



Ministero dello Sviluppo Economico

DIPARTIMENTO PER L'ENERGIA

Direzione Generale per l'Energia Nucleare, le Energie Rinnovabili e l'Efficienza Energetica

**RELAZIONE ANNUALE
SULLA COGENERAZIONE IN ITALIA**

ANNO PRODUZIONE 2011

aprile 2013

INDICE

Introduzione	3
1 Ambito di analisi e assunzioni	3
1.1 Ambito di analisi	3
1.2 Assunzioni adottate nella redazione del rapporto.....	3
1.2.1 Tecnologie e combustibili presi in considerazione	3
1.2.2 Assunzioni metodologiche di calcolo	4
2 Dati sulla produzione nazionale da cogenerazione per l'anno 2011	5
2.1 Numero unità, capacità di generazione elettrica, produzione elettrica e termica.....	5
2.2 Contributi delle unità di teleriscaldamento	6
2.3 Energia primaria e combustibili utilizzati	9
2.4 Rendimenti medi di generazione	11
2.5 Energia elettrica ad alto e basso rendimento	12
2.6 Risparmio di energia primaria: analisi dei risultati	14
Appendice A: Definizioni.....	20
Appendice B: Criteri di calcolo del risparmio di energia primaria	23

Introduzione

Il presente documento¹, redatto in base a quanto previsto dall'articolo 24, comma 6 della direttiva europea 2012/27/UE sull'efficienza energetica, è finalizzato a esporre e analizzare le statistiche sulla produzione nazionale, nell'anno 2011, di energia elettrica ed energia termica da cogenerazione ad alto e basso rendimento. Il documento riporta, inoltre, informazioni sulla capacità di generazione elettrica delle unità di cogenerazione, sui combustibili utilizzati e sui rendimenti elettrici, termici e globali in base alle diverse tecnologie di cogenerazione, evidenziando il contributo delle unità di cogenerazione abbinate a reti di teleriscaldamento.

Il documento comprende i risparmi di energia primaria realizzati nell'anno di produzione 2011, mediante la cogenerazione ad alto rendimento (CAR) e mediante la produzione simultanea di energia elettrica e calore, pur senza i requisiti per essere considerata CAR.

In particolare, nel primo capitolo della relazione viene descritto l'ambito dell'analisi e le principali assunzioni utilizzate per l'elaborazione dei dati. Nel secondo capitolo sono illustrati e analizzati i dati statistici ottenuti dall'analisi. In appendice sono riportate le principali definizioni e i criteri di calcolo seguiti.

1 Ambito di analisi e assunzioni

1.1 Ambito di analisi

Il presente rapporto è stato redatto sulla base delle informazioni contenute nelle richieste presentate al GSE dagli operatori al fine di ottenere, per la produzione dell'anno 2011, il riconoscimento di CAR. Le unità di cogenerazione abbinate ad una rete di teleriscaldamento sono nel seguito contraddistinte con la sigla CHP/TLR.

1.2 Assunzioni adottate nella redazione del rapporto

1.2.1 Tecnologie e combustibili presi in considerazione

Le tecnologie di cogenerazione prese in considerazione ai fini del presente rapporto, definite anche dall'Allegato I della direttiva 2012/27/UE, sono le seguenti:

- turbina a gas a ciclo combinato con recupero di calore (C.C.);
- turbina a vapore a contropressione (T.V.Cp.);
- turbina di condensazione a estrazione di vapore (T.V.Cd.);
- turbina a gas con recupero di calore (T.G.);
- motore a combustione interna (M.C.I.);

¹ Il rapporto è stato predisposto con la collaborazione del Gestore dei Servizi Energetici (GSE).

- microturbine, motori stirling, pile a combustibile, motori a vapore, cicli rankine a fluido organico e ogni altro tipo di tecnologia o combinazione di tecnologie che non rientra nelle definizioni precedenti (Altro).

È stata inoltre utilizzata la seguente ripartizione in combustibili, basandosi sui principali impieghi nelle tecnologie di cogenerazione:

- gas naturale;
- petrolio (inclusi gasolio, olio combustibile, ecc.) e GPL;
- carbone fossile/coke;
- “fonti rinnovabili” intese come combustibili a base di legno, biomasse di origine agricola, biocarburanti e biogas;
- “rifiuti” intesi come rifiuti (urbani/industriali) non rinnovabili;
- “altro” inteso come l’insieme dei seguenti combustibili, utilizzati da un ridotto numero di unità di cogenerazione di elevata capacità di generazione elettrica, installate presso utilizzatori energivori (es. raffinerie): gas di raffineria, idrogeno, gas di cokeria, gas di altoforno, altri rifiuti gassosi e calore residuo recuperato.

1.2.2 Assunzioni metodologiche di calcolo

Le unità abbinate a una rete di teleriscaldamento sono state individuate sia attraverso l’analisi delle dichiarazioni sulle modalità di utilizzo dell’energia termica utile, inoltrate dagli operatori nell’ambito del riconoscimento CAR, sia attraverso l’analisi delle richieste per il riconoscimento di cogenerazione CHP/TLR. Al fine di determinarne la produzione e la capacità di teleriscaldamento, sono state adottate le seguenti assunzioni:

- l’energia termica utile prodotta in cogenerazione (H_{CHP}) e fornita alla rete di teleriscaldamento, per le unità che hanno inoltrato richiesta CAR e che hanno contestualmente inoltrato richiesta CHP/TLR, è stata posta pari alla quota di “energia termica civile” sul valore totale dell’“energia termica utile” (somma dell’energia termica “civile” e “industriale”), dichiarata negli allegati alla richiesta CHP/TLR;
- la quota di energia termica utile prodotta in cogenerazione (H_{CHP}) e fornita alla rete di teleriscaldamento, per le unità che hanno inoltrato richiesta CAR, ma che non hanno contestualmente inoltrato richiesta CHP/TLR, è stata posta pari al valore totale dell’energia termica utile fornita alla rete di teleriscaldamento;
- per la verifica del rispetto dell’Allegato II della direttiva 2004/8/CE, limitatamente alle unità che hanno inoltrato richieste CHP/TLR e che non hanno contestualmente inoltrato richiesta CAR, sono state effettuate le seguenti assunzioni:
 - in presenza di turbina a condensazione a estrazione di vapore, anche in ciclo combinato con turbina a gas, ai fini del calcolo dell’energia elettrica cogenerata (E_{CHP}) e dell’energia di alimentazione in cogenerazione (F_{CHP}), nei casi in cui il rendimento globale dell’unità è risultato inferiore al valore di soglia, è stato utilizzato il “rapporto energia/calore” di base ($C_{default}$) in luogo del "rapporto energia/calore" effettivo (C_{eff}), come previsto, a fini statistici, nell’Allegato II della direttiva 2004/8/CE.

2 Dati sulla produzione nazionale da cogenerazione per l'anno 2011

2.1 Numero unità, capacità di generazione elettrica, produzione elettrica e termica

La Figura 1 e la Figura 2 illustrano il contributo di ciascuna delle tecnologie di cogenerazione impiegate nella produzione combinata di energia elettrica ed energia termica, in termini di numero di unità, capacità totale e media di generazione elettrica, produzione totale di energia elettrica lorda e di calore utile, rapporto medio tra l'energia elettrica lorda e l'energia termica.

