



DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
INDUSTRIALE

Diagnosi energetiche in ambito ospedaliero: un caso studio

Prof. ing. Massimo Dentice d'Accadia



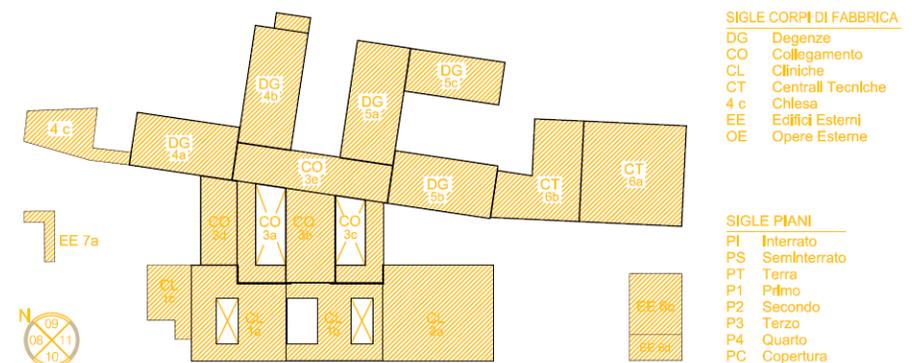
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II



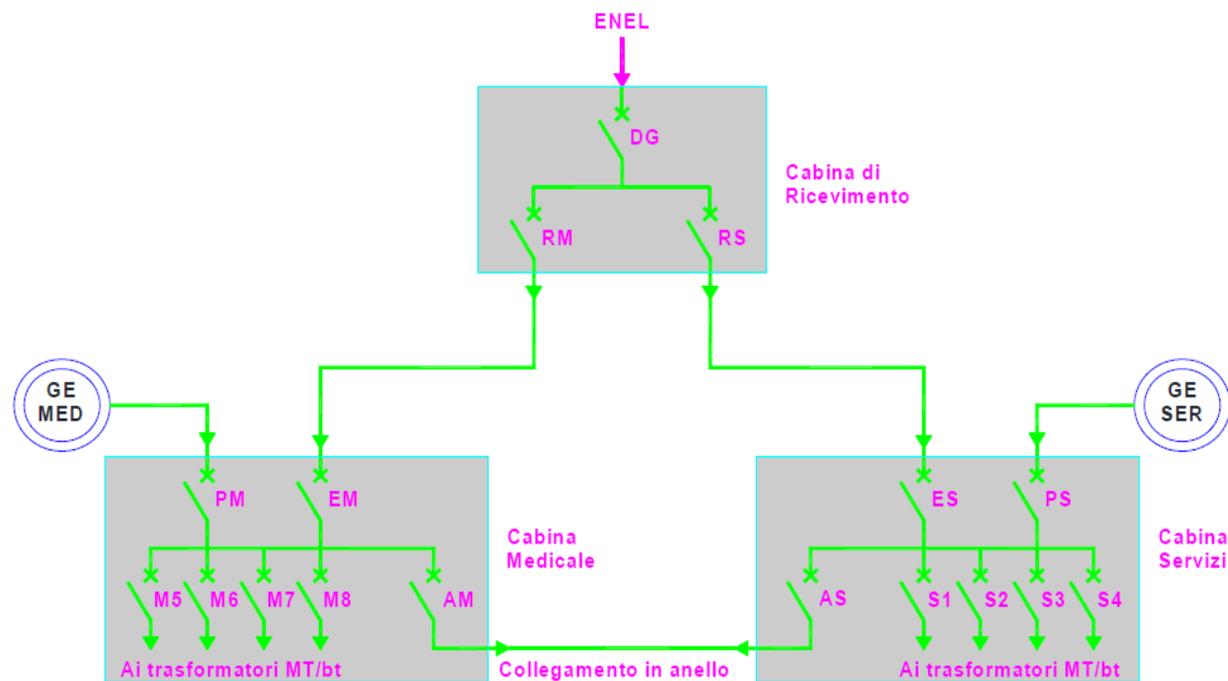
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
INDUSTRIALE

Il complesso ospedaliero oggetto della diagnosi

- Ubicazione: Sud Italia, zona D, 1600 GG
- 7 corpi di fabbrica
- superficie coperta $\approx 75.000 \text{ m}^2$ -
- superficie riscaldata $\approx 60.000 \text{ m}^2$
- volume lordo $\approx 330.000 \text{ m}^3$
- volume climatizzato $\approx 180.000 \text{ m}^3$
- ≈ 3.000 vani
- 33 reparti specialistici, 2 sale operatorie, sala convegni
- ≈ 600 posti letto
- ≈ 160.000 giornate/anno effettive di degenza
- soggetto obbligato ai sensi del D.Lgs. 102/2014 (ospedale privato, Grande Impresa per numero di dipendenti e fatturato) → **Prima Diagnosi nel 2019**



Dotazione impiantistica al 2019: impianti elettrici



Reparti, camere operatorie,
ambulatori, studi medici, etc.

Impianti tecnologici,
cucina, servizi accessori

- *Ospedale alimentato in Media Tensione (MT) a 20 kV, con potenza disponibile di 3.500 kW*

- *Rete ad anello (normalmente aperto; chiuso in caso di guasto di una delle due linee che partono dalla cabina di ricezione, oppure in caso di indisponibilità di uno dei due Gruppi Elettrogeni, da 2 MVA cad.)*

Consumi elettrici (dati storici)



