

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

**CARATTERIZZAZIONE DEL
FABBISOGNO TERMICO E
DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO
TRIGENERATIVO DI UN EDIFICIO
OSPEDALIERO**



RELATORE
Prof. Marco Badami

CANDIDATO
Carmine Russomando
matr. 260269

Anno accademico 2019 – 2020

Indice

Introduzione	1
1 Panoramica sul settore sanitario	3
1.1 Consumi di energia termica	3
1.2 Organizzazione delle strutture ospedaliere	5
1.3 Principali utenze di energia termica	6
1.3.1 Riscaldamento e climatizzazione ambientale	7
1.3.2 Produzione di acqua calda sanitaria	10
1.3.3 Servizio di sterilizzazione	10
1.3.4 Servizio di disinfezione	14
1.3.5 Servizio di cucina	16
1.4 Energy Service Company e bando MIES	17
2 Analisi statistica sul parco di strutture ospedaliere	21
2.1 Introduzione all'analisi statistica	21
2.2 Modello previsionale del fabbisogno termico annuo	23
2.3 Test sull'Ospedale di Vercelli	30
2.4 Considerazioni sui profili di fabbisogno termico	34
3 Dimensionamento del trigeneratore	40
3.1 Impianti trigenerativi	40
3.2 Analisi energetica	42
3.2.1 Cogeneratore da $600kW_e$ e assorbitore da $470kW_f$	46
3.2.2 Cogeneratore da $800kW_e$ e assorbitore da $568kW_f$	51
3.3 Analisi economica	57
3.3.1 Cogenerazione ad alto rendimento	58
3.3.2 Valorizzazione di energia elettrica e combustibile	63
3.3.3 Servizio di ritiro dedicato	64
3.3.4 Canone annuo e investimento iniziale	66
3.3.5 Scelta dell'impianto trigenerativo	68
Conclusioni	71
Bibliografia	79
Appendice A	83

Appendice B	88
Ringraziamenti	95

Elenco delle tabelle

1.1	Consumo medio di energia termica negli ospedali A e B in Polonia [11].	7
1.2	Requisiti termoigrometrici (inverno – estate) secondo la D.P.R. 14/1/97.	8
1.3	Ricambi d’aria secondo la Circolare n. 13011 del 22/11/74.	8
1.4	Requisiti del sistema VCCC di un blocco operatorio secondo la UNI 1145.	9
1.5	Relazione tempo–temperatura per la sterilizzazione a vapore.	12
2.1	Campione di strutture ospedaliere con indicazione di fabbisogno termico annuo ET , superficie lorda SL e numero di posti letto PL	22
2.2	Coefficienti di correlazione tra fabbisogno termico annuo, numero di posti letto e superficie lorda.	24
2.3	Clusterizzazione delle fonti di variabilità $HDDY$ e $CDDY$ secondo [41].	27
2.4	p -value risultanti dall’analisi di varianza a tre vie per $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$	27
2.5	Fabbisogni termici annui per unità di superficie di edifici residenziali a Milano, Roma e Palermo [42]	28
2.6	Informazioni sull’Ospedale Sant’Andrea di Vercelli. Le classi $E2$ ed $E3$ di destinazione d’uso ai sensi del D.P.R. 412/93 corrispondono rispettivamente a “ <i>Edifici adibiti a uffici e assimilabili</i> ” e “ <i>Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura assimilabili</i> ”. Le ore di comfort settimanali ORE_{RS} sono le ore settimanali durante le quali deve essere assicurata la temperatura richiesta, nei limiti previsti per l’esercizio degli impianti termici all’art. 9, comma 2, del D.P.R. 412/93 e s.m.i; le ore di comfort giornaliere ORE_{RG} sono le ore medie giornaliere di comfort, calcolate come rapporto tra ORE_{RS} e il numero di giorni in cui è richiesta anche solo un’ora di comfort.	30
2.7	Misurazione e stima del fabbisogno termico annuo presso l’Ospedale Sant’Andrea di Vercelli.	33
2.8	Errori percentuali dei modelli di regressione rispetto ai valori misurati presso l’Ospedale Sant’Andrea di Vercelli.	33
3.1	Caratteristiche delle principali tecnologie cogenerative.	40
3.2	Fabbisogni energetici dell’Ospedale Sant’Andrea di Vercelli nell’anno 2017 presi come riferimento per il dimensionamento dell’impianto trigenerativo.	44
3.3	Confronto tra cogeneratori di taglie diverse nell’ipotesi di possibile immissione in rete dell’energia elettrica.	45
3.4	Cogeneratore da $600kW$ – Schede tecniche del cogeneratore e dell’assorbitore.	47
3.5	Cogeneratore $600kW$ – Ripartizione del fabbisogno termico mensile post operam tra cogeneratore e generatori di calore.	47

3.6	Cogeneratore 600kW – Ripartizione del consumo mensile di gas naturale post operam tra cogeneratore e generatori di calore.	48
3.7	Cogeneratore 600kW – Energia termica assorbita, energia frigorifera erogata ed energia elettrica risparmiata per mezzo dell'assorbitore.	48
3.8	Cogeneratore 600kW – Fabbisogno elettrico della struttura ospedaliera post operam. . .	48
3.9	Cogeneratore 600kW – Quantità mensili di energia elettrica prodotta dal cogeneratore, prelevata dalla rete e immessa in rete.	49
3.10	Cogeneratore da 800kW – Scheda tecnica del cogeneratore e dell'assorbitore.	52
3.11	Cogeneratore 800kW – Variazione dei principali parametri al variare della percentuale di carico.	52
3.12	Cogeneratore 800kW – Ripartizione del fabbisogno termico mensile post operam tra cogeneratore e generatori di calore.	53
3.13	Cogeneratore 800kW – Ripartizione del consumo mensile di gas naturale post operam tra cogeneratore e generatori di calore.	53
3.14	Cogeneratore 800kW – Energia termica assorbita, energia frigorifera erogata ed energia elettrica risparmiata per mezzo dell'assorbitore.	53
3.15	Cogeneratore 800kW – Fabbisogno elettrico della struttura ospedaliera post operam. . .	55
3.16	Cogeneratore 800kW – Quantità mensili di energia elettrica prodotta dal cogeneratore, prelevata dalla rete e immessa in rete.	56
3.17	Indici prestazionali dei due cogeneratori e variazione percentuale dei suddetti indici per il cogeneratore da 800kW rispetto a quello da 600kW.	62
3.18	Portate di combustibile, costi orari e costi specifici per i due cogeneratori e variazione percentuale dei suddetti parametri per il cogeneratore da 800kW rispetto a quello da 600kW.	64
3.19	Prezzi medi mensili dell'energia elettrica per fascia oraria nella zona Nord nel 2017. . . .	65
3.20	Conto economico previsionale dei due cogeneratori e variazione percentuale del cogeneratore da 800kW rispetto a quello da 600kW.	69