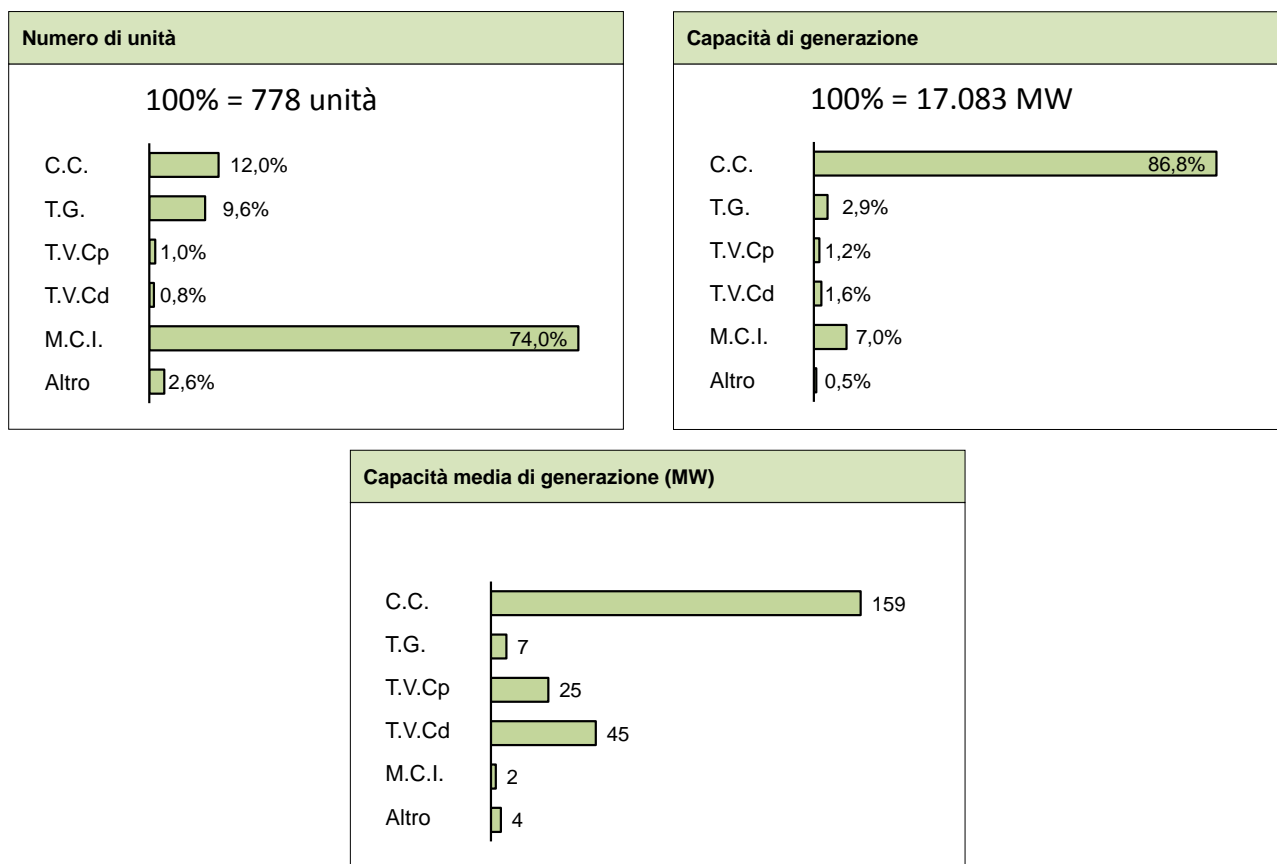


Fig. 1 – Numero unità, capacità di generazione elettrica, totale e media.

Le turbine a gas a ciclo combinato con recupero di calore risultano essere la tecnologia con maggiore capacità di generazione elettrica installata mentre i motori a combustione interna sono maggiormente utilizzati in termini di numerosità di impianti, anche se con capacità media di generazione nettamente inferiore.

Il ridotto numero di turbine a vapore (a contropressione o a condensazione di vapore) non accoppiate a turbine a gas, dimostra che gli operatori del settore si sono orientati tipicamente verso unità di cogenerazione in assetto combinato, anche modificando precedenti configurazioni di unità costituite da sole turbine a vapore per mezzo dell'installazione a monte di una o più turbine a gas con relativi generatori di vapore a recupero.

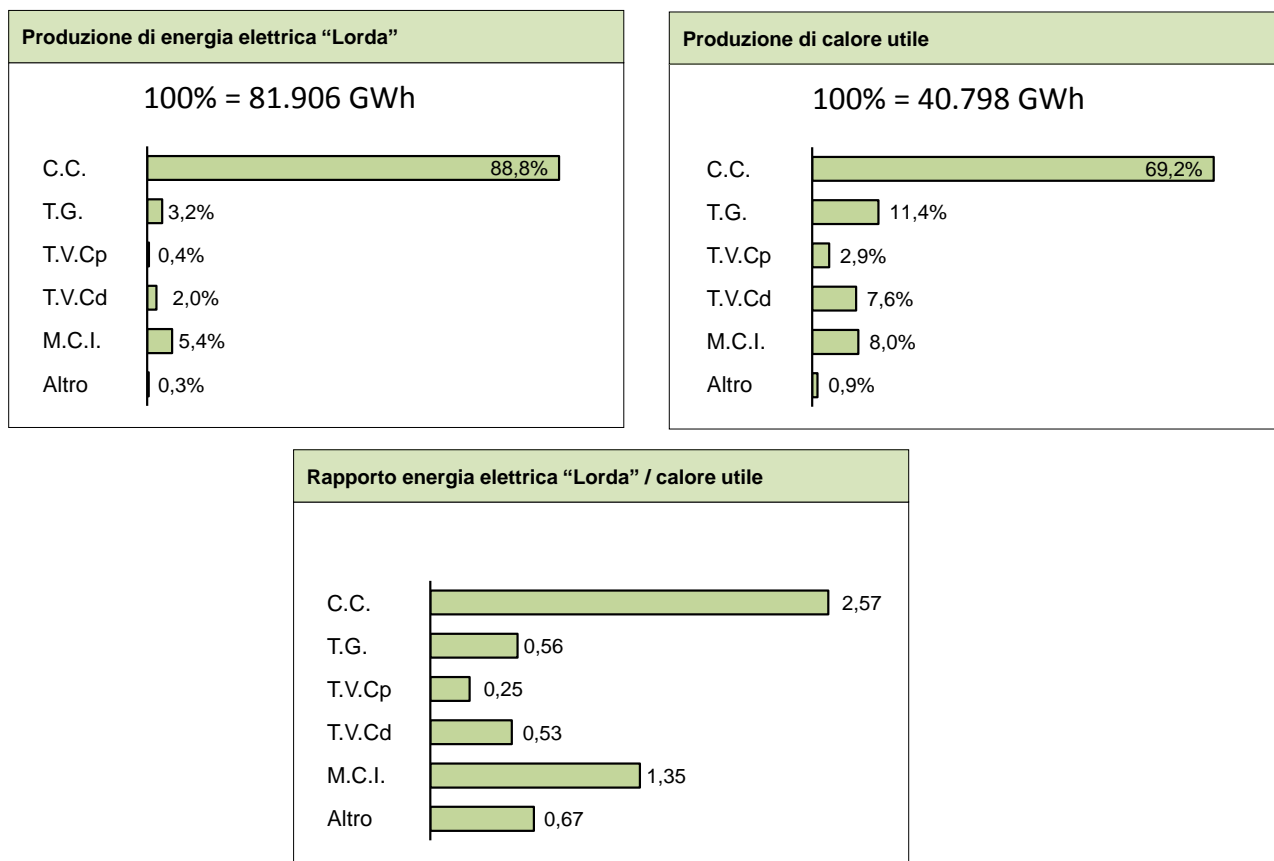


Fig. 2 - Produzione elettrica e termica; rapporto energia elettrica lorda / calore utile.

Le turbine a gas a ciclo combinato con recupero di calore, in linea con quanto suddetto, risultano la tecnologia con maggiore produzione di energia elettrica e di energia termica utile complessiva.

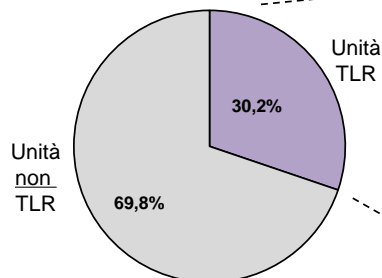
Il rapporto tra energia elettrica lorda e calore utile, per le turbine a gas con recupero di calore e per le turbine a vapore in assetto semplice, risulta essere significativamente inferiore rispetto alle turbine a gas a ciclo combinato con recupero di calore.

2.2 Contributi delle unità di teleriscaldamento

Le figure da 3 a 6 illustrano il contributo al valore totale delle unità analizzate, in termini di numero di unità, capacità totale di generazione elettrica, produzione totale di energia elettrica lorda e di energia termica utile, delle unità abbinate a rete di teleriscaldamento.

**Numero totale di unità –
Numero di unità abbinate a rete di teleriscaldamento**

100% = 778 unità



**Unità abbinate a rete di teleriscaldamento
Classificazione per tecnologia**

100% = 235 unità

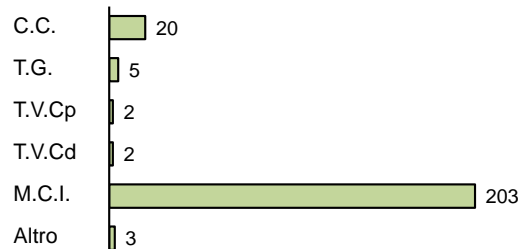
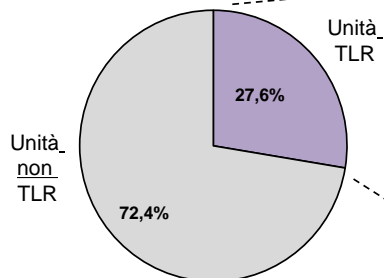


Fig. 3 – Numero delle unità di teleriscaldamento sul numero totale delle unità di cogenerazione.