Consumo elettrico medio ≈ 15.000 MWh/anno

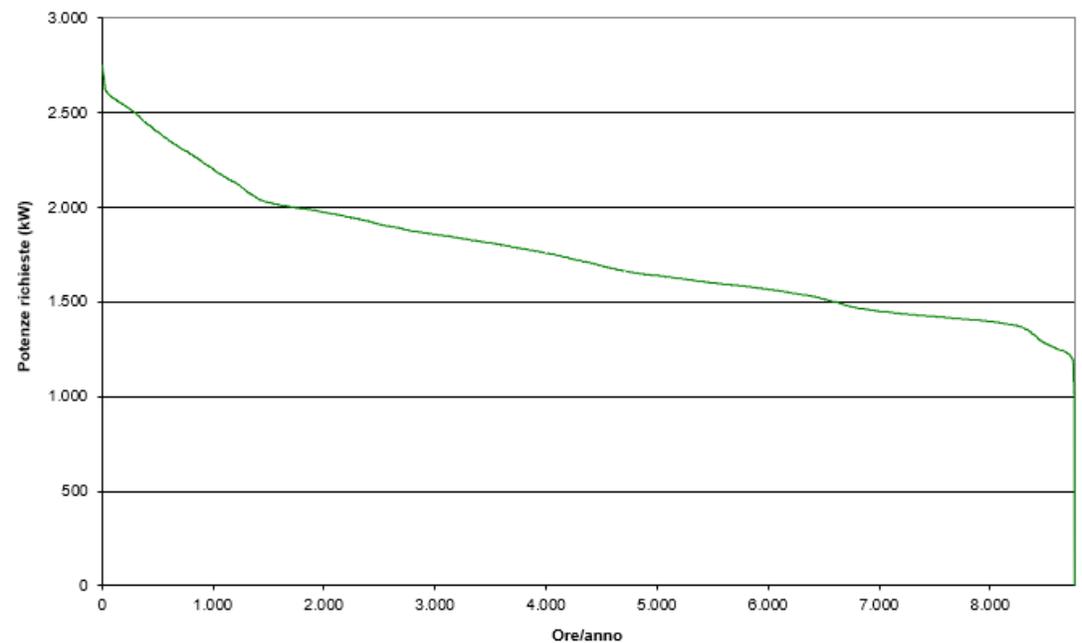
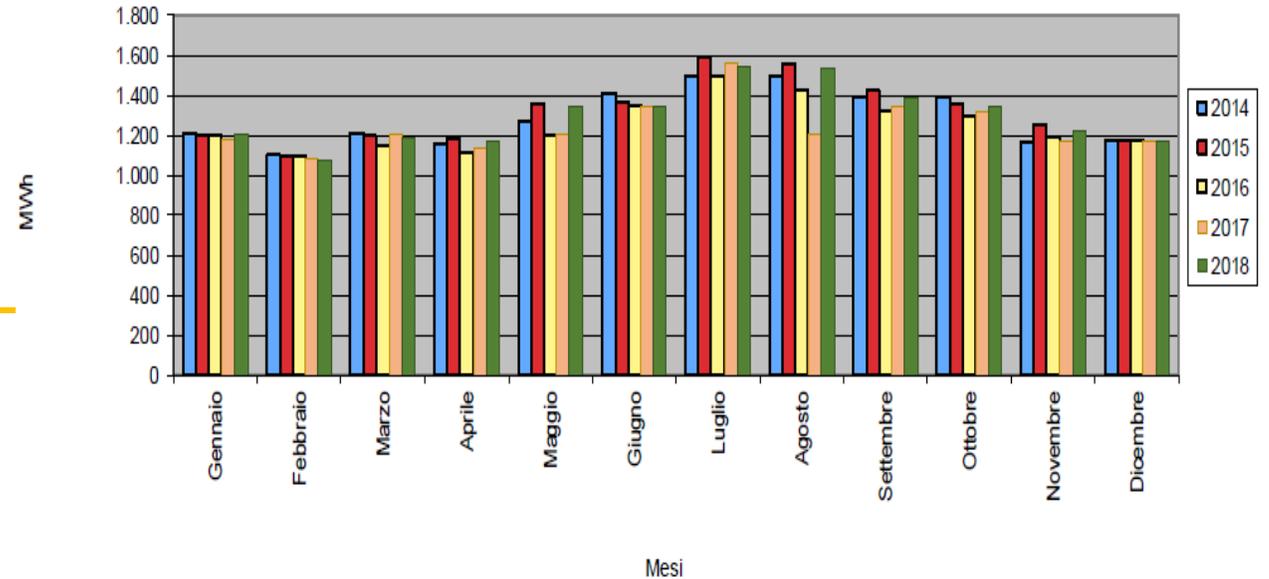


Potenze di picco ≈ 2.900 kW



Costo medio $\approx 2,5$ M€/anno

Consumi di energia elettrica



Dotazione impiantistica al 2019: impianti meccanici

- *N. 3 caldaie a gas naturale da 3.500 kW cad.:*
 - *produzione di acqua calda a 80/70 °C destinata al riscaldamento (alimentazione UTA) e, tramite scambiatori in sottocentrale, alla produzione di acqua calda sanitaria a 55 °C.*
- *N. 2 generatori di vapore da 2100 kW cad.:*
 - *produzione di 3.000 kg/h di vapore saturo a 6 bar, per usi tecnologici (umidificazione nelle UTA, sterilizzazione, mense).*
- *N. 3 Gruppi frigoriferi condensati ad acqua con compressori centrifughi da 3.000 kW cad.*
- *N. 4 torri evaporative a circuito aperto da 3.500 kW cad.*
- *47 UTA, con portate tra 2.500 e 31.000 m³/h, 28 delle quali con inverter*
- *Inoltre: 64 estrattori, 82 unità autonome per condizionamento o ventilazione, tra le quali le più rilevanti sono quelle a servizio della Risonanza Magnetica (chiller da 40 kW elettrici) e del “bunker” della radioterapia (chiller da 70 kW elettrici)*

Consumi termici (dati storici)

