. In particolare:

- ~ energia elettrica → autoproduzione attraverso un motore primo e acquisto dalla rete. Si prevede in particolare di utilizzare una microturbina a gas o un motore a combustione interna alternativo per produrre, durante le ore di maggior richiesta elettrica (dalle 8 alle 20), parte del fabbisogno acquistando dalla rete il disavanzo diurno e la richiesta notturna.
- ~ energia termica → attraverso il recupero di calore scaricato dal motore primo integrato con il calore prodotto da una caldaia a condensazione alimentata a gas naturale.
- ~ energia frigorifera → attraverso un gruppo frigorifero ad assorbimento dimensionato in modo tale da coprire l'intero fabbisogno del centro commerciale; tale gruppo frigo è alimentato dalla potenza termica recuperata dal motore primo e dalla potenza prodotta dalla caldaia.

Nel presente studio preliminare relativamente ai motori a combustione interna (MCI) e alla microturbina a gas (MTG) verificato che nelle due tipologie

- le prestazioni specifiche,
- i costi di investimento e di manutenzione,

sono comparabili, al fine di semplificare la trattazione, si è preferito l'utilizzo delle MTG premiando a favore di quest'ultime:

- livelli di emissioni specifiche di NO_x e CO_2 inferiori di un ordine di grandezza rispetto al MCI,
- vibrazioni e livelli di rumorosità decisamente inferiori.



4 Analisi comparativa

4.1 Vantaggi normativi della cogenerazione

Si premette alle valutazioni comparative sulle diverse alternative di centrale oggetto del presente studio, una breve premessa per elencare i vantaggi previsti dalla normativa italiana per gli impianti cogenerativi.

In attesa che entri in vigore in Italia la normativa europea (già recepita dal D.Lgs. 20/2007 ed in vigore dal 1 gennaio 2011) la materia è regolamentata dalla Delibera n. 42 del 19 marzo 2002, aggiornata dalla delibera n. 296 del 29 dicembre 2005.

Le precedenti norme stabiliscono che per accedere ai benefici previsti occorre che l'impianto cogenerativo venga progettato ed esercito in modo tale da conseguire un risparmio di combustibile rispetto al consumo di sistemi tradizionali (centrale elettrica e/o connessione alla rete elettrica di distribuzione e caldaia) e da coprire con la propria produzione una significativa ed effettiva richiesta termica. Tali condizioni sono analiticamente espresse delle seguenti disuguaglianze rispettivamente riferite all'*indice di risparmio energetico* (IRE) ed al *limite termico* (LT):

$$IRE = 1 - \frac{E_{fuel}}{\left(\frac{E_e}{\eta_{es} \cdot p} + \frac{E_{t,civ}}{\eta_{ts,civ}} + \frac{E_{t,ind}}{\eta_{ts,ind}} \right)} > IRE_{min}$$

$$LT = \frac{E_{th}}{E_t + E_e} > LT_{min}$$

dove:

IRE_{min} è, per gli impianti di nuova costruzione, pari a 0,10;

LT_{min} è, per gli impianti di nuova costruzione (alimentati a gas naturale, gasolio o gpl con potenza inferiore ai 10 MW), pari a 0,33;

E_{fue} è l'energia primaria del combustibile utilizzato dal cogeneratore nell'anno solare con riferimento al potere calorifico inferiore;

E_e è l'energia elettrica netta prodotta dal cogeneratore nell'anno solare;

E_t è l'energia termica prodotta dal cogeneratore nell'anno solare e utilmente utilizzata a scopi civili ($E_{t,civ}$ ovvero a fini di climatizzazione, riscaldamento, raffrescamento, ecc.) o industriali ($E_{t,ind}$);

η_{es} è il rendimento elettrico di confronto il cui valore è stabilito dalla normativa in funzione della taglia dell'impianto e della tipologia del combustibile; nel presente caso, trattandosi di impianti alimentati a gas naturale con potenza elettrica inferiore ad 1 MW, η_{es} è da assumersi pari a 0,40;