Elenco delle figure

1	Impieghi finali percentuali di energia per settore nell'anno 2018 in Italia [1]. La voce “Agricoltura*” annovera i settori di consumi finali “Agricoltura e Silvicoltura” e “Pesca”.	2
1.1	Modalità di gestione dei servizi di cucina, lavanderia e sterilizzazione secondo [8].	4
1.2	Consumi di energia primaria per uso finale e per tipologia di edificio negli USA [4].	7
1.3	Schema funzionale di uno sterilizzatore a vapore [31].	12
1.4	Ciclo di sterilizzazione diviso in pre-sterilizzazione (fase 1), sterilizzazione (fase 2) e asciugatura e raffreddamento (fase 3) [28].	13
1.5	Cicli di sterilizzazione sottovuoto (a) e non-sottovuoto (b) [28].	13
2.1	Modelli di regressione lineare.	24
2.2	Correlazione tra fabbisogno termico annuo e zona climatica.	25
2.3	Fabbisogno termico annuo normalizzato rispetto alla superficie lorda.	26
2.4	Fabbisogno termico annuo normalizzato rispetto al numero di posti letto.	26
2.5	Funzioni di distribuzione di probabilità per $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$ e confronto con le rispettive funzioni di distribuzione di probabilità normale.	27
2.6	Box plot di $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$ per il campione di strutture ospedaliere.	28
2.7	Confronto tra settori ospedaliero e residenziale sul fabbisogno termico annuo per unità di superficie.	28
2.8	Prospetti dell'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.	31
2.9	Campo di lavoro dei bruciatori di prevista installazione.	32
2.10	Confronto tra modello di regressione su base mensile e modello di regressione su base giornaliera.	34
2.11	Fabbisogno termico e numero di gradi giorno invernali giornalieri nella settimana dal 21 ottobre 2019 al 27 ottobre 2019 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.	35
2.12	Fabbisogno termico e numero di gradi giorno invernali giornalieri nella stagione termica 2019–2020 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.	36
2.13	Regressione lineare tra variazioni percentuali rispetto al giorno precedente di fabbisogno termico e numero di gradi giorno nella stagione termica 2019–2020 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.	37
2.14	Istogramma di frequenza assoluta della variazione rispetto al giorno precedente del fabbisogno termico nella stagione invernale 2019–2020 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.	37
2.15	Box plot di $\frac{\Delta ET}{\Delta GG}$ nella stagione termica 2019–2020, nel periodo antecedente e in quello successivo allo scoppio della pandemia di Covid–19 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.	38
2.16	Fabbisogno di vapore dell'Ospedale di Circolo di Busto Arsizio.	39

2.17	Fabbisogno di vapore dell'Ospedale Galmarini di Tradate.	39
3.1	Confronto esemplificativo tra cogenerazione e produzione separata.	41
3.2	Andamento di rendimento elettrico e costo specifico dei <i>MCI</i> in funzione della taglia [44].	41
3.3	Fabbisogni energetici dell'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli nell'anno 2017 presi come riferimento per il dimensionamento dell'impianto trigenerativo.	44
3.4	Curva di potenza elettrica oraria cumulata e curve di potenza di cogeneratori di tre taglie.	45
3.5	Cogeneratore $600kW$ – Confronto tra le configurazioni ante operam e post operam. . . .	50
3.6	Cogeneratore $800kW$ – Variazione di potenze e rendimenti in funzione della percentuale di carico.	51
3.7	Cogeneratore $800kW$ – Confronto tra le configurazioni ante operam e post operam. . . .	54
3.8	Confini dell'unità di cogenerazione ai fini del calcolo dell'energia prodotta da cogenerazione [48].	61
3.9	Tariffa da corrispondere al GSE a copertura degli oneri di gestione, verifica e controllo. . .	66
3.10	Valore attuare netto in funzione del tempo per i due cogeneratori.	69
3.11	Valore attuare netto in funzione del tasso di sconto reale per i due cogeneratori.	70

Introduzione

Negli ultimi decenni, a causa del progredire delle economie dei Paesi in via di sviluppo, si è assistito ad un elevato aumento del fabbisogno energetico mondiale. Un'aliquota consistente dell'energia è tuttora ricavata da fonti fossili, i cui prezzo e disponibilità sono molto sensibili alle condizioni geo-politiche mondiali. Per questo motivo, oltre alla crescente sensibilità alle tematiche ambientali, l'efficientamento energetico è diventato di fondamentale importanza in tutti i settori economici. In Italia il consumo interno lordo di energia nel 2018 è stato pari a $157Mtep$, segnando una diminuzione del -1.6% rispetto al 2017, in linea con la tendenza decrescente osservata dal 2011. I consumi finali di energia sono stati pari a $114.4Mtep$, in lieve aumento ($+0.7\%$) rispetto al 2017. L'aumento è stato dovuto principalmente al settore dei servizi ($+6\%$) e ai trasporti ($+3.1\%$), mentre si è ridotto sensibilmente il consumo nel residenziale (-2.6%) e nell'industria (-2.5%), testimoniando il trend di crescita dell'efficientamento energetico. Considerando le quote settoriali degli impieghi finali di energia, nel 2018 i trasporti ($35.6Mtep$) e il residenziale ($32.1Mtep$) si sono confermati i settori che assorbono la maggior parte dei consumi, rispettivamente il 31.1% e il 28% del totale. Segue l'industria con $24.3Mtep$, pari al 21.2% dei consumi energetici finali. Il settore dei servizi consuma $19.3Mtep$, ovvero il 16.9% , mentre l'agricoltura si attesta su $3Mtep$, pari al 2.7% [1]. La Fig. 1 riassume quanto detto. Considerando che spesso il consumo di energia è una voce di costo importante sia per il settore residenziale sia per quello industriale, lo sviluppo di politiche volte al risparmio e alla razionalizzazione costituisce una considerevole opportunità di risparmio economico oltre che una necessità energetica e ambientale.

Capitolo 1 Ogni utenza ha caratteristiche peculiari, le quali influenzano l'ammontare e il profilo del fabbisogno energetico. Il presente studio è dedicato alla caratterizzazione del fabbisogno di energia termica delle strutture ospedaliere in Italia. Come è dettagliatamente illustrato nel Cap. 1, il profilo del fabbisogno termico delle strutture ospedaliere ha caratteristiche comuni ai settori sia residenziale sia industriale: infatti esso è condizionato fortemente dalla necessità di climatizzazione invernale, ma, diversamente dal caso di abitazioni e uffici, non si riduce drasticamente in estate. Questo si spiega con la necessità di acqua calda e vapore di processo durante tutto l'anno. Sono pertanto identificate le cause di questo stato di fatto e sono approfonditi gli usi dell'energia termica.

Capitolo 2 Nel Cap. 2 è condotta un'analisi statistica su un campione di strutture ospedaliere al fine di determinare un modello previsionale di prima approssimazione del fabbisogno termico annuo. Tale modello è testato sull'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli, presentato al Par. 2.3. Successivamente, nel Par. 2.4 sono riportati considerazioni e spunti per futuri sviluppi del presente lavoro dedotti dall'analisi dei fabbisogni termici di alcune strutture d'interesse.