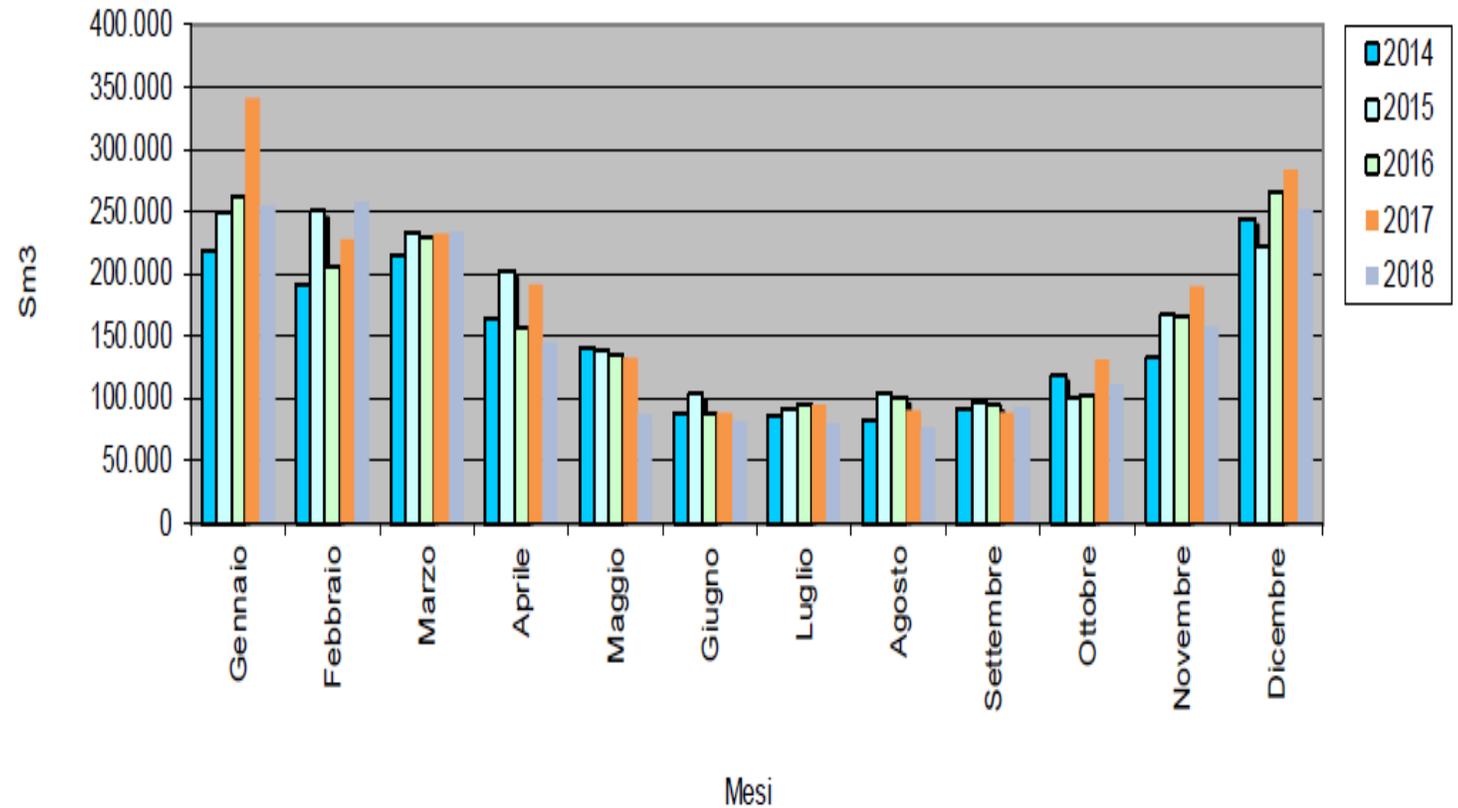


Consumo medio di G.N. \approx
 $1,8 \text{ MSm}^3/\text{anno}$



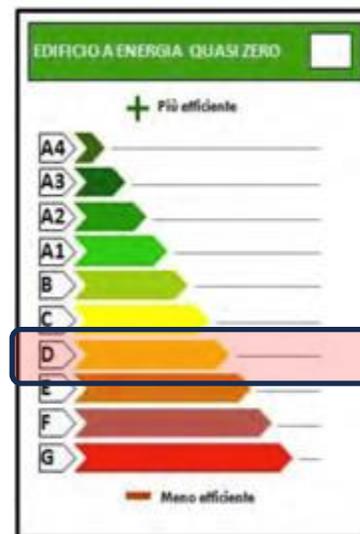
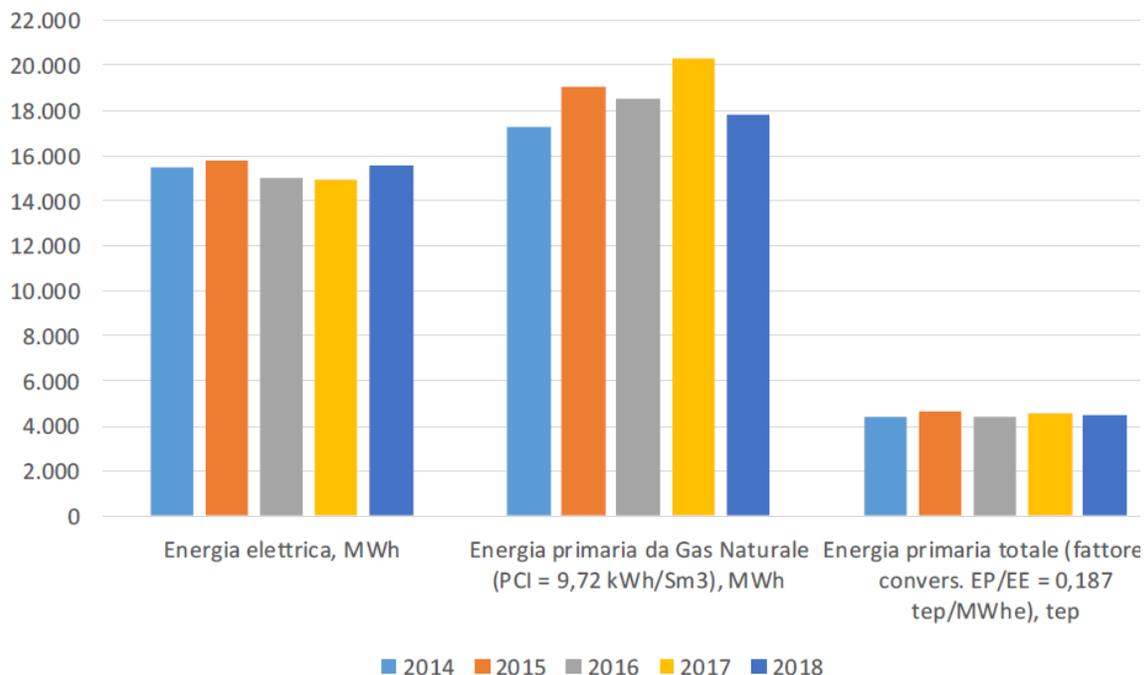
Costo medio \approx $2,0$
 $\text{M}\text{€}/\text{anno}$

Consumi di gas naturale



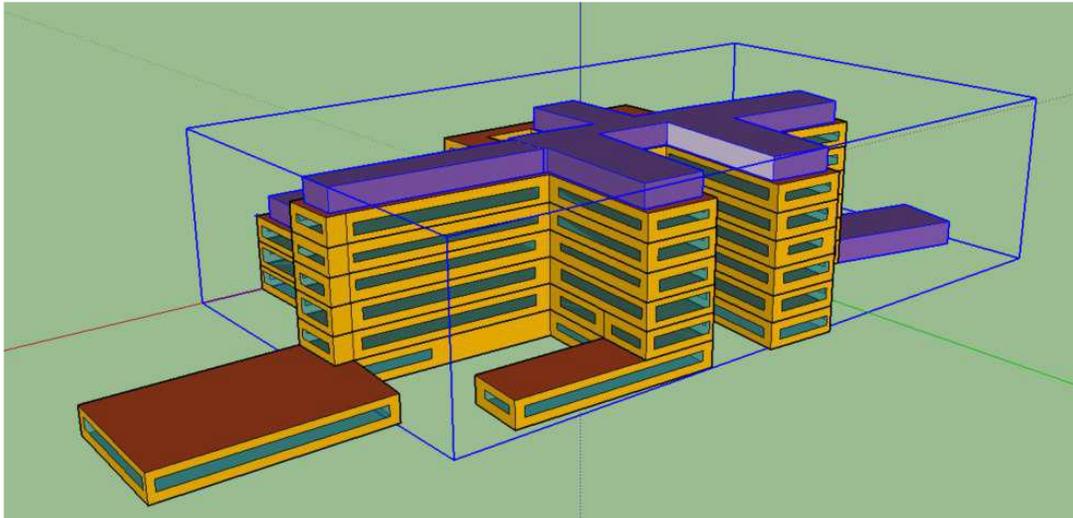
Consumi totali (dati storici)