**Capacità di generazione totale –
Capacità di generazione di unità abbinate a
rete di teleriscaldamento**

100% = 17.083 MW



**Capacità di generazione di unità abbinate a rete
di teleriscaldamento
Classificazione per tecnologia**

100% = 4.718 MW

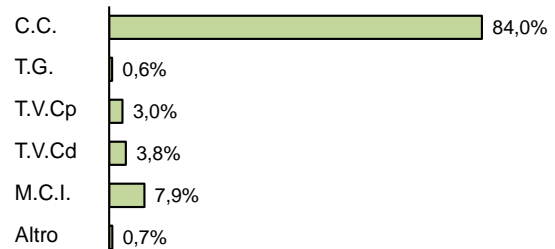


Fig. 4 - Capacità di generazione elettrica delle unità di teleriscaldamento sul totale delle unità di cogenerazione.

**Produzione totale di energia elettrica “lorda” –
Produzione di energia elettrica “gross” di unità
abbinate a rete di teleriscaldamento**

100% = 81.906 GWh

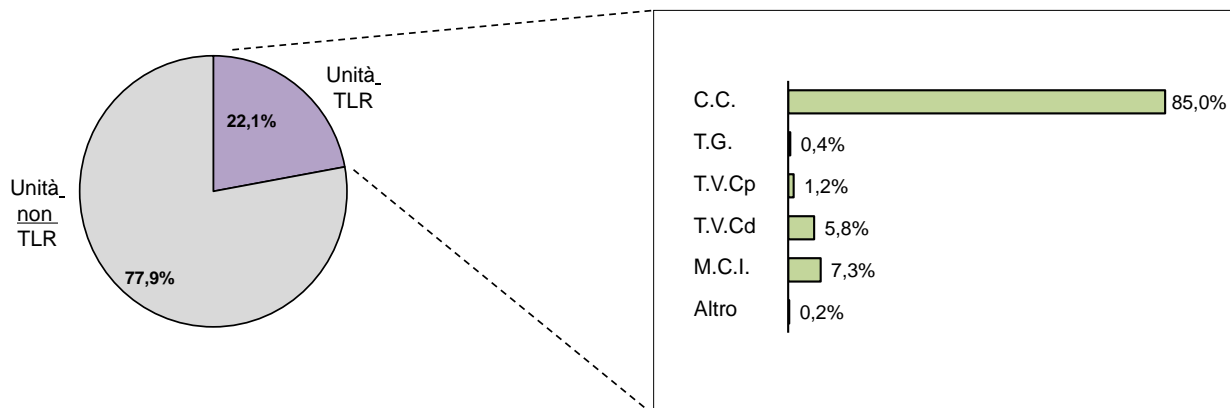


Fig. 5 - Produzione elettrica delle unità di teleriscaldamento sul totale della produzione elettrica delle unità di cogenerazione.

**Produzione totale di calore utile –
Produzione di calore utile di unità abbinate a rete di
teleriscaldamento**

100% = 40.798 GWh

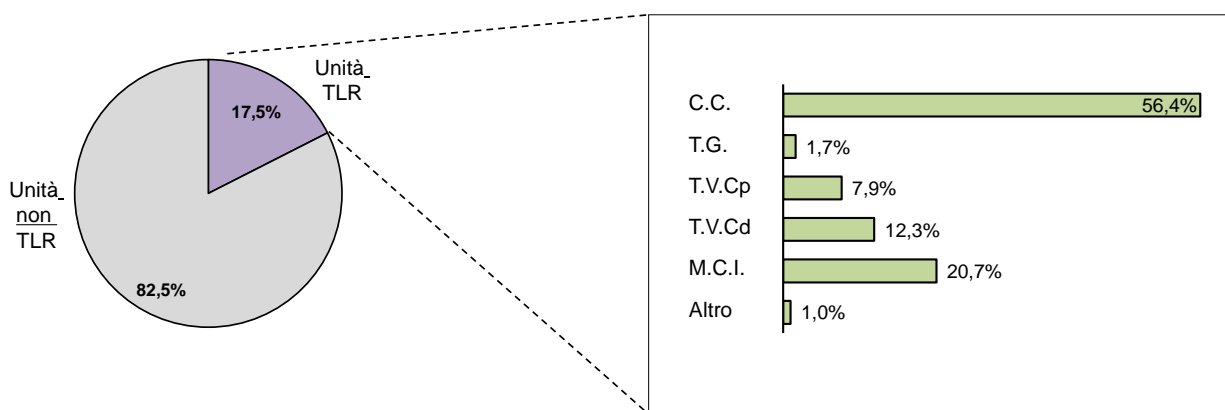


Fig. 6 - Produzione totale di calore utile delle unità di teleriscaldamento sul totale della produzione di calore utile delle unità di cogenerazione.

Lo sviluppo del teleriscaldamento ha riguardato principalmente i grandi nuclei abitativi con un’elevata concentrazione d’utenza. In questi siti ad alto tasso abitativo si sono sviluppate reti ad elevata capacità di distribuzione, alimentate da cicli combinati, o in generale da tecnologie di generazione “centralizzata”.

Dall'analisi condotta risulta che il maggior numero di unità abbinate a reti di teleriscaldamento è costituito dalla tecnologia dei motori a combustione interna (circa il 90%), la cui produzione rappresenta il 20% della totale energia termica utile ceduta alle reti.

Grazie alla maggiore potenza installata, le turbine a gas a ciclo combinato che, con meno del 10% delle unità installate costituiscono la seconda tecnologia per numero, producono circa il 60% della totale energia termica utile ceduta alle reti di teleriscaldamento.

2.3 Energia primaria e combustibili utilizzati

Le figure da 7 a 13 illustrano il valore complessivo di energia primaria impiegata, suddiviso per tipo di combustibile, per la produzione da cogenerazione nell'anno 2011 e il contributo di ciascuna delle tecnologie di cogenerazione impiegate, anche questo differenziato per le diverse tipologie di combustibili.

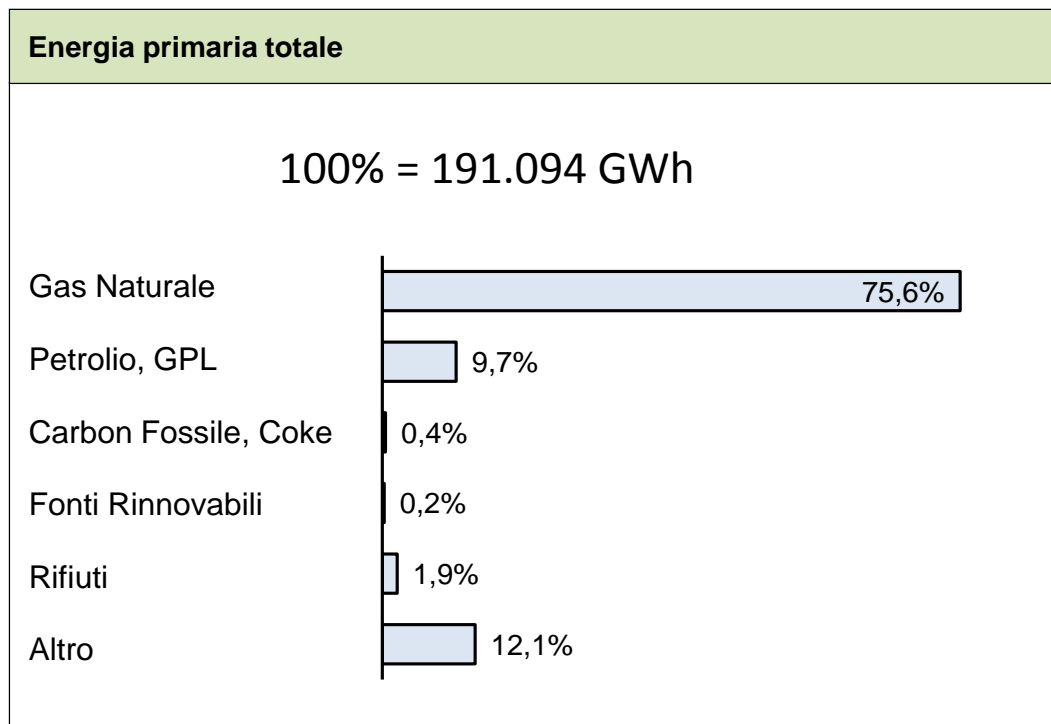


Fig. 7 – Energia primaria ripartita tra le varie tipologie di combustibile

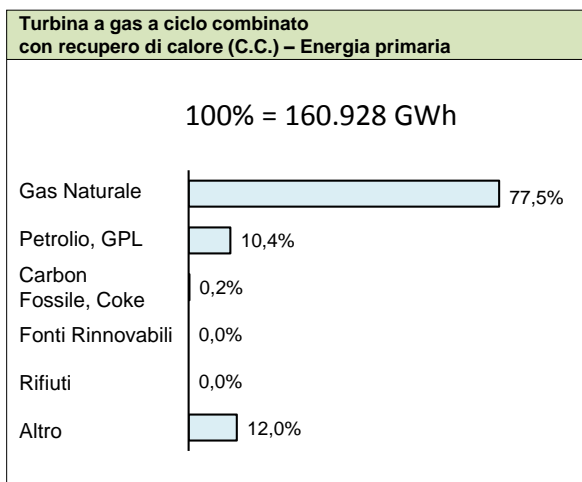


Fig. 8 - Energia primaria per C.C. ripartita tra le varie tipologie di combustibile