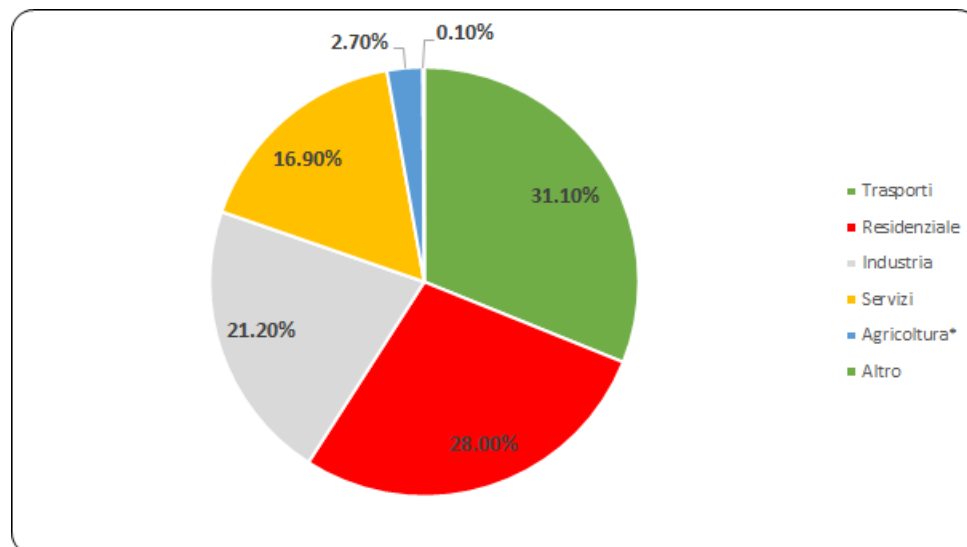


Figura 1: Impieghi finali percentuali di energia per settore nell'anno 2018 in Italia [1]. La voce “Agricoltura*” annovera i settori di consumi finali “Agricoltura e Silvicultura” e “Pesca”.

Capitolo 3 In seno alle considerazioni di efficientamento energetico in precedenza riportate, il Cap. 3 riporta lo studio di fattibilità tecnico–economica di un impianto di trigenerazione convenzionato tramite il bando di gara europea *MIES 2* per l’affidamento di un Multiservizio Tecnologico Integrato con fornitura di Energia per gli edifici, a qualsiasi titolo, alle Pubbliche Amministrazioni Sanitarie, emanato da Consip S.p.A. (si veda il Par. 1.4). Per avvalorare la scelta dell’impianto da installare è riportata un’analisi di sensitività sulle potenze di targa di cogeneratore e refrigeratore ad assorbimento.

Il presente lavoro è stato svolto in collaborazione con *Edison Facility Solutions S.p.A.* grazie alla borsa di studio rilasciata da *Edison S.p.A.* in memoria dell’Ing. Lodovico Priori. In sintesi, lo scopo del progetto consiste nel caratterizzare i fabbisogni di energia termica delle strutture ospedaliere in modo da permettere una stima preliminare dei consumi di combustibile a partire da un numero ridotto di informazioni. La seconda parte del lavoro si focalizza sul dimensionamento di un impianto di trigenerazione presso l’Ospedale Sant’Andrea di Vercelli in seno al bando *MIES 2*.

Capitolo 1

Panoramica sul settore sanitario

1.1 Consumi di energia termica

Le strutture ospedaliere sono operanti continuativamente per garantire in ogni momento la necessaria assistenza sanitaria. Esse devono assicurare:

- continuità nelle prestazioni mediche;
- elevato comfort termico di pazienti e personale sia in inverno sia in estate;
- salubrità degli ambienti di lavoro e di ricovero.

Nonostante l'obiettivo principale sia quindi la cura e il benessere del malato, il processo di efficientamento energetico può essere applicato anche a tali strutture, senza alterare l'operatività e le condizioni ambientali prescritte. Questo traguardo è reso necessario dalla considerazione che gli ospedali registrano consumi medi tre volte superiori rispetto a quelli del settore residenziale in analoghe condizioni climatiche [2]. Negli Stati Uniti gli ospedali sono al secondo posto tra le strutture più energivore del settore terziario e hanno un consumo specifico per unità di area doppio rispetto a quello degli uffici [3]. Infatti nel 2003 la media del fabbisogno termico annuo per unità di superficie degli ospedali era pari a $786 \frac{kWh}{anno \cdot m^2}$, mentre quella degli uffici era $293 \frac{kWh}{anno \cdot m^2}$ e quella delle abitazioni era $147 \frac{kWh}{anno \cdot m^2}$ [4]. In Brasile gli edifici ospedalieri pesano per il 10.6% del consumo totale nazionale [5]. In Germania i consumi medi di energia elettrica ed energia termica sono rispettivamente pari a $6,000 kWh_e$ e $29,000 kWh_t$ per letto all'anno; in particolare, il fabbisogno di energia termica corrisponde al consumo annuo di due case monofamiliari [41]. In Italia uno studio del 1997 [6] ha osservato consumi medi di energia elettrica e termica rispettivamente pari a $6,000 kWh_e$ e $23,000 kWh_t$ per letto all'anno. Dalle leggi di bilancio 2017 (Legge 232/2016) e 2018 (Legge 205/2017) emerge che la spesa per il Servizio Sanitario Nazionale nel 2019 è stata circa pari a 143 miliardi di euro, ovvero l'8% del Prodotto Interno Lordo; la quota per la fornitura energetica è bassa in termini percentuali, ma è pari a circa 3 miliardi di euro in termini assoluti. Abbattere i costi energetici attraverso la razionalizzazione dei consumi e l'efficientamento energetico ha la conseguenza di liberare risorse economiche per la Pubblica Amministrazione. In Piemonte il consumo medio annuo di energia primaria per la totalità dei presidi ospedalieri regionali dal 2010 al 2016 ammonta a circa $110.5 ktep/anno$. La ripartizione percentuale tra energia elettrica e termica rimane quasi costante nel tempo con valori che si distribuiscono equamente tra le due forme energetiche. Si intende sottolineare che i presidi ospedalieri pesano per il 90% sul totale dei consumi, mentre la restante parte è attribuibile alle Strutture Sanitarie

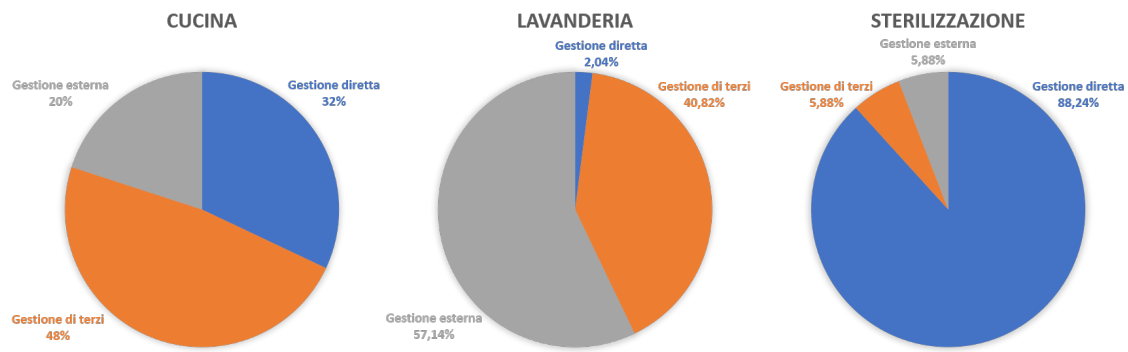


Figura 1.1: Modalità di gestione dei servizi di cucina, lavanderia e sterilizzazione secondo [8].