Consumi annuali complessivi



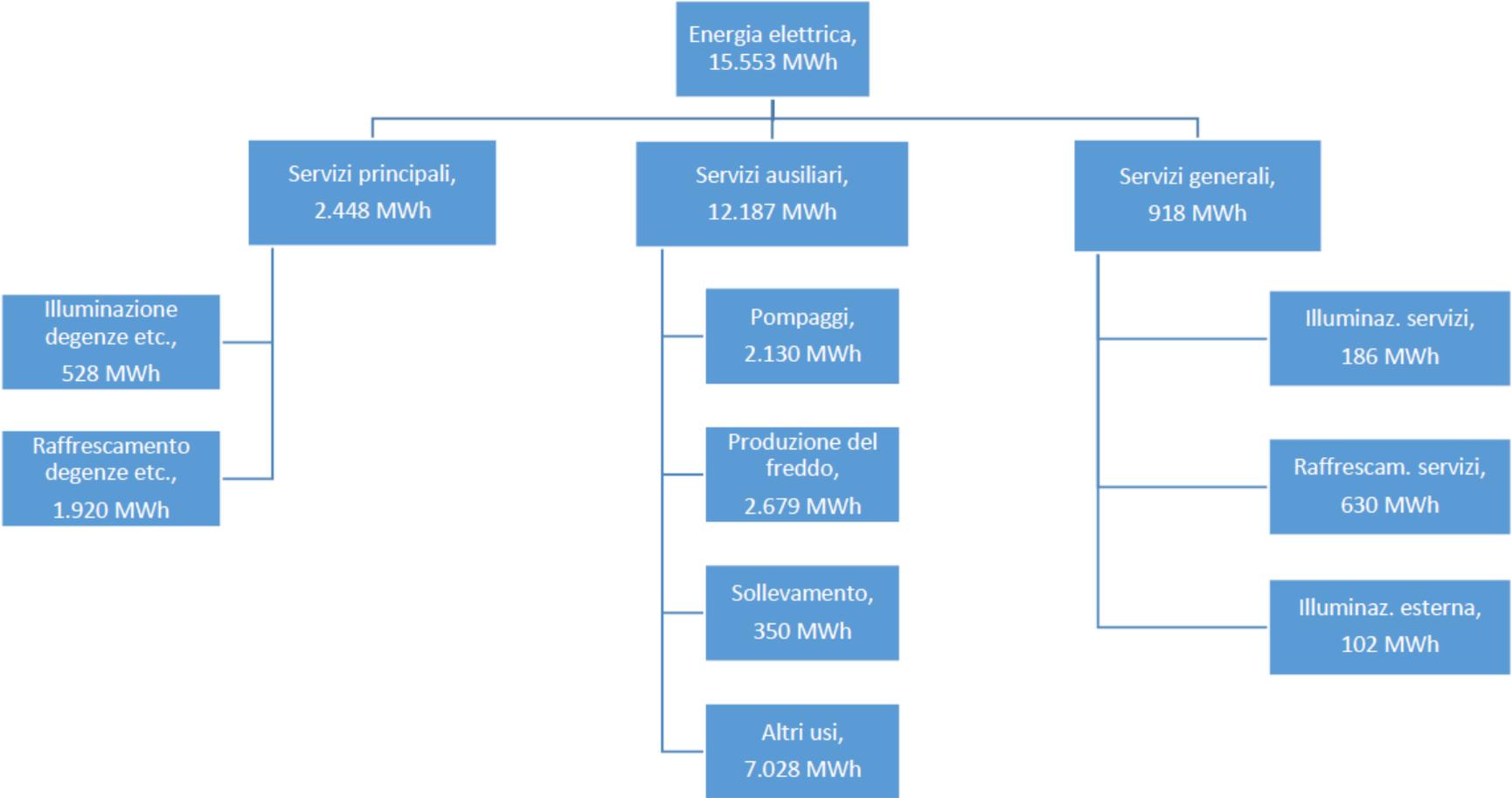
	Classe A4	$\leq 0,40 EP_{gl,nr,Lst}$
$0,40 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe A3	$\leq 0,60 EP_{gl,nr,Lst}$
$0,60 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe A2	$\leq 0,80 EP_{gl,nr,Lst}$
$0,80 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe A1	$\leq 1,00 EP_{gl,nr,Lst}$
$1,00 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe B	$\leq 1,20 EP_{gl,nr,Lst}$
$1,20 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe C	$\leq 1,50 EP_{gl,nr,Lst}$
$1,50 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe D	$\leq 2,00 EP_{gl,nr,Lst}$
$2,00 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe E	$\leq 2,60 EP_{gl,nr,Lst}$
$2,60 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe F	$\leq 3,50 EP_{gl,nr,Lst}$
	Classe G	$> 3,50 EP_{gl,nr,Lst}$