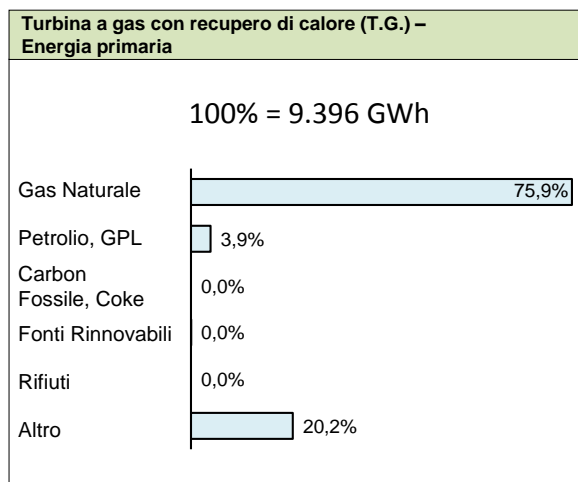


Fig. 9 - Energia primaria per T.G. ripartita tra le varie tipologie di combustibile

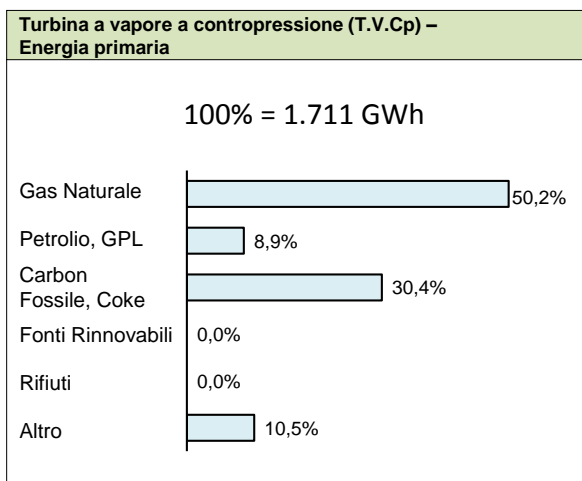


Fig. 10 - Energia primaria per T.V.Cp. ripartita tra le varie tipologie di combustibile

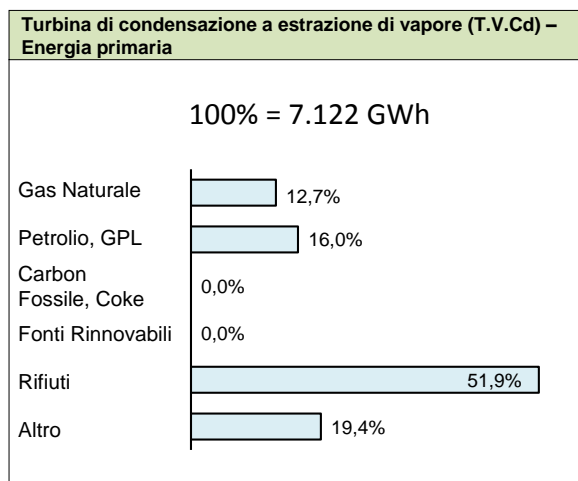


Fig. 11 - Energia primaria per T.V.Cd. ripartita tra le varie tipologie di combustibile

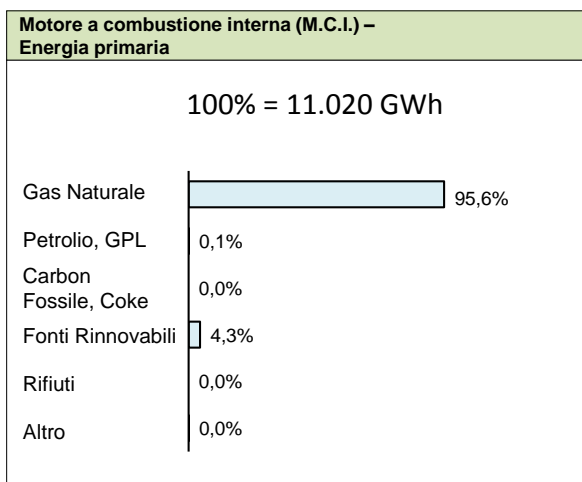


Fig. 12 - Energia primaria per M.C.I. ripartita tra le varie tipologie di combustibile

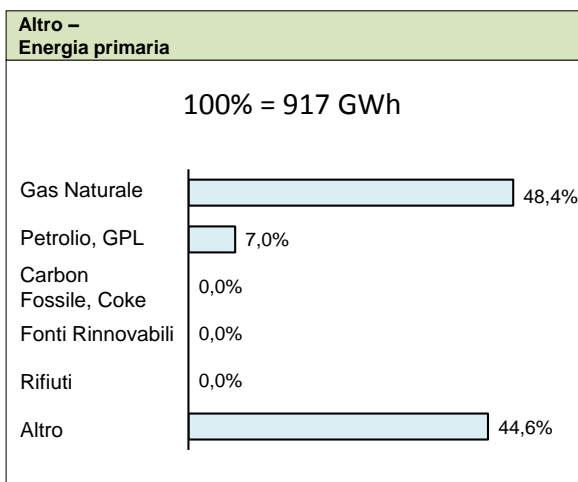


Fig. 13 - Energia primaria per altre tecnologie ripartita tra le varie tipologie di combustibile

Come è possibile osservare nella Figura 7, il gas naturale rappresenta la principale fonte di alimentazione di energia primaria nelle applicazioni cogenerative. Dalla suddivisione per tipo di tecnologia si evince che per i motori a combustione interna il gas naturale è pressoché l'unica fonte ed è particolarmente rilevante per le turbine a gas, sia in assetto “semplice”, sia in ciclo combinato; i rifiuti, invece, sono utilizzati esclusivamente in unità costituite da turbina di condensazione ad estrazione di vapore.

2.4 Rendimenti medi di generazione

La Figura 14 illustra le prestazioni energetiche medie di ciascuna delle tecnologie di cogenerazione, in particolare evidenziando i rendimenti elettrici, termici e di primo principio ($\eta_{I \text{ principio}}$) registrati per la produzione annuale 2011.

	Rendimento elettrico medio	Rendimento termico medio	Perdite medie di conversione	$\eta_{I \text{ principio}}$ (%)
TOTAL	42,9%	21,3%	35,8%	64,2
C.C.	45,2%	17,6%	37,3%	62,7
T.G.	27,9%	49,5%	22,6%	77,4
T.V.Cp	17,6%	69,3%	13,1%	86,9
T.V.Cd	22,8%	43,4%	33,8%	66,2
M.C.I.	39,9%	29,5%	30,6%	69,4
Altro	27,3%	40,8%	31,9%	68,1

Fig. 14 Rendimenti elettrici e termici medi.

Dai dati riportati in Figura 14, si evince l'importante differenza che intercorre tra le diverse tecnologie in termini di rapporto tra energia elettrica e calore prodotti. Le prestazioni rilevate per le turbine a gas a ciclo combinato evidenziano un rapporto energia/calore elevato, confermando la pratica diffusa da parte degli operatori di installare tale tecnologia presso utenze caratterizzate da una ridotta richiesta termica rispetto al fabbisogno elettrico oppure nel caso in cui l'obiettivo principale sia la produzione elettrica per l'esportazione verso la rete, con possibilità di ottimizzare l'efficienza sfruttando utenze termiche localizzate presso l'area predisposta per la produzione di

energia elettrica; le prestazioni rilevate per tutte le altre tecnologie dimostrano l'efficacia nell'utilizzo di queste ultime se installate a servizio di utenze con elevata richiesta termica rispetto ai fabbisogni elettrici.

2.5 Energia elettrica ad alto e basso rendimento

L'energia elettrica prodotta dalle unità di cogenerazione oggetto del presente documento è stata classificata in:

- energia elettrica "*Lorda*": totale energia elettrica prodotta in cogenerazione;
- energia elettrica ad "*Alto rendimento*": energia elettrica cogenerata che rispetta i criteri dell'Allegato II della direttiva 2004/8/CE;
- energia elettrica a "*Basso rendimento*": energia elettrica cogenerata, pari alla differenza tra l'energia elettrica "*Lorda*" e l'energia elettrica "*Alto rendimento*" (energia elettrica prodotta da unità che non rispettano l'Allegato II della direttiva 2004/8/CE).