Teritoriali [7]. È quindi possibile ottenere una quota consistente di risparmio energetico implementando progetti di efficientamento sulle strutture più grandi ed energivore. Tale programma è coadiuvato dalla Legge 10/91 che prevede la nomina di un energy manager per tutte le aziende ospedaliere pubbliche o private con consumo superiore a $1,000 \frac{tep}{anno}$.

Gli impieghi di energia negli ospedali possono essere divisi in consumi di tipo alberghiero e consumi di processo. I consumi del primo tipo sono ripartiti su tutte le ore dell'anno. Per quanto concerne l'energia elettrica essi riguardano l'illuminazione interna ed esterna, gli impianti di sollevamento e movimentazione, la ventilazione degli ambienti e altri strumenti ausiliari; per quanto concerne l'energia termica essi sono causati da riscaldamento invernale, post-riscaldamento nelle unità di trattamento dell'aria (UTA), produzione di acqua calda sanitaria e, in alcuni casi, da preparazione dei pasti, lavaggio e disinfezione della biancheria. I consumi del secondo tipo sono legati al numero e alla tipologia di prestazioni mediche fornite e sono principalmente causati dalle apparecchiature elettromedicali. Gli impianti di sterilizzazione e disinfezione degli strumenti chirurgici e diagnostici e le UTA delle sale operatorie ricoprono un ruolo considerevole nel fabbisogno di energia termica degli ospedali. Un'indagine statistica svolta dalla FIRE [8] evidenzia che circa il 65% delle strutture ospedaliere è fornito di un sistema di circolazione continua del vapore per diversi utilizzi, come la preparazione dei pasti (45.71%), la sterilizzazione degli strumenti chirurgici e diagnostici (40%), il servizio di lavanderia (4.29%), il riscaldamento degli ambienti (34.29%), l'alimentazione degli assorbitori (12.86%) e altri utilizzi (18.57%). Dallo stesso rapporto emerge la suddivisione tra conduzione diretta, conduzione di terzi e conduzione esterna dei servizi di cucina, lavanderia e sterilizzazione, come rappresentato in Fig. 1.1.

Questa breve introduzione rende esplicita la natura "ibrida" delle strutture ospedaliere in relazione al fabbisogno di energia termica. Il consumo termico di un edificio residenziale è strettamente correlato alle condizioni climatiche (in particolare ai gradi giorno invernali); se non sono installate pompe ad assorbimento per la climatizzazione estiva, esso è pressapoco nullo nella stagione estiva. Un ospedale, invece, presenta un fabbisogno di energia termica tutt'altro che trascurabile in estate. Le strutture ospedaliere costituiscono quindi una categoria di intersenzione tra il settore residenziale e quello industriale. L'obiettivo del presente studio è quello di individuare le variabili dinamiche e i fattori statici che influenzano il fabbisogno di energia termica.

1.2 Organizzazione delle strutture ospedaliere

La normativa italiana in campo ospedaliero è costituita dalla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 22/11/1974, n. 13011 *“Requisiti fisico–tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione”* e dal D.P.R. 14/1/97 *“Requisiti strutturali, tecnologici ed organizzativi minimi per l’esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture pubbliche e private”* [9]. Le necessarie integrazioni sono tratte dalle norme UNI.

Le Regioni classificano le strutture in relazione alla tipologia delle prestazioni contemplate dai livelli di assistenza in [9]:

1. strutture che erogano prestazioni in regime di ricovero ospedaliero a ciclo continuativo e/o diurno per acuti;
2. strutture che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale, ivi comprese quelle riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio;
3. strutture che erogano prestazioni in regime residenziale, a ciclo continuativo e/o diurno.

L’attenzione è posta sulle strutture di tipo ospedaliero, perché quelle che erogano prestazioni in regime residenziale sono approssimabili con edifici residenziali.

Secondo il D.M. 02/04/2015, n. 70 le strutture ospedaliere, comprese quelle in cui non tutte le specialità previste nei presidi sono dotate di posti letto dedicati, prevedono tre livelli a complessità crescente, ovvero *presidi ospedalieri di base, presidi ospedalieri di I livello e presidi ospedalieri di II livello*.

L’edificio ospedaliero è suddiviso in 13 ambienti funzionali, che sono di seguito introdotti. Il D.P.R. 14/1/97 definisce i requisiti minimi dai punti di vista strutturale, impiantistico, tecnologico e organizzativo. I servizi di sterilizzazione e disinfezione sono oggetti di un’analisi più approfondita ai Par. 1.3.3 e Par. 1.3.4 per la rilevanza nella determinazione della domanda di energia termica.

Il *pronto soccorso* deve assicurare gli interventi diagnostico–terapeutici di urgenza compatibili con le specialità di cui è dotata la struttura, deve poter eseguire un primo accertamento diagnostico strumentale e di laboratorio e gli interventi necessari alla stabilizzazione dell’utente. Deve garantire il trasporto protetto. Deve essere assicurata la presenza di una camera calda (area coperta e riscaldata di accesso diretto per mezzi e pedoni) e servizi igienici per il personale e per gli utenti.

L’*area di degenza* deve essere strutturata in modo da garantire il rispetto della privacy dell’utente ed un adeguato comfort di tipo alberghiero. Devono essere garantiti spazi comuni di raccordo tra le degenze e/o i servizi sanitari nei quali prevedere utilities per gli accompagnatori o visitatori. È necessario che siano garantiti almeno $9m^2$ per posto letto, non più di 4 posti letto per camera, almeno un servizio igienico ogni 4 posti letto, una cucina di reparto, servizi igienici per il personale e un bagno assistito.

Il *blocco operatorio* è un complesso architettonico–impiantistico a “bassa carica microbica” distinto e contiguo alle altre strutture ospedaliere indispensabile per effettuare interventi chirurgici. Il numero complessivo di sale operatorie deve essere definito, per ogni singola struttura, in funzione della tipologia e complessità delle prestazioni per specialità che vengono erogate, ed in particolare in relazione alla attività o meno della day surgery.

Le attività di rianimazione e *terapia intensiva* sono dedicate al trattamento intensivo dei soggetti affetti da una o più insufficienze d’organo acute, potenzialmente reversibili, tali da comportare pericolo di vita ed insorgenza di complicanze maggiori. La configurazione ambientale delle unità di rianimazione e terapia

intensiva può essere a degenza singola o a degenze multiple.