Analisi dei consumi

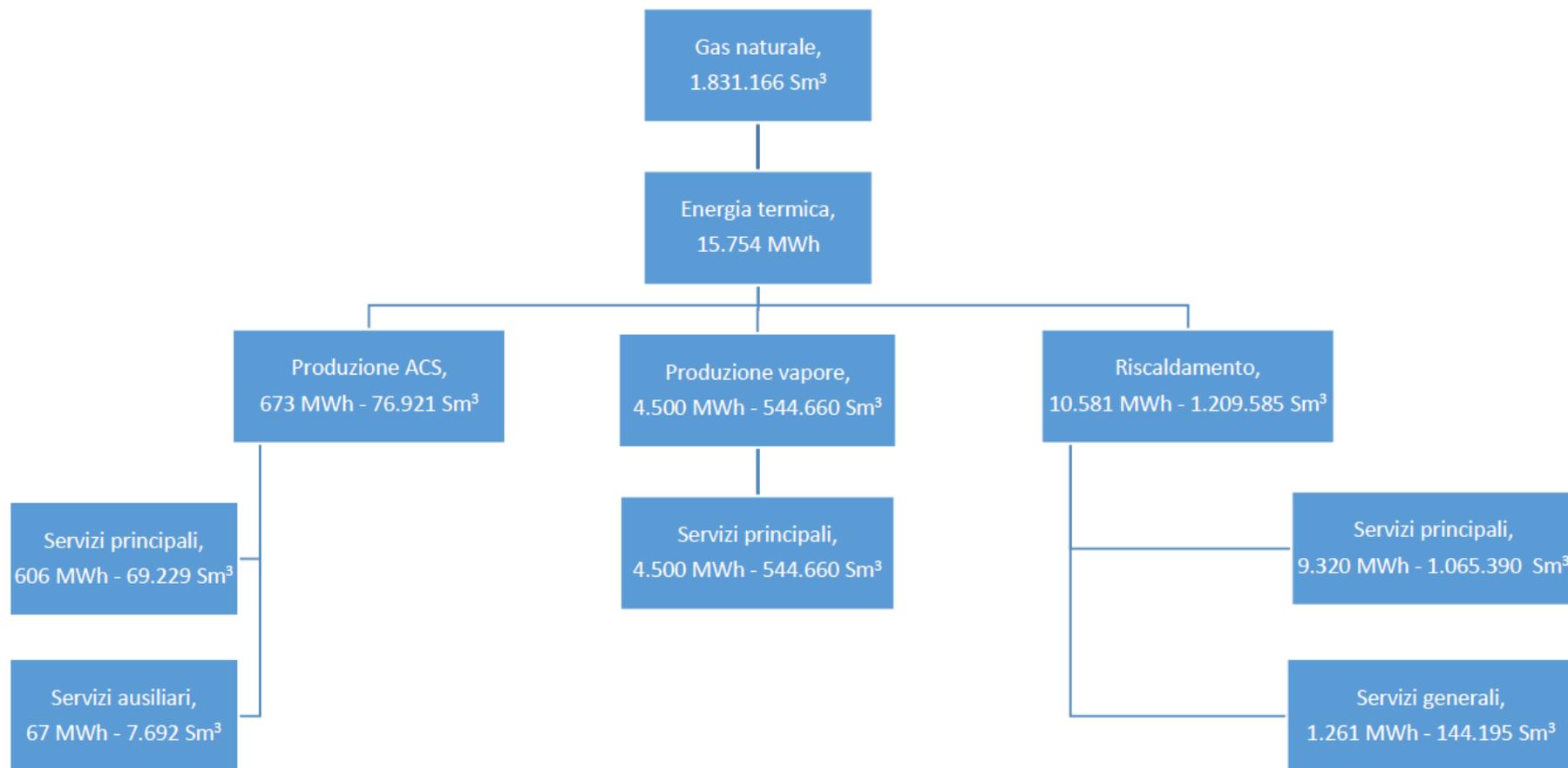


- *Metodologia: simulazione dinamica (TRNSYS) e taratura del modello mediante i dati sperimentali (parziali) disponibili*

Risultati: diagramma di flusso dell'energia elettrica (2018)



Risultati: diagramma di flusso dell'energia termica (2018)



Indicatori e benchmark: consumi per p.l.

Anno	Numero di posti letto, p.l.	Energia elettrica per posto letto, MWh/p.l.	Energia primaria da Gas Naturale (PCI = 9,72 kWh/Sm3) per posto letto, kWh/p.l.	Energia primaria totale (fattore di convers. EP/EE = 0,187 tep/MWhe) per posto letto, tep/p.l.	Energia primaria totale per posto letto - valore medio nazionale ⁽¹⁾ , tep/p.l.	Energia primaria totale per posto letto - valore medio regionale ⁽²⁾ , tep/p.l.
2014	603	25,7	28,6	7,27	5,50	8,48
2015	607	26,0	31,5	7,56		
2016	588	25,6	31,4	7,48		
2017	575	26,0	35,4	7,90		
2018	571	27,2	31,2	7,77		

(1) ENEA - Rapporto annuale efficienza energetica 2019, tab. 4.9 - pag. 78.

(2) ENEA - Valutazione dei consumi nell'edilizia esistente e benchmark mediante codici semplificati: analisi di edifici ospedalieri - Report RSE/2009/117

Indicatori e benchmark: consumi per m²

Anno	Energia elettrica per unità di superficie, kWh/m ²	Energia elettrica per unità di superficie, valore medio nazionale ⁽¹⁾ , kWh/m ²	Energia termica per unità di superficie, kWh/m ²	Energia termica per unità di superficie, valore medio nazionale ⁽¹⁾ , kWh/m ²	Energia primaria totale (fattore di convers. EP/EE = 0,187 tep/MWhe) per unità di superficie, tep/m ²	Energia primaria totale per unità di superficie - valore medio nazionale ⁽¹⁾ , tep/m ²
2014	257,8	253,0	258,7	385,0	0,0729	0,0841
2015	262,5		286,0		0,0764	
2016	250,2		277,0		0,0733	
2017	248,7		304,7		0,0756	
2018	258,9		266,6		0,0739	

(1) ENEA - Rapporto annuale efficienza energetica 2019, tab. 4.9 - pag. 78.