$\eta_{ts,civ}$, $\eta_{ts,ind}$ sono rendimenti termici di confronto per la produzione di energia termica ad uso civile ($\eta_{ts,civ} = 0,8$) ed industriale ($\eta_{ts,ind} = 0,9$);

p è un coefficiente che tiene conto delle perdite di trasporto e trasformazione dell'energia elettrica e che viene calcolato con la seguente relazione:

$$p = \frac{P_{immessa} \cdot E_{e,immessa} + P_{autoconsumata} \cdot E_{e,autoconsumata}}{E_{e,immessa} + E_{e,autoconsumata}}$$



dove $E_{e,autoconsumata}$ è la parte di energia elettrica autoconsumata, $E_{e,immessa}$ quella immessa in rete (e quindi venduta) e i valori dei coefficienti $p_{immessa}$ e $p_{autoconsumata}$ sono rispettivamente pari, nel caso di allacciamento in bassa tensione a 0,957 e a 0,935.

Nel nostro caso, con riferimento alle ipotesi fatte, tali condizioni risultano soddisfatte in quanto $IRE = 0,20$ e $LT = 0,54$.

Gli incentivi previsti per tali soluzioni sono quindi i seguenti:

- la priorità di dispacciamento, ovvero il diritto ad immettere in rete l'energia elettrica in eccesso,
- l'esenzione dal pagamento dei certificati verdi,
- la parziale defiscalizzazione del combustibile,
- il diritto alla vendita, tramite società appositamente qualificate (ESCO), di titoli di efficienza energetica (certificati bianchi).

I primi due punti sono quantitativamente ininfluenti per la valutazione economica del sistema in analisi in quanto il primo assicura la possibilità di immettere energia in rete, ma non le condizioni economiche di vendita della stessa; il secondo rappresenta un risparmio solo per centrali produttive con elevate produzioni annue (superiori ai 100 GWh).

La defiscalizzazione del gas, ovvero la non applicazione dell'accisa su 0,25 Nmc di gas ogni kWh prodotto, permette invece un risparmio che è legato all'imposta sul consumo di gas alla quale è soggetta l'utenza in questione.

Nel caso in esame l'utenza è del tipo misto commerciale e residenziale. Nel caso di utenza commerciale l'effetto della defiscalizzazione è contenuto in quanto la componente fiscale sul gas naturale è circa dell'ordine di 0,012 €/mc.

Relativamente all'utenza di tipo residenziale l'effetto della defiscalizzazione è sicuramente significativo in quanto l'imposta sul consumo di gas al quale è rifatto l'utenza in questione è dell'ordine di circa 0,204 €/mc.

Tuttavia a favore della sicurezza nel caso in esame si è valutato una tariffa di gas metano commerciale per tutto il gas impiegato riducendo l'effetto della defiscalizzazione, evidenziando un risparmio pari a 1.831 €/annui (vedi Tab. B pag. 24).

Per quanto riguarda invece i Titoli di Efficienza Energetica (i così detti "certificati bianchi"), in base alla normativa vigente in materia di risparmio energetico, la trigenerazione rientra in quelle tipologie di intervento che consentono l'attribuzione dei TEE.

Per la quantificazione di tale risparmio occorre fare riferimento alle proposte di schede tecniche di cui all'art.5, comma 1, dei decreti ministeriali del 20 luglio 2004; in particolare, dalla scheda tecnica 21 "Applicazione nel settore civile di piccoli sistemi di cogenerazione per la climatizzazione invernale ed estiva degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria" (all. A alla delibera 177/05 come rettificata dalla delibera 187/05 dell'AEEG) risulterebbe un risparmio pari a circa 22 TEP/anno.

Tale risparmio energetico, assumendo un valore di mercato dei certificati bianchi intorno ai 100 €/TEP, comportano un risparmio economico annuo che è quantificabile in circa 2.210 €/anno.

E' bene evidenziare come tale risparmio, limitato ai primi cinque anni di esercizio, è subordinato all'approvazione da parte dell'AEEG di una proposta di progetto di risparmio che deve essere presentata, alla stessa AEEG, da una società accreditata a svolgere tale operazione (ESCO) o da una società distributrice di gas ed energia elettrica.



4.2 Confronto energetico-economico

Sulla base di tutto quanto sopra riportato vengono in questo paragrafo presentati i risultati del confronto tra le diverse soluzioni proposte.