Il *day hospital*, o ricovero diurno, è una forma di assistenza, garantita dal Servizio Sanitario Nazionale, che permette al paziente di usufruire di cure ospedaliere nell'arco di uno o più ricoveri programmati (tutti di durata inferiore a un giorno e senza pernottamento) per lo svolgimento di accertamenti diagnostici, visite specialistiche e terapie. Il day hospital deve disporre di spazi per il trattamento diagnostico-terapeutico e per il soggiorno dei pazienti in regime di ricovero a tempo parziale (di tipo diurno). L'unità deve essere dotata di cucina e servizi igienici.

Il *day surgery*, o chirurgia di giorno, è la possibilità clinica, organizzativa ed amministrativa di effettuare interventi chirurgici o anche procedure diagnostiche e/o terapeutiche invasive e seminvasive in regime di ricovero limitato alle sole ore di giorno, in anestesia locale, loco-regionale, generale. Le caratteristiche igrometriche per la sala operatoria coincidono con quelle del gruppo operatorio. L'unità deve essere dotata di cucina e servizi igienici.

Il punto nascita o *blocco parto* costituisce unità di assistenza per gravidanze e neonati fisiologici.

La *medicina nucleare* consiste in attività diagnostica e/o terapeutica mediante l'impiego di radionuclidi artificiali per scopo diagnostico sia in vivo che in vitro.

L'attività di *radioterapia* è svolta mediante l'impiego di fonti radioattive e di sorgenti di radiazioni ionizzanti ed è diretta al trattamento della malattia neoplastica e, in casi selezionati, al trattamento di patologie non neoplastiche, a carattere malformativo e/o cronico degenerativo.

Il servizio di *farmacia*, se presente nella struttura, deve disporre di spazi per il deposito dei medicinali, dei presidi medico-chirurgici e sanitari, del materiale di medicazione e degli specifici materiali di competenza.

Il *servizio mortuario* deve disporre di spazi per la sosta e la preparazione delle salme e di una camera ardente.

1.3 Principali utenze di energia termica

I principali utilizzi dell'energia termica sono il riscaldamento invernale, la climatizzazione tramite UTA, la produzione di acqua calda sanitaria e, laddove internalizzati, il servizio di sterilizzazione, il servizio di disinfezione sia degli ambienti sia della biancheria e il servizio di cucina. Uno studio [11] ha analizzato i consumi annui medi di energia termica di due ospedali in Polonia su un periodo di osservazione di quattro anni. Tali consumi sono ripartiti in tre macro-categorie: riscaldamento invernale, produzione di acqua calda e vapore di processo. In conformità alla convenzione adottata dall'autore dello studio, in Tab. 1.1 si fa riferimento all'Ospedale A da 715 posti letto e all'Ospedale B da 690 posti letto. L'aliquota di consumo maggiore, il 58.8% per l'Ospedale A e il 48.5% per l'Ospedale B, è attribuibile al riscaldamento invernale, soprattutto in considerazione dell'elevato numero annuo di gradi giorno invernali della zona geografica in questione. Le aliquote sia per l'acqua calda sanitaria sia per il vapore di processo restano pressoché costanti nel periodo di osservazione, con una media rispettivamente di 22.8% e 18.4% per l'Ospedale A e di 18.4% e 33.1% per l'Ospedale B. La disparità tra le aliquote destinate al vapore di processo nei due ospedali è giustificata da differenze strutturali e organizzative degli stessi.

L'*International Energy Outlook 2006* [4] riporta la Fig. 1.2 in cui si evidenzia la ripartizione percentuale media dei consumi di energia primaria tra climatizzazione ambientale (*HVAC*), produzione di acqua

	Riscaldamento	Acqua calda sanitaria	Vapore di processo	TOTALE
Ospedale A [$\frac{GJ}{m^2 \cdot anno}$]	0.568	0.221	0.177	0.966
Ospedale A [$\frac{GJ}{letto \cdot anno}$]	21.9	8.5	6.8	37.2
Ospedale B [$\frac{GJ}{m^2 \cdot anno}$]	0.571	0.217	0.390	1.178
Ospedale B [$\frac{GJ}{letto \cdot anno}$]	25.2	9.6	17.2	52.0

Tabella 1.1: Consumo medio di energia termica negli ospedali A e B in Polonia [11].

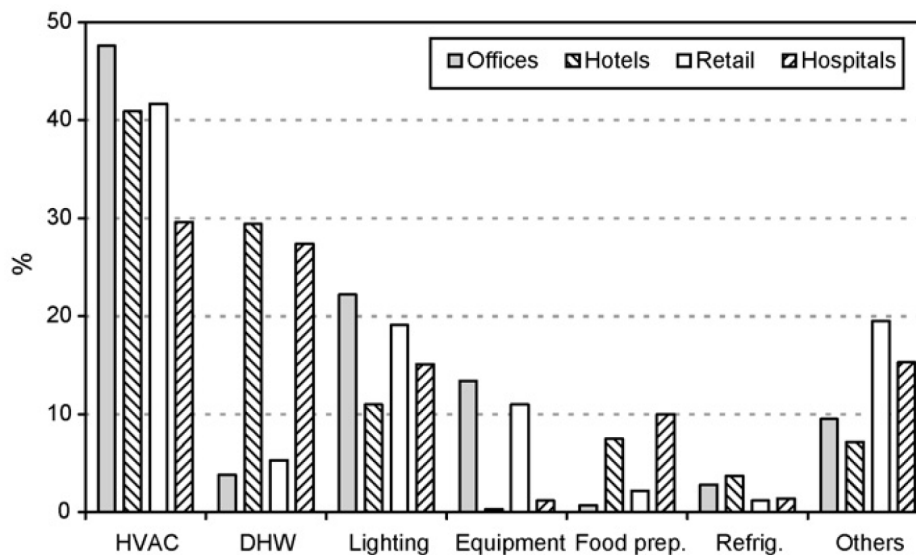


Figura 1.2: Consumi di energia primaria per uso finale e per tipologia di edificio negli USA [4].

calda sanitaria (*DHW*), illuminazione, attrezzature, preparazione dei pasti, refrigerazione e altri utilizzi negli uffici, negli alberghi, nei negozi al dettaglio e negli ospedali negli USA.

Alexis e altri [10] evidenziano che un ospedale greco da 470 posti letto con una superficie di circa $26,700m^2$ ha un fabbisogno termico annuo di $9,662MWh$. I generatori di vapore sono alimentati a gas naturale e hanno una producibilità di $4,000 \frac{kg}{h}$. La cucina assorbe $150kW$ con una portata di vapore nominale di $200 \frac{kg}{h}$, ovvero il 10% del totale; la lavanderia assorbe $1,750kW$ con una portata di vapore nominale di $2,500 \frac{kg}{h}$, ovvero il 62.5% del totale; il servizio di sterilizzazione assorbe circa $42kW$ con una portata di vapore nominale di $60 \frac{kg}{h}$, ovvero l'1.5% del totale.