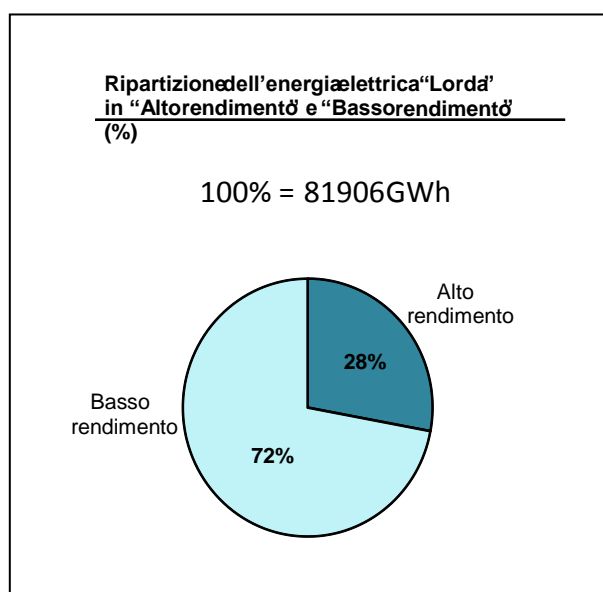


Fig 15 – Energia elettrica a Basso rendimento e Alto rendimento

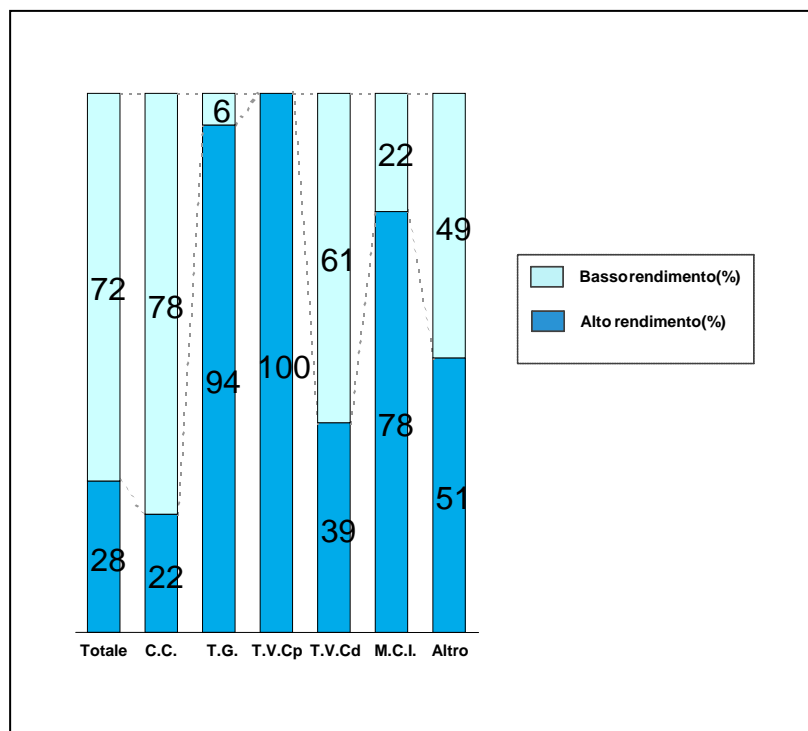


Fig. 16 – Energia elettrica a Basso rendimento e ad Alto rendimento

Dai dati raccolti è possibile evincere che, per le turbine a gas a ciclo combinato con recupero di calore, si è ottenuta una minore produzione di energia elettrica ad alto rendimento rispetto al valore totale prodotto.

L'elevato impatto dei cicli combinati, in termini di produzione di energia elettrica e di energia termica utile, determina complessivamente un basso valore dell'energia elettrica ad Alto Rendimento sul valore totale.

Per le altre tecnologie, è possibile osservare quanto segue:

- il basso rendimento elettrico che caratterizza le turbine di condensazione a estrazione di vapore comporta una ridotta percentuale di energia elettrica ad alto rendimento sulla produzione complessiva;
- il basso rendimento elettrico che caratterizza anche le turbine a vapore a contropressione è stato compensato dall'elevata produzione termica che caratterizza tale tecnologia;
- l'elevata percentuale di energia elettrica ad alto rendimento sulla produzione complessiva per le turbine a gas e i motori a combustione interna, è dovuta rispettivamente all'elevato rendimento termico (correlato a un rendimento elettrico medio superiore rispetto alle turbine a vapore in assetto "semplice") e al medio-alto rendimento elettrico (correlato a un rendimento termico medio significativamente superiore rispetto alle turbine a gas a ciclo combinato).

La Figura 17 illustra il bilancio energetico per le unità di cogenerazione oggetto del presente rapporto.

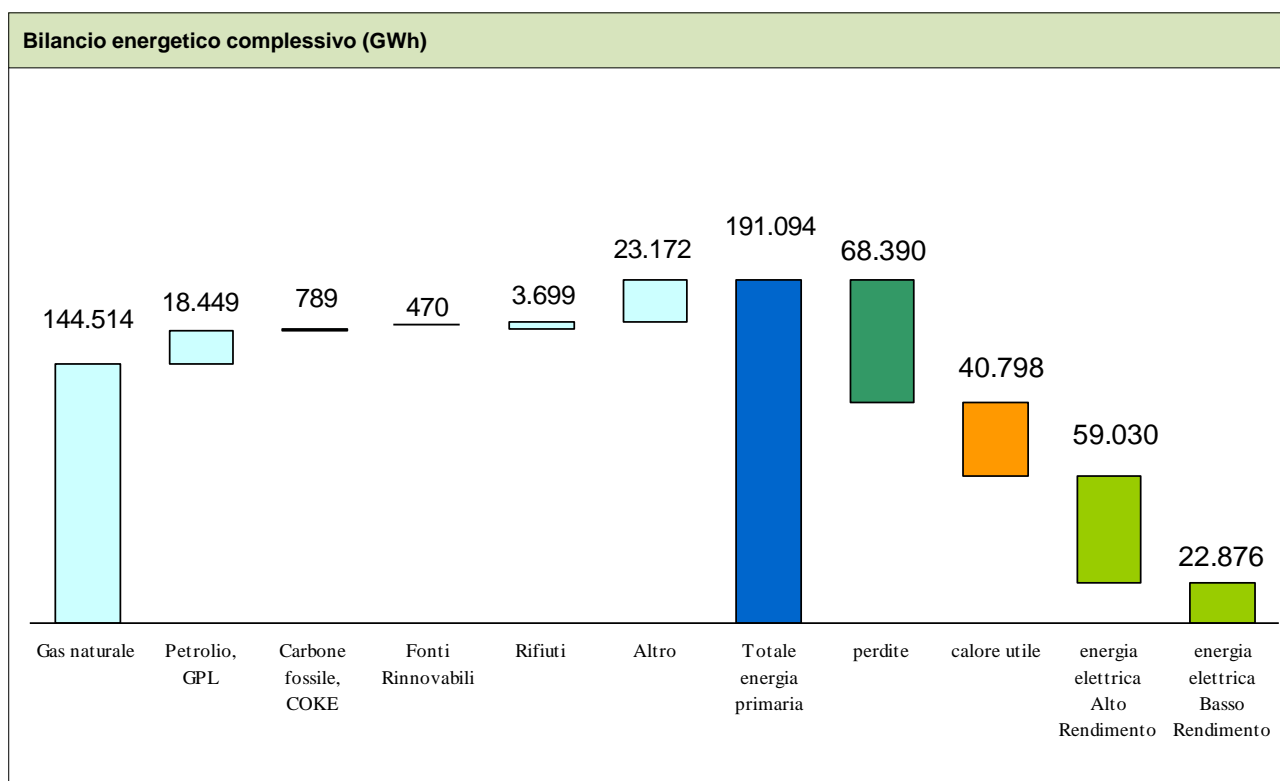


Fig. 17 – Bilancio energetico delle unità di cogenerazione oggetto dello studio per la produzione 2011

2.6 Risparmio di energia primaria: analisi dei risultati

La Figura 18 illustra il valore complessivo di risparmio di energia primaria, calcolato in base alle modalità descritte nell'Appendice B, per la produzione dell'energia elettrica totale prodotta ($E_{UNITÀ}$) e dell'energia termica utile (H_{CHP}). E' inoltre riportato il contributo di ciascuna delle tecnologie di cogenerazione impiegate nella produzione combinata di energia elettrica ed energia termica.

Nella Tabella 1 e nella Tabella 2, a scopo riepilogativo, sono riportati i valori dei principali indicatori di performance rispettivamente per l'insieme complessivo delle unità analizzate e per ciascuna delle seguenti categorie:

1. "Unità di cogenerazione con rendimento globale pari o superiore alla soglia (75% o 80%), che hanno inoltrato richiesta "CAR" con esito finale dell'istruttoria positivo";
2. "Unità di cogenerazione con rendimento globale inferiore alla soglia (75% o 80%), che hanno inoltrato richiesta "CAR" con esito finale dell'istruttoria positivo";
3. insieme delle "Unità di cogenerazione che hanno inoltrato richiesta "CAR" con esito finale dell'istruttoria negativo" e delle "Unità di cogenerazione che hanno inoltrato richiesta "CHP/TLR" e non hanno contestualmente inoltrato richiesta "CAR".