Interventi già effettuati precedentemente alla diagnosi



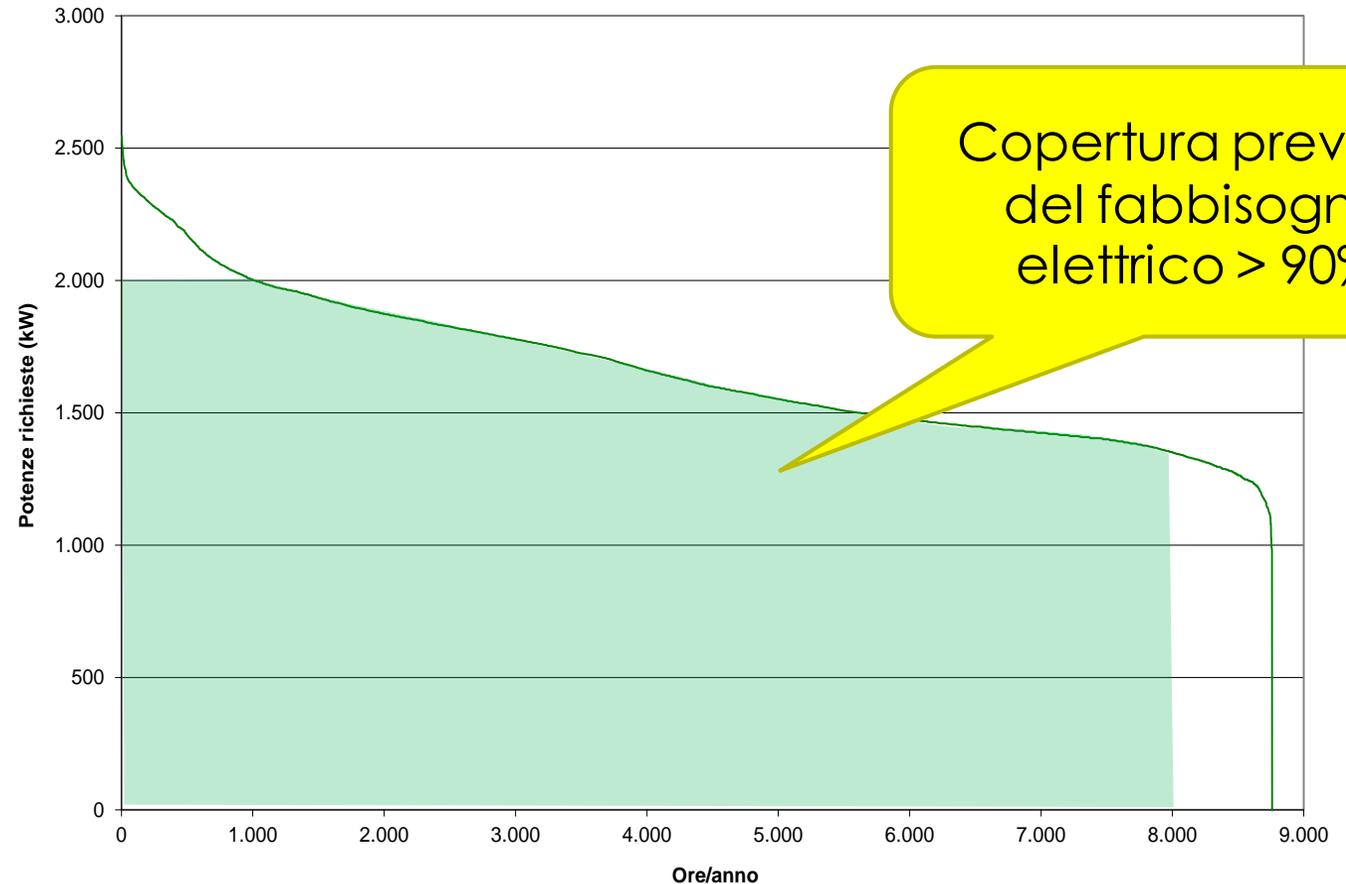
- Installazione (2016) di 1450 corpi illuminanti a LED da 22 W ciascuno, in sostituzione di altrettanti corpi a fluorescenza da 4x18 W (corpi illuminanti ubicati nelle hall, nelle aree adibite a ufficio e in tutti i corridoi e le aree comuni della struttura).
- Considerando un tempo medio di accensione di 16 h/giorno, il consumo medio risulta pari a 186 MWh/anno, con un risparmio, rispetto ai consumi precedenti, di **423 MWh/anno**

Interventi già programmati prima della diagnosi

Al momento della diagnosi, era già stato stipulato un contratto per la realizzazione e la gestione, per un periodo massimo di 10 anni, nell'ambito di un contratto di Servizio Energia (*realizzazione, O&M a carico del gestore + vendita di E_e , E_f e E_t all'ospedale, a tariffe agevolate*), di un impianto di trigenerazione con le seguenti caratteristiche:

- gruppo di cogenerazione ECOMAX[®] 20 HE (motore alternativo Jenbacher, modello JMS 612 GS-N.L.):
 - *potenza elettrica = 2.00 MW;*
 - *potenza termica = 1,80 MW, di cui:*
 - *1,02 MW sotto forma di acqua calda a 85 °C (raffreddamento olio, 1° stadio intercooler, acqua camicie e recuperatore sul circuito fumi);*
 - *0,78 MW sotto forma di vapore a 6 bar (scambiatore sul circuito fumi);*
 - *rendimento elettrico lordo nominale = 44,1%;*
- macchina frigorifera ad assorbimento ad H₂O/LiBr a singolo effetto da 750 kW frigoriferi – COP nominale 0,75, alimentata dal recupero a bassa temperatura del cogeneratore.

Curva di durata del carico elettrico con trigenerazione e relativa copertura mediante autoproduzione



Curva di durata del
carico termico
equivalente (compreso
assorbitore) con
trigenerazione e relativa
copertura mediante
autoproduzione



Interventi individuati nella diagnosi del 2019 (quadro sinottico)

N. intervento	Descrizione intervento	Risparmio di energia primaria (tep/anno)	Emissioni evitate di gas serra (t/anno)	Investimento, I (€)	Costo dell'energia risparmiata in 10 anni (€/tep)	Risparmio economico (€/anno)	Tempo di ritorno (anni)	VAN, 10 anni, 5% (€)	VAN/I, 10 anni, 5% (-)	TIR (%)
1	Free-cooling cabine elettriche e sale tecniche	89,7	237	70.000	78,0	60.000	0,97	485.965	6,9	102,8%
3	Inverter circuito acqua refrigerata e di torre	87,9	232	90.000	102,4	65.000	1,5	363.652	4,0	64,8%
4	Inverter acqua calda per riscaldamento	11,2	29,6	15.000	133,9	7.500	2,0	42.913	2,9	49,1%
5	LED aree esterne	5,4	14,3	15.000	277,8	3.625	4,1	12.991	0,87	20,4%
6	Aggiornamento e potenziamento del sistema di supervisione	114	291	300.000	263,2	64.930	4,6	201.372	0,67	17,2%
2	Sostituzione di due gruppi frigoriferi con gruppi a levitazione magnetica	97,2	257	380.000	390,9	65.000	5,8	121.913	0,32	11,2%

Installazione di sistemi per il free-cooling in cabine elettriche e sale tecniche: dettagli dell'intervento