1.3.1 Riscaldamento e climatizzazione ambientale

Numerosi studi [11] [12] [13] hanno mostrato che un'aliquota tra il 45% e il 60% del fabbisogno di energia termica degli ospedali è dovuto al riscaldamento e alla climatizzazione ambientale.

Un attento controllo delle condizioni termoigrometriche è fondamentale per garantire sia lo standard igienico-sanitario sia il comfort degli occupanti. Un'alta temperatura può causare un aumento del rilascio di tossine dai materiali dell'edificio, mentre una bassa temperatura può indurre a tremore, disattenzione, tensione muscolare e articolare. L'umidità relativa può inficiare il comfort degli occupanti sia diretta-

Ambito funzionale	Temperatura [°C]	Umidità relativa [%]	Ricambi aria [$\frac{v}{h}$]
Blocco operatorio	20 – 24	40 – 60	15
Blocco parto	20 – 24	30 – 60	6
Terapia intensiva	20 – 24	40 – 60	6
Gestione farmaci	20 – 26	50 ± 5	2
Servizio sterilizzazione	20 – 27	40 – 60	15
Servizio disinfezione	20 – 27	40 – 60	15
Servizio mortuario	18	60 ± 5	15

Tabella 1.2: Requisiti termoigrometrici (inverno – estate) secondo la D.P.R. 14/1/97.

Ambito funzionale	Ricambi aria
Degenze ordinarie	2 $\frac{v}{h}$
Degenze pediatriche	3 $\frac{v}{h}$
Reparti diagnostica	6 $\frac{v}{h}$
Reparti speciali	6 $\frac{v}{h}$
Isolamento	12 $\frac{v}{h}$
Servizi igienici	10 $\frac{v}{h_3}$
Soggiorno	30 $\frac{m_3}{h \cdot persona}$

Tabella 1.3: Ricambi d'aria secondo la Circolare n. 13011 del 22/11/74.

mente sia indirettamente. Un basso livello di umidità può indurre secchezza di naso, gola, occhi e pelle, particolarmente quando causa una temperatura di rugiada inferiore a 0°C [14]. Con riferimento ad altri studi [15] [16], si può concludere che un basso livello di umidità può incrementare la suscettibilità a malattie respiratorie e irritazioni. È stato inoltre dimostrato che il comfort termoigrometrico nelle sale operatorie influenza le condizioni di lavoro, il benessere, la sicurezza e la salute del personale medico [17]. Nel *ASHRAE HVAC Application Handbook* [18] è specificato che temperatura e umidità possono inibire o incentivare la proliferazione dei batteri e attivare o disattivare i virus. Un'altra variabile da controllare attentamente è la circolazione dell'aria tra i vari ambienti della struttura ospedaliera in modo da ridurre al minimo il rischio di contaminazione.

La disamina del D.P.R. 14/1/97 [9] consente di raccolta dei requisiti di temperatura, umidità e ventilazione che devono essere garantiti, come riportato in Tab. 1.2. È necessario sottolineare che la temperatura per blocco operatorio, blocco parto e terapia intensiva (o rianimazione) risulta accettabile durante tutto l'anno se compresa nell'intervallo riportato in Tab. 1.2, mentre nei locali con presenza di salme la temperatura deve essere non superiore a 18°C.

La Circolare n. 13011 prescrive il rispetto dei seguenti punti:

- temperatura degli ambienti di 20±2°C garantita in tutti i reparti ospedalieri, compresi i servizi, durante il periodo invernale;
- umidità relativa di 40±5% garantita nelle camere di degenza, nei locali ad uso collettivo e nei disimpegni durante il periodo invernale;
- numero di ricambi d'aria come da Tab. 1.3 garantiti da un impianto a ventilazione forzata, con filtraggio e successiva immissione dell'aria negli ambienti ad una velocità non superiore a 0.15 $\frac{m}{s}$;

Ambienti funzionali	Temperatura [°C]		Umidità relativa [%]		Δp rispetto all'ester- no	Aria esterna [$\frac{\%}{h}$]	Aria di ricircolo	Classi di pulizia UNI EN ISO 14644-1	Livello di filtrazione finale	Livello di pressione sonora
	Inverno	Estate	Inverno	Estate						
Sale operatorie a elevatissima qualità dell'aria	$\geq 20^{[6]}$	$\leq 24^{[6]}$	$\geq 40^{[6]}$	$\leq 60^{[6]}$	$15^{[1]}$	$15^{[6]}$	$SI^{[2]}$	ISO 5	H14	45 ^[3]
Sale operatorie a elevata qualità dell'aria	$\geq 20^{[6]}$	$\leq 24^{[6]}$	$\geq 40^{[6]}$	$\leq 60^{[6]}$	$15^{[1]}$	$15^{[6]}$	$SI^{[2]}$	ISO 7	H14	45 ^[3]
Sale operatorie a qualità dell'aria standard	$\geq 20^{[6]}$	$\leq 24^{[6]}$	$\geq 40^{[6]}$	$\leq 60^{[6]}$	$15^{[1]}$	$15^{[6]}$	— ^[4]	ISO 8	H14	45 ^[3]
Depositi sterili	≥ 22	≤ 26	≥ 40	≤ 60	15	$\geq 2^{[5]}$	— ^[4]	—	H14	45
Preparazione operandi	≥ 22	≤ 26	≥ 40	≤ 60	10	$\geq 2^{[5]}$	— ^[4]	—	$\geq H12$	—
Preparazione personale	≥ 22	≤ 26	≥ 40	≤ 60	10	$\geq 2^{[5]}$	— ^[4]	—	$\geq H12$	—
Risveglio operati	≥ 22	≤ 26	≥ 40	≤ 60	10	$\geq 2^{[5]}$	— ^[4]	—	$\geq H12$	—
Corridoio sterile	≥ 22	≤ 26	≥ 40	≤ 60	10	$\geq 2^{[5]}$	— ^[4]	—	$\geq H12$	—
Spazio filtro operandi	≥ 22	≤ 26	≥ 40	≤ 60	5	$\geq 2^{[5]}$	— ^[4]	—	$\geq F9$	—
Spazio filtro personale	≥ 22	≤ 26	≥ 40	≤ 60	5	$\geq 2^{[5]}$	— ^[4]	—	$\geq F9$	—
Substerilizzazione	≥ 22	≤ 26	≥ 40	≤ 60	10	$\geq 2^{[5]}$	— ^[4]	—	$\geq H12$	—
Deposito pulito	≥ 18	≤ 26	≥ 40	≤ 60	10	$\geq 2^{[5]}$	— ^[4]	—	$\geq H12$	—
Deposito pulito	≥ 18	≤ 26	≥ 40	≤ 60	5	$\geq 2^{[5]}$	NO	—	$\geq F9$	—

[1] Le sale operatorie ad uso di pazienti infetti sono in depressione rispetto ai locali limitrofi.

[2] Si faccia riferimento agli esempi proposti in Appendice D.

[3] Nel caso di ristrutturazioni in cui sia necessario realizzare sale operatorie in classe ISO 5 utilizzando sistemi di ricircolo in ambiente, si può al massimo raggiungere i 48 dB(A); tale scelta deve essere motivata nel documento di progetto.