In base ai risultati illustrati, è possibile osservare che il minor risparmio di energia primaria delle turbine a gas a ciclo combinato rispetto alle altre tecnologie, è dovuto all'elevato contributo (circa il

50% in termini di produzione di energia elettrica lorda) di unità di cogenerazione che non rispettano l'Allegato II della direttiva 2004/8/CE. L'elevato impatto dei cicli combinati, infatti, in termini di produzione di energia elettrica e di energia termica utile, influenza in maniera preponderante il risparmio di energia primaria totale conseguito grazie alla cogenerazione. Il risparmio di energia primaria, rispetto alla produzione energetica separata dell'energia elettrica e dell'energia termica utile, conseguito dalle altre tecnologie è invece significativo raggiungendo in tutti i casi un valore di almeno il 10%.

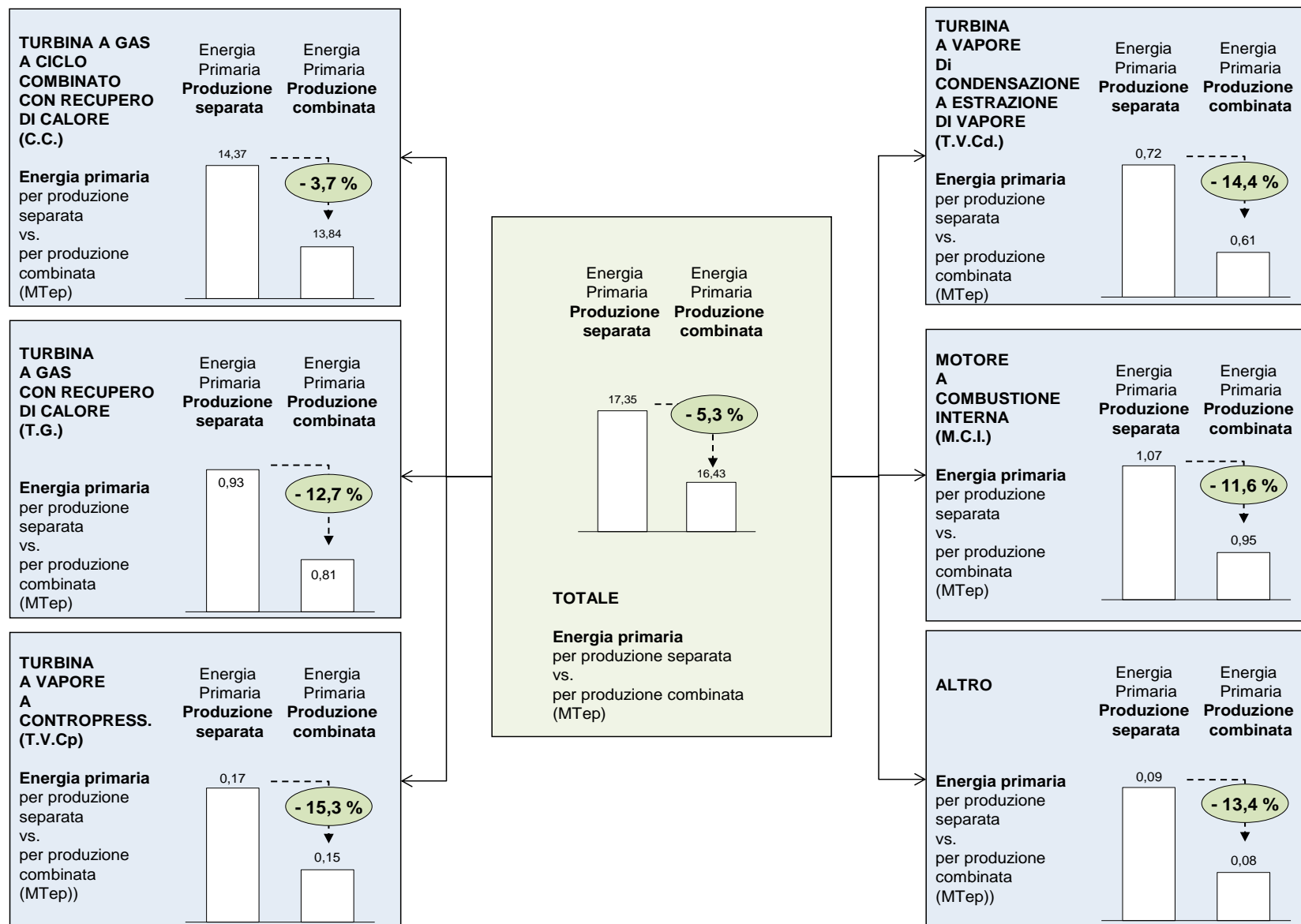


Fig. 18 - Risparmio di energia primaria complessivo e per ciascuna tecnologia di cogenerazione

Tabella 1 - COGENERAZIONE – PRINCIPALI INDICATORI DI PERFORMANCE
(produzione 2011 – totale unità)

Totale Unità																		
Tecnologie di cogenerazione	Numero di unità		Capacità di generazione		Produzione						Energia primaria							Ren
	Totale	di cui TLR	Energia elettrica		Energia elettrica				Calore		Gas naturale	Petrolio, GPL	Carbon fossile /	Fonti Rinnovabili	Rifiuti	Altro	Totale	Elett
			Lorda	di cui TLR	Certificata Alto rendimento	Alto rendimento	Lorda	di cui TLR	Utile Totale	di cui TLR								Produz. Lorda
N.	N.	MW	MW	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	%	
C.C.	93	20	14.832	3.963	11.712	15.926	72.702	15.393	28.248	4.033	124.639	16.724	269	0	0	19.296	160.928	45,2
T.G.	75	5	500	30	735	2.462	2.624	80	4.652	119	7.130	364	0	0	0	1.902	9.396	27,9
T.V.Cp	8	2	198	141	203	301	301	218	1.186	566	859	152	520	0	0	180	1.711	17,6
T.V.Cd	6	2	271	177	550	635	1.627	1.058	3.090	880	902	1.139	0	0	3.699	1.382	7.122	22,8
M.C.I.	576	203	1.198	374	1.886	3.425	4.400	1.328	3.248	1.481	10.539	7	0	470	0	3	11.020	39,9
Altro	20	3	85	32	122	127	251	37	374	71	444	64	0	0	0	410	917	27,3
Totale	778	235	17.083	4.718	15.208	22.876	81.906	18.113	40.798	7.150	144.514	18.449	789	470	3.699	23.172	191.094	42,9

Tabella 2 - COGENERAZIONE – PRINCIPALI INDICATORI DI PERFORMANCE

(produzione anno 2011 – classificazione unità per tipologia di esito)

Unità interamente CAR
rendimento $\geq 75\%$ (o $\geq 80\%$, per unità con turbina di condensazione a estrazione di vapore)

Tecnologie di cogenerazione	Numero di unità		Capacità di generazione		Produzione						Energia primaria								Ren
	Totale	di cui TLR	Energia elettrica		Energia elettrica				Calore		Gas naturale	Petrolio, GPL	Carbon fossile / Coke	Fonti Rinnovabili	Rifiuti	Altro	Totale	Elett	
			Lorda	di cui TLR	Certificata Alto rendimento	Alto rendimento	Lorda	di cui TLR	Utile Totale	di cui TLR									
																		Lorda	di cui TLR
N.	N.	MW	MW	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	%	
C.C.	6	0	193	0	1.098	1.098	1.098	0	2.896	0	2.832	127	269	0	0	1.365	4.593	23,9	
T.G.	16	3	132	20	585	585	585	77	941	105	1.876	0	0	0	0	0	1.876	31,2	
T.V.Cp	1	1	121	121	203	203	203	203	522	522	329	0	520	0	0	0	849	23,9	
T.V.Cd	1	0	75	0	219	219	219	0	862	0	146	587	0	0	0	588	1.322	16,6	
M.C.I.	225	95	354	144	744	744	744	492	780	519	1.887	0	0	0	0	0	1.887	39,4	
Altro	5	1	59	32	87	87	87	37	331	70	417	64	0	0	0	0	481	18,0	
Totale	254	100	933	317	2.937	2.937	2.937	808	6.331	1.215	7.488	778	789	0	0	1.953	11.008	26,7	

Unità parzialmente CAR
rendimento $< 75\%$ (o $< 80\%$, per unità con turbina di condensazione a estrazione di vapore)