Al fine di interpretare correttamente tali risultati è bene premettere che lo scenario economico di riferimento assunto è il seguente ricordando come sopra già indicato che, a favore della sicurezza, si è valutata l'intera utenza commerciale + residenziale come commerciale:

acquisto gas naturale defiscalizzato	0,545 €/Smc
componente fiscale sul gas naturale	0,012 €/Smc
costo totale combustibile	0,577 €/Smc
(dato fornito dal referente tecnico dell'area commerciale)	

tariffa di acquisto energia elettrica ore piene (8-21) 0,153 €/kWhe

Inoltre, le variazioni delle prestazioni delle apparecchiature in funzione delle condizioni ambientali, sono state valutate assumendo le seguenti temperature diurne medie stagionali:

T inverno	7°C
T mezza stagione	15°C
T estate	32°C

In particolare, nelle tre tabelle che seguono sono riportati:

- i dati energetici annui per quanto riguarda i consumi e la produzione elettrica, termica e frigorifera, suddivisi in base alla soluzione impiantistica adottata (tabella A);
- i costi annui da sostenere per l'acquisto dell'energia elettrica e del gas, i costi di manutenzione ordinaria delle principali apparecchiature e gli eventuali risparmi dovuti alla defiscalizzazione del combustibile (tabella B);
- il quadro riassuntivo delle principali voci di investimento delle diverse soluzioni; a tale proposito occorre precisare che i valori riportati sono da considerare come valori di prima analisi in quanto - pur derivando da contatti e informazioni commerciali avuti con i principali produttori/rivenditori delle apparecchiature in oggetto - non tengono conto né dei risultati di una trattativa commerciale né di eventuali specifiche esigenze del committente quali, ad esempio, i costi per le opere civili, per supplementari sistemi di insonorizzazione, ecc. (tabella C).

Tabella A: dati energetici annui

		Sistema energetico convenzionale	Sistema energetico combinato
ENERGIA ELETTRICA	consumi utenze [kWhe/anno]	1.870.796	1.870.796
	consumi gruppo frigo convenzionale [kWhe/anno]	220.021	
	consumi totali [kWhe/anno]	2.090.817	1.870.796
ENERGIA TERMICA	consumi utenze [kWht/anno]	1.058.085	1.058.085
	consumi gruppo frigo assorbimento [kWht/anno]		423.067
	consumi totali [kWht/anno]	1.058.085	1.481.161
ENERGIA FRIGO	consumi utenze [kWhf/anno]	660.063	660.063

**Tabella B: dati economici annui**

(dati in €/anno)

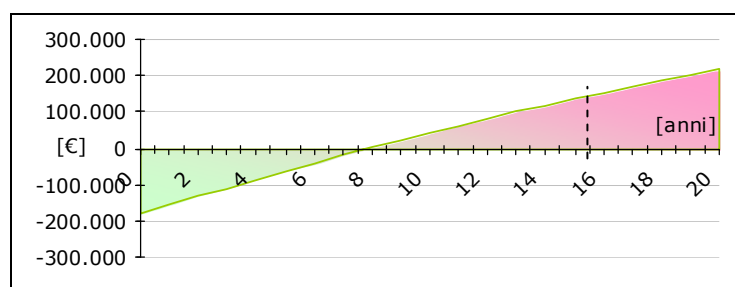
	Sistema energetico convenzionale	Sistema energetico combinato
costo acquisto energia elettrica	319.895	196.589
costo di acquisto del gas per MTG		116.077
costo di acquisto del gas per caldaia	72.972	49.975
costi totali di manutenzione	3.055	9.343
defiscalizzazione gas		-1.831
COSTI TOTALI ANNUI	395.922	370.153

Tabella C: investimenti

(dati in €)

	Sistema energetico convenzionale	Sistema energetico combinato
acquisto caldaia	44.045	44.045
acquisto cogeneratore MTG		156.000
acquisto gruppo frigo a compressione	30.500	
acquisto gruppo frigo ad assorbimento		57.460
COSTI TOTALI DI INVESTIMENTO	74.545	261.505

Nella figura che segue è invece riportato l'andamento del VAN differenziale (attualizzato con un tasso del 2,5% e supponendo un investimento concentrato tutto all'anno 0) valutato con riferimento alla soluzione convenzionale ovvero caldaia convenzionale (ovvero alla soluzione che presenta i più alti costi di esercizio e i più bassi costi di investimento): attraverso tale parametro si evidenziano i tempi necessari per annullare il maggior costo di investimento delle soluzioni più innovative e onerose, rispetto a tale soluzione.