[4] Secondo la necessità di pulizia dell'aria nonché dal controllo.

[5] Valore minimo da assumere in assenza di altri valori che siano stabiliti in funzione delle esigenze di affollamento, delle sorgenti di contaminanti e basata sull'analisi del rischio.

[6] Valori imposti dal D.P.R. 14/1/97.

Tabella 1.4: Requisiti del sistema VCCC di un blocco operatorio secondo la UNI 1145.

- in blocchi operatori, sale travaglio, rianimazione, parti prematuri, lattanti, terapia intensiva, centro dialisi, settore sterile e laboratori d'analisi deve esserci un impianto di condizionamento che garantisca sia in estate sia in inverno il rispetto degli obblighi sopra esposti.

Gli aspetti in cui la normativa è carente sono integrati dalle norme UNI 10399 *“Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura”* e UNI 1145 *“Impianto di ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata per il blocco operatorio”*. La Tab. 1.4 riporta i requisiti minimi prescritti dalla UNI 1145 all'impianto di Ventilazione, Climatizzazione e Controllo dei Contaminanti (VCCC) asservito al blocco operatorio.

1.3.2 Produzione di acqua calda sanitaria

Uno studio condotto in Australia [19] ha mostrato che i principali utilizzi dell'acqua negli ospedali sono l'igiene, la raccolta dei rifiuti, l'ingestione, la preparazione dei pasti, le attività di processo (sanificazione, sterilizzazione, lavanderia, riscaldamento, raffrescamento, filtraggio e addolcimento dell'acqua) e l'irrigazione di prati e giardini ornamentali. In termini percentuali, l'aliquota per il lavaggio (lavelli, docce, fogne) è tipicamente tra il 20 e il 40%, quella per lo scarico dei rifiuti (bagni, lavastoviglie) tra il 15 e il 30%, quella per le attività di processo tra il 15 e il 40% e quella per la cucina tra il 5 e il 25%. Uno studio [20] riscontra una simile distribuzione percentuale in un campione di strutture ospedaliere lombarde.

Il consumo giornaliero medio di acqua calda sanitaria per posto letto varia tra 80 e $130 \frac{l}{\text{letto-giorno}}$ in Europa [21] e tra 100 e $150 \frac{l}{\text{letto-giorno}}$ negli Stati Uniti [22]. In alcuni nuovi ospedali greci [23] [24] il consumo di acqua calda sanitaria varia tra 90 e $120 \frac{l}{\text{letto-giorno}}$. Prendendo in considerazione quanto appena detto, il consumo di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria varia tra 0.015 e $0.025 \frac{GJ}{\text{letto-giorno}}$ in Europa, tra 0.019 e $0.028 \frac{GJ}{\text{letto-giorno}}$ negli Stati Uniti e tra 0.017 e $0.023 \frac{GJ}{\text{letto-giorno}}$ negli ospedali di recente costruzione in Grecia. Lo standard polacco [25] limita il consumo medio di acqua calda sanitaria negli ospedali a $325 \frac{l}{\text{letto-giorno}}$, che corrisponde a $0.061 \frac{GJ}{\text{letto-giorno}}$ [11]. La Norma UNI 9182 *“Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda – Progettazione, installazione e collaudo”* prevede un fabbisogno giornaliero pro-capite di acqua calda sanitaria nel range $130\text{--}150 \frac{l}{\text{letto-giorno}}$ in ospedali e cliniche.

Il fabbisogno mensile di acqua calda sanitaria è caratterizzato da stabilità e costanza durante l'anno, mentre ha un andamento più irregolare su base oraria e giornaliera. Uno studio [11] ha evidenziato che i picchi del fabbisogno mensile di acqua calda sanitaria sono occorsi in mesi di intensa attività ospedaliera in termini di pazienti e operazioni.

1.3.3 Servizio di sterilizzazione

La sterilizzazione è necessaria all'eliminazione delle forme microbiche da utensili, liquidi in contenitori sigillati, stoffe e altri materiali porosi.

La sterilizzazione mediante radiazioni è applicata ad alcuni prodotti farmaceutici e strumenti di laboratorio come capsule petri e pipette. In caso di materiale non resistente al calore si utilizza la sterilizzazione con gas, costituito al 10% da ossido di etilene e al 90% da anidride carbonica o freon; invece, in caso di

materiale liquido contenente componenti labili al calore (quali vitamine, antibiotici, proteine del siero) si applica la sterilizzazione per filtrazione.

Tuttavia il metodo più comune di sterilizzazione prevede l'utilizzo di calore tramite fiamma diretta o fluido termovettore.

La sterilizzazione per *fiamma diretta* fa uso del becco Bunsen ed è applicata alle anse di platino o nichel-cromo.

La sterilizzazione con fluidotermovettore può utilizzare acqua, vapore o aria secca. La sterilizzazione con *calore secco* si ottiene mediante aria calda in stufe come il forno di Pasteur; le stufe devono essere provviste di sistemi di circolazione dell'aria per ottenere uniformità di temperatura nei vari scomparti. La sterilizzazione si ottiene regolando la temperatura a 160–170°C per 1–2h in modo da debellare le spore microbiche. Il forno di Pasteur si utilizza soprattutto per vetreria, strumenti e materiale resistente alle alte temperature.

La sterilizzazione mediante *calore umido* è più efficace di quella a calore secco perché consente di uccidere i microrganismi a temperature inferiori; ciò si spiega in base alla maggiore conducibilità termica dell'acqua o del vapore rispetto all'aria secca. La sterilizzazione mediante calore umido si divide in bollitura e pastorizzazione nel caso di utilizzo di liquidi caldi (principalmente acqua) e sterilizzazione con vapore fluente, sterilizzazione frazionata (o tindalizzazione) e sterilizzazione con autoclave nel caso di utilizzo di vapore fluente o sotto pressione.

La bollitura si ottiene utilizzando acqua alla temperatura di ebollizione; essa permette la distruzione di microrganismi in forma vegetativa e, con un'azione prolungata, anche di alcune spore batteriche.

La pastorizzazione si divide in *LTLT* (Long Temperature Long Time), o pastorizzazione lenta, la quale prevede l'immersione degli strumenti in acqua alla temperatura di 62.8°C per 30 minuti, e *HTST* (High Temperature Short Time), o pastorizzazione rapida, che prescrive il passaggio del liquido attraverso piastre che lo riscaldano fino a 75°C, l'esposizione degli strumenti a tale liquido per 15–20 secondi e il successivo raffreddamento rapido degli strumenti stessi. La pastorizzazione non è un vero e proprio metodo di sterilizzazione, ma mira alla riduzione della carica microbica.