Tecnologie di cogenerazione	Numero di unità		Capacità di generazione		Produzione						Energia primaria								Ren
	Totale	di cui TLR	Energia elettrica		Energia elettrica				Calore		Gas naturale	Petrolio, GPL	Carbon fossile / Coke	Fonti Rinnovabili	Rifiuti	Altro	Totale	Elett	
			Lorda	di cui TLR	Certificata Alto rendimento	Alto rendimento	Lorda	di cui TLR	Utile Totale	di cui TLR									
																		Lorda	di cui TLR
N.	N.	MW	MW	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	Produzione Lorda %		
C.C.	51	15	7.309	2.523	10.614	10.614	33.770	10.061	10.152	2.553	66.306	0	0	0	0	6.390	72.696	46,5	
T.G.	6	0	48	0	149	149	176	0	213	0	563	0	0	0	0	0	563	31,3	
T.V.Cp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n.d.	
T.V.Cd	1	1	118	118	331	331	664	664	735	735	36	0	0	0	2.229	0	2.264	29,3	
M.C.I.	124	44	308	100	1.141	1.141	1.579	458	973	320	3.885	1	0	2	0	3	3.891	40,6	
Altro	5	1	25	0	35	35	159	0	36	0	11	0	0	0	0	410	420	37,8	
Totale	187	61	7.808	2.741	12.271	12.271	36.348	11.183	12.109	3.608	70.800	1	0	2	2.229	6.802	79.835	45,5	

Unità non CAR

Tecnologie di cogenerazione	Numero di unità		Capacità di generazione		Produzione						Energia primaria								Ren
	Totale	di cui TLR	Energia elettrica		Energia elettrica				Calore		Gas naturale	Petrolio, GPL	Carbon fossile / Coke	Fonti Rinnovabili	Rifiuti	Altro	Totale	Elett	
			Lorda	di cui TLR	Certificata Alto rendimento	Alto rendimento	Lorda	di cui TLR	Utile Totale	di cui TLR								Produz	
																			Lorda
N.	N.	MW	MW	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	%	
C.C.	36	5	7.329	1.440	0	4.213	37.834	5.331	15.200	1.481	55.501	16.597	0	0	0	11.541	83.639	45,2	
T.G.	53	2	319	10	0	1.727	1.863	3	3.498	14	4.691	364	0	0	0	1.902	6.957	26,8	
T.V.Cp	7	1	77	20	0	99	99	15	664	44	530	152	0	0	0	180	862	11,4	
T.V.Cd	4	1	79	60	0	85	744	394	1.493	145	720	551	0	0	1.471	794	3.536	21,0	
M.C.I.	227	64	536	131	0	1.539	2.077	377	1.495	642	4.767	6	0	468	0	0	5.241	39,6	
Altro	10	1	1	0	0	5	5	0	8	1	16	0	0	0	0	0	16	29,3	
Totale	337	74	8.342	1.660	0	7.668	42.621	6.121	22.358	2.327	66.226	17.670	0	468	1.471	14.416	100.251	42,5	

Appendice A: Definizioni

Ai fini del presente documento valgono le seguenti definizioni:

- a) Energia termica utile prodotta dall'unità di cogenerazione (H_{CHP}): energia termica prodotta durante il periodo di rendicontazione da un'unità di cogenerazione (di conseguenza in combinazione con la produzione di energia elettrica/meccanica) per soddisfare una domanda di calore o di raffreddamento economicamente giustificabile di un'area di consumo.
- b) Capacità di generazione (P_n): potenza attiva nominale dell'unità, determinata come somma delle potenze attive nominali dei generatori che costituiscono l'unità. La potenza attiva nominale di un generatore è la massima potenza attiva determinata moltiplicando la potenza apparente nominale per il fattore di potenza nominale, entrambi riportati sui dati di targa del generatore medesimo.
- c) Energia elettrica lorda: energia elettrica misurata dai contatori situati ai morsetti di uscita dei generatori elettrici.
- d) Energia elettrica/meccanica totale prodotta dall'unità di cogenerazione ($E_{UNITA'}$): energia elettrica/meccanica lorda prodotta da un'unità di cogenerazione durante il periodo di rendicontazione. Rispetto all'energia elettrica/meccanica totale prodotta dall'impianto di cogenerazione che include la stessa unità, si esclude, ad esempio, l'eventuale energia elettrica prodotta da gruppi elettrogeni di riserva presenti all'interno dell'impianto di cogenerazione.
- e) Energia elettrica/meccanica da cogenerazione (E_{CHP}): energia elettrica/meccanica lorda prodotta nel periodo di rendicontazione dalla parte in cogenerazione dell'unità di cogenerazione (cioè prodotta in combinazione con la produzione di energia termica utile).
- f) Energia elettrica/meccanica non da cogenerazione (E_{NONCHP}): energia elettrica/meccanica lorda prodotta nel periodo di rendicontazione dalla (eventuale) parte non in cogenerazione dell'unità di cogenerazione (cioè non prodotta in combinazione con la produzione di energia termica utile).
- g) Energia di alimentazione dell'unità di cogenerazione ($F_{UNITA'}$): energia totale di alimentazione in ingresso ad una unità di cogenerazione nel periodo di rendicontazione.
- h) Energia di alimentazione in cogenerazione dell'unità di cogenerazione (F_{CHP}): energia di alimentazione in ingresso alla parte in cogenerazione dell'unità di cogenerazione, finalizzata alla produzione combinata di energia elettrica/meccanica ed energia termica utile.
- i) Energia di alimentazione non in cogenerazione dell'unità di cogenerazione ($F_{NONCHP,E}$): energia di alimentazione della parte non in cogenerazione dell'unità di cogenerazione, finalizzata "virtualmente" alla produzione di energia elettrica/meccanica utile.
- j) Parte in cogenerazione ("Parte CHP") dell'Unità di Cogenerazione: nel caso in cui il rendimento globale dell'unità di cogenerazione sia inferiore al rendimento globale di soglia caratteristico della specifica tecnologia di cogenerazione, si intende la parte dell'Unità Virtuale di cogenerazione che consuma energia di alimentazione F_{CHP} per la produzione combinata di energia elettrica /meccanica E_{CHP} ed energia termica utile H_{CHP} , con rendimento globale pari al medesimo rendimento globale di soglia.

- k) Parte non in cogenerazione (“Parte non CHP”) dell’Unità di Cogenerazione: nel caso in cui il rendimento globale dell’unità di cogenerazione sia inferiore al rendimento globale di soglia caratteristico della specifica tecnologia di cogenerazione, si intende la parte dell’Unità Virtuale di cogenerazione che consuma energia di alimentazione $F_{\text{nonCHP,E}}$ per la produzione di energia elettrica /meccanica E_{NONHP} con rendimento “virtuale” elettrico pari a $\eta_{\text{nonchp,E}}$.
- l) Periodo di rendicontazione: arco temporale previsto per la rendicontazione dei parametri che concorrono a qualificare l’unità di cogenerazione come CAR (e/o a rilasciare i CB spettanti all’unità). Di norma coincide con l’anno solare.
- m) Rapporto energia / Calore effettivo (Ceff): rapporto tra Energia elettrica da cogenerazione (E_{CHP}) ed energia termica utile (H_{CHP}) durante il funzionamento in pieno regime di cogenerazione, usando dati operativi dell’unità specifica riferiti al periodo di rendicontazione.
- n) Rapporto energia / Calore di base (Cdefault): se il “rapporto energia/calore” effettivo della specifica unità di cogenerazione non è noto, l’operatore dell’impianto può impiegare il “rapporto energia / calore” di base (C_{default}), come specificato nella tabella contenuta nell’Allegato II del decreto ministeriale 4 agosto 2011. In questo caso, tuttavia, l’operatore deve notificare al GSE le motivazioni della mancanza di un “rapporto energia/calore” effettivo per il quale mancano i dati e le misure adottate per porre rimedio alla situazione.
- o) Ref E_{η} : valore di riferimento per la produzione separata di energia elettrica secondo i parametri indicati nell’Allegato IV del decreto ministeriale 5 settembre 2011. Il valore di riferimento deve essere corretto in funzione della temperatura ambiente media del sito di installazione, della tensione di rete e del rapporto tra energia auto consumata ed immessa in rete secondo le indicazioni riportate negli allegati VI e VII decreto ministeriale 5 settembre 2011.
- p) Ref H_{η} : valore di rendimento per la produzione separata di energia termica secondo i parametri indicati nell’Allegato V del decreto ministeriale 5 settembre 2011.
- q) Rendimento globale (η_{globale}): rapporto che vede a numeratore la somma dell’energia termica utile H_{CHP} e dell’energia elettrica/meccanica totale prodotta dall’unità di cogenerazione ($E_{\text{UNITÀ}}$) e a denominatore l’energia totale del combustibile immesso nell’unità di cogenerazione ($F_{\text{UNITÀ}}$).
- r) Rendimento globale di soglia ($\bar{\eta}_{\text{globale,soglia}}$ o $\bar{\eta}_{\text{globale}}$): Valore minimo del rendimento globale necessario al fine di poter considerare un’unità di Cogenerazione ad Alto Rendimento nella sua interezza; può essere 75% o 80% a seconda della tecnologia di cogenerazione.
- s) Rendimento elettrico in assetto non cogenerativo ($\eta_{\text{non chp,E}}$): rendimento della produzione di energia elettrica / meccanica che l’unità di cogenerazione avrebbe in un assetto puramente elettrico. Tale rendimento viene attribuito alla parte “virtuale” non in cogenerazione dell’unità di cogenerazione, al fine di identificare la produzione di energia elettrica non associata con la produzione di energia termica utile nel periodo di rendicontazione
- t) Unità di cogenerazione: parte di un impianto di cogenerazione i cui confini la quale, in condizioni ordinarie di esercizio, funziona indipendentemente da ogni altra parte dell’impianto di cogenerazione stesso.