**Figura 16** - Andamento del VAN differenziale del sistema combinato rispetto al sistema convenzionale.



5 Analisi ambientale

Oggetto del presente capitolo è la valutazione, in termini di emissioni, dell'impatto ambientale del sistema cogenerativo in confronto con il caso di riferimento.

In particolare si assumono i seguenti fattori di emissione riportati in letteratura:

- per la MTG → 0,216 kg/MWh di elettricità prodotta;
- per la caldaia → 0,21 kg/kWh di energia introdotta con il combustibile;
- per il gruppo frigo a compressione → 0,7 kg/kWh elettrico acquistato.

Pertanto si ricava un risparmio annuo di circa 240 t CO₂.

6 Conclusioni

A commento del confronto tecnico-economico riportato nei precedenti paragrafi della presente relazione, sempre tenendo bene in considerazione tutte le assunzioni fatte, si può osservare che:

1. A favore del Sistema Combinato, a fronte di un Maggior Costo di investimento pari a € 186.960

Si verifica:

- ⇒ Flusso di cassa annuo (positivo) per il sistema combinato pari a: € 25.768
- ⇒ Ritorno dell'investimento in 8 anni considerando un tasso di attualizzazione del 2,50%
- ⇒ Una minore spesa dopo quindici anni (vita utile media del sistema) pari a: € 140.000

Pertanto, il sistema è fattibile e presenta un ritorno economico di 8 anni.

2. L'insediamento nel suo complesso (Commerciale + Residenziale) si presenta fortemente energivoro dal punto di vista di richiesta di energia elettrica.

Il rapporto tra energia elettrica autoprodotta ed energia elettrica richiesta complessivamente richiesta, è pari a 1/4;

Il carico termico complessivo, con esclusione delle punte della stagione invernale è invece interamente coperto dal sistema trigenerativo.

Pertanto la quota parte di energia elettrica acquistata dalla rete, può essere autoprodotta mediante l'installazione di **impianti di produzione fotovoltaica** valorizzando nuovamente sistemi di energia alternativi (in questo caso da fonte rinnovabile) con ritorno dell'investimento certo.

3. Le ipotesi di base assunte nel presente studio di Fattibilità Energetica:

- Insediamento residenziale pari a 200 unità abitative;
- Area di Vendita Commerciale pari a 1500 mq;

al fine di verificare un ritorno dell'investimento certo, rappresentano condizioni critiche peggiorative.

Nell'ipotesi di:

- a) Maggiore estensione della superficie dell'Area di Vendita;
- b) Maggior rapporto tra: Superficie dell'Area di Vendita e n° di Abitazioni dell'Area Residenziale;



c) Nuovi insediamenti di tipo Commerciale, Terziario o Sportivo.

Il ritorno dell'investimento presenterebbe sicuramente tempi inferiori.

4. In funzione di quanto riportato al punto a) di cui sopra, l'intervento si presenta remunerativo anche nell'ipotesi di realizzazione per stralci del comparto residenziale.
5. Con l'obiettivo di rendere l'intervento economicamente più vantaggioso, è possibile prevedere generatori elettrici di taglia superiore.

Tuttavia:

- pur rimanendo all'interno dei parametri cogenerativi IRE ed LT;
- pur ottenendo un ritorno di investimento con tempi inferiori;

il sistema presenterebbe dispersione di calore in atmosfera durante brevi intervalli dell'anno.

Si ritiene opportuno valutare questa ulteriore ipotesi solo in una fase più avanzata della progettazione.

6. Il presente Studio di Fattibilità Energetica può essere aggiornato in funzione di possibili aggiornamenti del POC di riferimento.

Modena, Dicembre 2008

Il progettista
Ing. Emilio Lucchese