- *Implementazione, negli armadi condizionatori idronici utilizzati per il condizionamento delle cabine elettriche e dei due locali tecnici che ospitano apparecchiature elettriche varie (quadri, trasformatori, etc.), di un sistema di ventilazione con aria esterna, al fine di garantire, ove possibile (inverno e mezze stagioni, comunque con T esterna sotto i 22 °C circa), il free cooling degli ambienti.*
 - *Il sistema sarà ausiliario agli armadi idronici esistenti, attivi al momento anche nella stagione invernale e nelle mezze stagioni, con forte dispendio energetico, sia per la necessità di attivare i gruppi frigoriferi, di grande taglia, pur in presenza di richieste frigorifere molto modeste (e quindi con fattore di carico basso), sia per i consumi associati al pompaggio dell'acqua refrigerata.*
 - *Al fine di ottimizzare i consumi dei ventilatori aggiuntivi, la portata immessa nell'ambiente sarà regolata tramite inverter nell'intervallo 1 – 12 Vol/h, per ottenere una temperatura obiettivo di 23 °C, mentre la potenza elettrica assorbita dai ventilatori varierà linearmente con la portata, con un valore massimo di 20 kW.*
-

Ragionamenti su un eventuale impianto fotovoltaico (intervento al momento accantonato)



	Senza fotovoltaico			Con fotovoltaico da 1200 kWp				Costo minor produzione termica, MIN	Costo minor produzione termica, MAX		
	Da trigenerazione	Da rete	Fabbisogno totale	Da trigenerazione	Da fotovoltaico	Da rete	Fabbisogno totale				
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh				
Gen	1.154	43	1.197	1.113	44	40	1.197	3.448	3.822		
Feb	1.085	56	1.141	1.047	54	40	1.141	3.207	3.555		
Mar	1.175	76	1.251	1.114	97	40	1.251	5.179	5.741		
Apr	1.184	49	1.233	1.068	125	40	1.233	9.785	10.846		
Mag	1.157	96	1.253	1.057	156	40	1.253	8.471	9.389		
Giu	1.310	194	1.504	1.281	183	40	1.504	2.465	2.732		
Lug	1.439	288	1.727	1.439	202	86	1.727	29	32		
Ago	1.359	246	1.605	1.359	182	64	1.605	28	31		
Set	1.321	230	1.551	1.321	114	116	1.551	19	22		
Ott	1.334	-	1.334	1.206	88	40	1.334	10.821	11.995		
Nov	1.143	40	1.183	1.090	53	40	1.183	4.454	4.937	Investimento FV 1300 €/ kW	
Dic	1.178	129	1.307	1.231	36	40	1.307	0	0		
Tot	14.839	1.447	16.286	14.325	1.335	626	16.286	47.906	53.103		
Costo totale, €	3.040.800	390.690	3.431.490	2.935.555		169.020	3.104.575	Risparmio FV, €/anno	Risparmio FV, €/anno	SPB FV	
Costo medio, €/MWh			210,7				190,6	243.009	237.812	6,5	anni

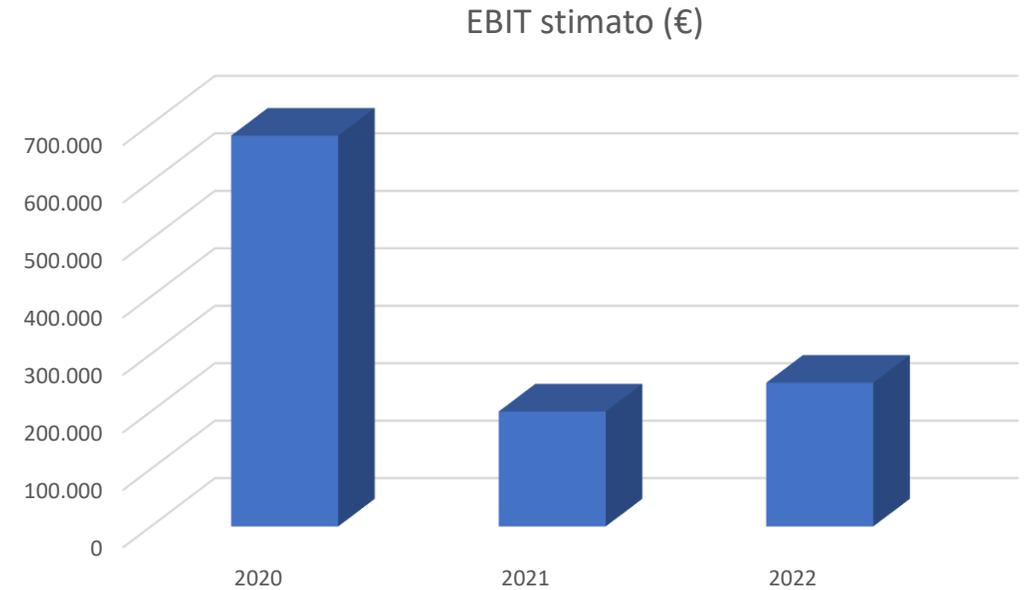
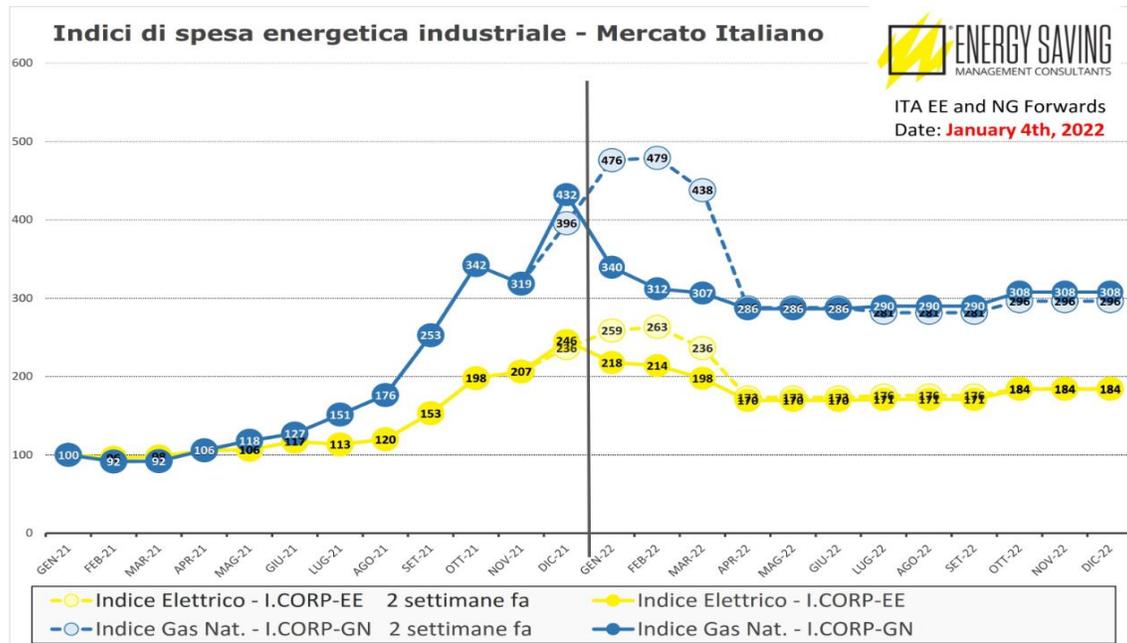
Alcni dati di esercizio del sistema di trigenerazione (2020)