- u) Unità virtuale di cogenerazione: nel caso in cui il rendimento globale dell'unità di cogenerazione sia inferiore al rendimento globale di soglia caratteristico della specifica tecnologia di cogenerazione, è necessario suddividere l'Unità di cogenerazione in due parti "virtuali", "parte CHP" e "parte non CHP" al fine di identificare, nota l'energia termica utile H_{CHP} , le ulteriori grandezze principali che concorrono al calcolo del PES (E_{CHP} , F_{CHP}).

Appendice B: Criteri di calcolo del risparmio di energia primaria

1. Criteri di calcolo del risparmio di energia primaria per la produzione dell'energia elettrica prodotta in cogenerazione e dell'energia termica utile – Cogenerazione ad Alto Rendimento

Il risparmio di energia primaria ottenuto dalla produzione in cogenerazione di energia elettrica prodotta in cogenerazione ($E_{CHP,u}$) ed energia termica utile ($H_{CHP,u}$), rispetto alla produzione separata, è calcolato secondo la seguente formula indicata nell'allegato III della direttiva 2004/8/CE del decreto ministeriale 4 agosto 2011:

$$PES,u = 1 - \frac{F_{CHP,u}}{\frac{H_{CHP,u}}{REFH_{\eta,u}} + \frac{E_{CHP,u}}{REFE_{\eta,u}}}$$

Dove:

il pedice “u” indica che le formule sono state applicate per i dati caratteristici di ciascuna unità di cogenerazione.

PES,u è il risparmio di energia primaria

$H_{CHP,u}$ è l'energia termica utile ceduta all'area di consumo durante il periodo di rendicontazione

$E_{CHP,u}$ è l'energia elettrica/meccanica lorda prodotta nel periodo di rendicontazione dalla parte in cogenerazione dell'unità di cogenerazione

$F_{CHP,u}$ è l'energia di alimentazione in ingresso alla parte in cogenerazione dell'unità di cogenerazione, finalizzata alla produzione combinata di energia elettrica/meccanica ed energia termica utile.

$Ref E_{\eta,u}$ è il valore di riferimento per la produzione separata di energia elettrica secondo i parametri. Il valore di riferimento indicato nell'allegato I della decisione 2007/74/CE deve essere corretto in funzione della temperatura ambiente media del sito di installazione, della tensione di rete e del rapporto tra energia auto consumata ed immessa in rete secondo le indicazioni riportate negli allegato VI del decreto ministeriale 4 agosto 2011 (correzione per temperatura) e dell'allegato IV della decisione 2007/74/CE.

$Ref H_{\eta,u}$ è il valore di rendimento per la produzione separata di energia termica secondo i parametri indicati nell'allegato II della decisione 2007/74/CE.

L'energia primaria consumata dai sistemi per la produzione separata di energia elettrica prodotta in cogenerazione e di energia termica utile può essere espressa secondo la seguente formula:

$$F_{SEPARATA} = \frac{H_{CHP,u}}{REFH_{\eta,u}} + \frac{E_{CHP,u}}{REFE_{\eta,u}}$$

Omettendo lo sviluppo analitico della precedente formula, si arriva all'espressione:

$$F_{SEPARATA} = \frac{F_{CHP,u}}{1 - PES_u}$$

Di seguito una tabella di sintesi delle formule di calcolo dell'energia primaria consumata, in base alle due modalità di produzione poste a confronto (produzione separata e produzione in cogenerazione), per la produzione dell'energia elettrica prodotta in cogenerazione (E_{CHP}) e dell'energia termica utile (H_{CHP}):

OUTPUT (parte CHP dell'unità)	MODALITA' DI PRODUZIONE	INPUT (parte CHP dell'unità)
$E_{CHP,u}$ $H_{CHP,u}$	Produzione separata	$\frac{F_{CHP,u}}{1 - PES_u}$
	Produzione in cogenerazione	$F_{CHP,u}$

Il risparmio di energia primaria conseguito da ciascuna unità di cogenerazione per la produzione di $E_{CHP,u}$ e $H_{CHP,u}$ è calcolato, quindi, secondo la seguente formula:

$$RISPARMIO_u (TEP) = \frac{F_{CHP,u}}{1 - PES_u} - F_{CHP,u} = F_{CHP,u} * \frac{PES_u}{1 - PES_u}$$

Il risparmio di energia primaria conseguito dall'insieme complessivo delle unità di cogenerazione per la produzione di $E_{CHP,u}$ e $H_{CHP,u}$ è calcolato secondo la seguente formula:

$$RISPARMIO (TEP) = \sum_{u=1}^N RISPARMIO_u (TEP)$$

In percentuale può essere espresso come:

$$RISPARMIO (\%) = \frac{RISPARMIO (TEP)}{F_{SEPARATA} (TEP)}$$

2. Criteri di calcolo del risparmio di energia primaria per la produzione dell'energia elettrica totale prodotta e dell'energia termica utile – Cogenerazione a basso rendimento.

Una unità di cogenerazione, intesa come unità che produce simultaneamente energia elettrica e calore, può non raggiungere la qualifica di CAR e, nei casi di seguito elencati, l'energia elettrica prodotta è definita come energia cogenerata a basso rendimento ed indicata con la notazione $E_{CHPnoCAR}$:

- rispetto dell'Allegato II della direttiva 2004/8/CE ma rendimento globale dell'unità di cogenerazione inferiore ai valori di soglia. L'unità di cogenerazione è di conseguenza divisa in due parti virtuali di cui una in regime di CAR (parte CHP) e l'altra non in regime di CAR (parte $CHPnoCAR$);
- mancato rispetto dell'Allegato II della direttiva 2004/8/CE. In questo caso, l'energia elettrica prodotta dall'unità è energia elettrica prodotta in cogenerazione ma senza la qualifica di CAR ($E_{CHPnoCAR}$)

In tal caso è necessario quantificare l'energia primaria, procedendo come segue:

- la modalità di produzione in cogenerazione utilizza la quantità $F_{CHPnoCAR,u}$, pari alla differenza tra l'energia totale di alimentazione in ingresso ad una unità di cogenerazione nel periodo di rendicontazione ($F_{UNITA'}$) e l'energia di alimentazione in ingresso alla parte in cogenerazione dell'unità di cogenerazione ($F_{CHP,u}$), quest'ultima pari a 0 nel caso di mancato rispetto dell'allegato III della direttiva 2004/8/CE;
- per la produzione separata si assume un rendimento elettrico desunto dall'allegato I della decisione 2007/74/CE “*Valori di rendimento di riferimento per la produzione separata di energia elettrica*”, indipendente dai fattori di correzione legati alle condizioni climatiche medie e alle perdite evitate sulla rete, determinate in base alla ripartizione dell'energia elettrica prodotta in energia elettrica esportata verso la rete e energia elettrica consumata in loco.

Di seguito una tabella di sintesi delle formule di calcolo dell'energia primaria consumata, in base alle due modalità di produzione poste a confronto (produzione separata e produzione in cogenerazione), per la produzione dell'energia elettrica totale prodotta ($E_{UNITA'}$) e dell'energia termica utile (H_{CHP}).

OUTPUT (unità)	MODALITA' DI PRODUZIONE	INPUT (unità)
$E_{UNITA'} (= E_{CHP,u} + E_{CHPnoCAR,u})$ $H_{CHP,u}$	Produzione Separata	$\frac{E_{CHPnoCAR,u}}{REFE_{\eta base,u}} + \frac{E_{CHP,u}}{1 - PES}$
	Produzione in cogenerazione	$F_{CHPnoCAR,u} + F_{CHP,u}$

$$RISPARMIO_u(TEP) = \frac{E_{CHPnoCAR,u}}{REFE_{\eta}base,u} + \frac{E_{CHP,u}}{1 - PES} - (F_{CHPnoCAR,u} + F_{CHP,u})$$

$$INPUT\ PROD. SEPARATA_u(TEP) = \frac{E_{CHPnoCAR,u}}{REFE_{\eta}base,u} + \frac{F_{CHP,u}}{1 - PES_u}$$

$$RISPARMIO(TEP) = \sum_{u=1}^N RISPARMIO_u(TEP)$$

$$INPUT\ PROD. SEPARATA(TEP) = \sum_{u=1}^N INPUT\ PROD. SEPARATA_u(TEP)$$

$$RISPARMIO(\%) = \frac{RISPARMIO(TEP)}{INPUT\ PROD. SEPARATA(TEP)}$$