	Gas Naturale	Energia Elettrica	Vapore	Acqua Motore	Totale Energia Recuperata	Rend. El.	Rend. Termico	Rend. Globale	PES	Risparmio Energia Primaria	tep risparmiate	CO2 evitata	Certificati Bianchi
	Energia di Input	Prodotta da Motore	Energia da Recuperat ore Fumi	Cascame Termico Disponibile		CHP E_{η}	CHP H_{η}	η_{glob}		RISP			CB
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	%	%	%	%	MWh	t	t	-
Gennaio	2.656	1.129	526	408	934	42,5	35,2	77,7	22,9	1.137	98	180	127
Febbraio	2.397	1.011	470	511	981	42,2	40,9	83,1	26,0	1.160	100	190	130
Marzo	2.775	1.156	525	606	1.131	41,7	40,8	82,4	25,3	1.302	112	212	146
Aprile	2.569	1.070	469	567	1.036	41,6	40,3	82,0	25,0	1.193	103	194	133
Maggio	3.004	1.288	436	645	1.081	42,9	36,0	78,9	23,7	1.340	115	214	150
Giugno	2.986	1.277	310	641	951	42,8	31,9	74,6	20,7	1.187	102	184	133
Luglio	3.277	1.407	306	720	1.026	42,9	31,3	74,3	20,5	1.296	111	200	145
Agosto***	2.808	1.204	247	641	888	42,9	31,6	74,5	20,6	1.117	96	173	125
Settembre	3.865	1.658	359	862	1.221	42,9	31,6	74,5	20,6	1.537	132	238	172
Ottobre	3.248	1.364	354	675	1.029	42,0	31,7	73,7	19,5	1.224	105	187	137
Novembre	2.795	1.165	335	586	921	41,7	33,0	74,6	20,0	1.071	92	165	120
Dicembre	2.679	1.110	457	595	1.052	41,4	39,3	80,7	24,0	1.198	103	193	134
Anno	35.056	14.839	4.794	7.457	12.251	42,3	34,9	77,3	22,3	14.761	1.269	2.331	1.650

Alcni dati di esercizio del sistema di trigenerazione (2020)

	Energia (MWh)		Costi Ospedale, al netto dell'IVA (€)	
	<i>Sistema di riferimento (senza cogen.)</i>	<i>Configurazione attuale, con trigenerazione</i>	<i>Sistema di riferimento (senza trigenerazione)</i>	<i>Configurazione attuale, con trigenerazione</i>
En. el. da cogen., Eecog, comprese accise		14.200		1.505.586
En. el. da rete esterna, Eerete	16.008	1.014	2.069.323	237.127
En. term. da cogen., Etcog		7.676		180.441
En. term. da caldaie e GV, Etca	16.030	8.355	531.718	280.222
En. frig. da cogen., Efcog		3.177		75.390
TOTALE 2020 (MWh)	32.039	34.421	2.601.042	2.278.768
			Risparmio economico Ospedale (€)	322.274
			Risparmio economico, comprensivo di IVA (€)	393.175

Modifiche contrattuali 2021-2022 (“caro-energia”)



Modifiche contrattuali 2021-2022 (“caro-energia”): nuove tariffe basate sull’equiripartizione dell’EBIT

$$EBIT = (E_{e_cog} + E_{f_cog}/4) \cdot C_{EE_rif} + (E_{t_cog}/\eta_{ca}) \cdot C_{GN_CT} - (E_{e_cog}/\eta_{e_cog}) \cdot C_{GN_COG} - A - Opex + Tee$$

$$Saving Ospedale, SO = E_{e_cog} \cdot (C_{EE_rif} - T_e) + E_{f_cog} \cdot (C_{EE_rif}/COP - T_f) + E_{t_cog} \cdot (C_{GN_CT}/\eta_{ca} - T_t)$$

con:

- A = costo di ammortamento (€/anno)
- $Opex$ = costi di gestione e manutenzione (€/anno)
- Tee = proventi da vendita di Titoli Efficienza Energetica (€/anno)
- C_{EE_rif} = costi variabili energia elettrica di rete, al netto di accise e IVA (€/MWh)
- C_{GN_CT} = costo medio del gas naturale per la Centrale Termica, depurato dell’incidenza della capacità giornaliera (CG), che viene assunta forfetariamente pari a 2 €/MWh nei mesi da novembre ad aprile, e a 5 €/MWh nei mesi rimanenti, al netto dell’IVA (€/MWh)
- C_{GN_COG} = costo medio del gas naturale per il cogeneratore, al netto dell’IVA (€/MWh)
- T_e, T_f, T_t = tariffe E_e, E_t ed E_f per l’ospedale, con $T_f = T_e/COP$, e $COP = 4$ (€/MWh)

Modifiche contrattuali 2021-2022 (“caro-energia”): nuove tariffe basate sull’equiripartizione dell’EBIT

Imponendo:

- *Saving Ospedale, SO = EBITDA / 2*
- *$T_t = T_e / K$, con $K = \text{costante predefinita} = 4 \div 5$*

si ricava:

$$T_e = 0,50 \cdot [(E_{e_cog} + E_{f_cog} / 4) \cdot C_{EE_rif} + (E_{t_cog} / h_{ca_cog}) \cdot C_{GN_CT} +$$

$$+ (E_{e_cog} / h_{e_cog}) \cdot C_{GN_COG} + A + Opex - Tee] / (E_{e_cog} + E_{f_cog} / 4 + E_{t_cog} / K)$$

Ad esempio, a maggio 2023, con $K = 5$:

- $T_e = 161 \text{ €/MWh}$ (vs. $C_{EE_rif} \approx 176 \text{ €/MWh}^*$)
- $T_f = 161 / 4 = 40,3 \text{ €/MWh}$ (vs. $C_{EF_rif} \approx 59 \text{ €/MWh}$)
- $T_t = 161 / 5 = 32,2 \text{ €/MWh}$ (vs. $C_{ET_rif} \approx 63 \text{ €/MWh}$)

* Solo costi variabili, senza accise: il costo medio effettivo lordo è stato di 218 €/MWh + IVA



Grazie per
l'attenzione!