La sterilizzazione mediante vapore fluente (a pressione atmosferica) è effettuata tramite la pentola di Koch. Essa è un recipiente metallico di forma cilindrica rivestito da materiale isolante; all'interno, a livello del quarto inferiore, è posta una griglia che sostiene gli oggetti da sterilizzare. La pentola di Koch non è chiusa ermeticamente e un termometro indica la temperatura raggiunta nel suo interno. L'acqua, portata all'ebollizione, forma vapore che man mano sostituisce l'aria presente, fino ad ottenere vapore saturo. La sterilizzazione a 100°C prevede il trattamento per tre volte.

La tindalizzazione è adatta a materiali che non sopportano una temperatura superiore a 100°C e utilizza il gelatinizzatore di Koch. Il materiale viene sottoposto ad un primo riscaldamento per 0.5–1h e successivo raffreddamento fino a temperatura ambiente; dopo 24h segue un secondo riscaldamento per 0.5–1h, allo scopo di uccidere le eventuali forme vegetative che si sono formate dalla germinazione delle spore durante l'intervallo di 24h. Dopo 24h dal secondo riscaldamento trascorse a temperatura ambiente, si opera un terzo riscaldamento per 0.5–1h per avere la certezza che tutte le forme microbiche siano state debellate. La sterilizzazione mediante vapore sotto pressione fa uso dell'autoclave. Il tempo necessario alla sterilizzazione è inversamente proporzionale alle condizioni di pressione e temperatura nella camera di sterilizzazione. Il materiale da sterilizzare deve essere disposto adeguatamente per evitare che in alcuni punti la temperatura non raggiunga i valori richiesti; essa deve essere costante per tutto il tempo di sterilizzazione.

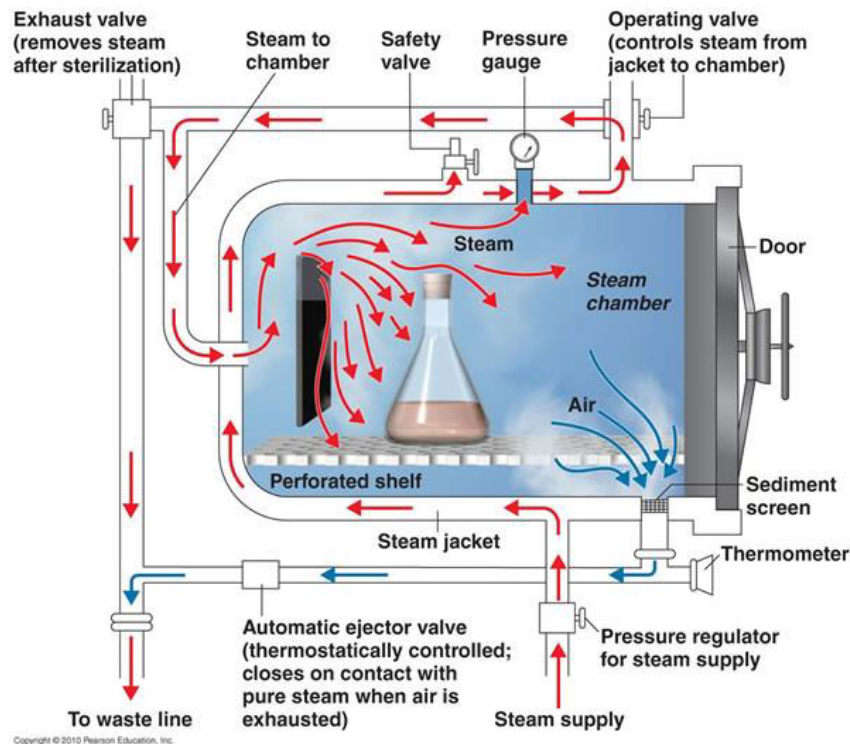


Figura 1.3: Schema funzionale di uno sterilizzatore a vapore [31].

Range di temperatura [°C]	Minimo tempo di esposizione [<i>min</i>]
134 – 137	3
126 – 129	10
121 – 124	15
115 – 118	30

Tabella 1.5: Relazione tempo–temperatura per la sterilizzazione a vapore.

Il corretto uso degli sterilizzatori a vapore è importante per evitare la contaminazione degli strumenti chirurgici [26]. I criteri per i cicli di sterilizzazione possono essere tratti da norme internazionali [27] e nazionali. Se il carico da sterilizzare è costituito da utensili o materiali porosi, è previsto il contatto diretto con il vapore, come in Fig. 1.3; viceversa, se bisogna trattare liquidi in contenitori sigillati, generalmente si fa circolare il vapore all'interno delle pareti dell'autoclave in modo da riscaldare la camera senza contatto diretto tra vapore e carico da sterilizzare.

In generale, i cicli di sterilizzazione consistono di tre fasi [Fig. 1.4]. Nella prima fase, chiamata *pre-sterilizzazione*, una pompa a vuoto riduce la pressione fino a 0.15bar e il vapore viene immesso nella camera in modo che l'aria ne venga estratta attraverso un'opportuna valvola di sfogo e la pressione aumenti fino a 1.4bar. La pressione diminuisce e successivamente aumenta allo stesso modo una seconda volta. L'obiettivo della fase di pre-sterilizzazione consiste nel rimuovere tutta l'aria presente nell'autoclave all'inizio del ciclo, perché essa riduce considerevolmente il coefficiente di scambio termico. Nella seconda fase avviene l'inattivazione dei microrganismi. La pressione e la temperatura aumentano fino a determinati valori, che nel caso di Fig. 1.4 sono 3.16bar e 134°C, e rimangono costanti per uno specifico

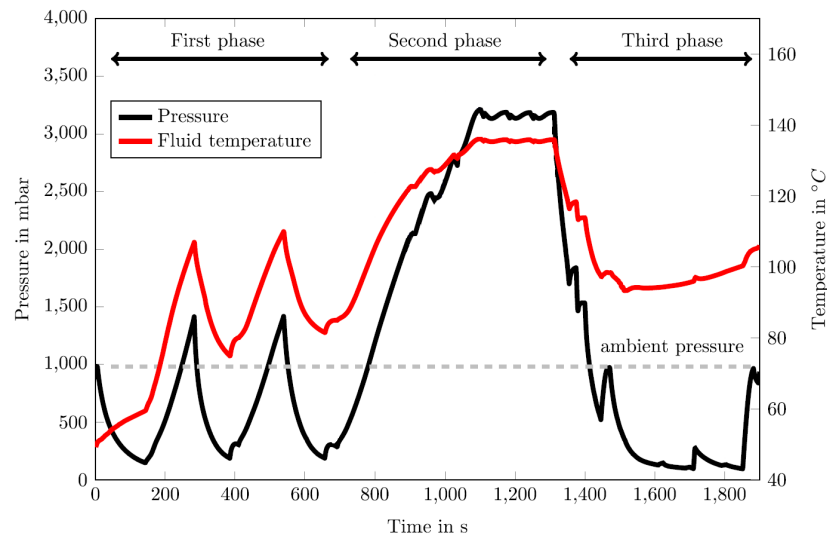


Figura 1.4: Ciclo di sterilizzazione diviso in pre-sterilizzazione (fase 1), sterilizzazione (fase 2) e asciugatura e raffreddamento (fase 3) [28].

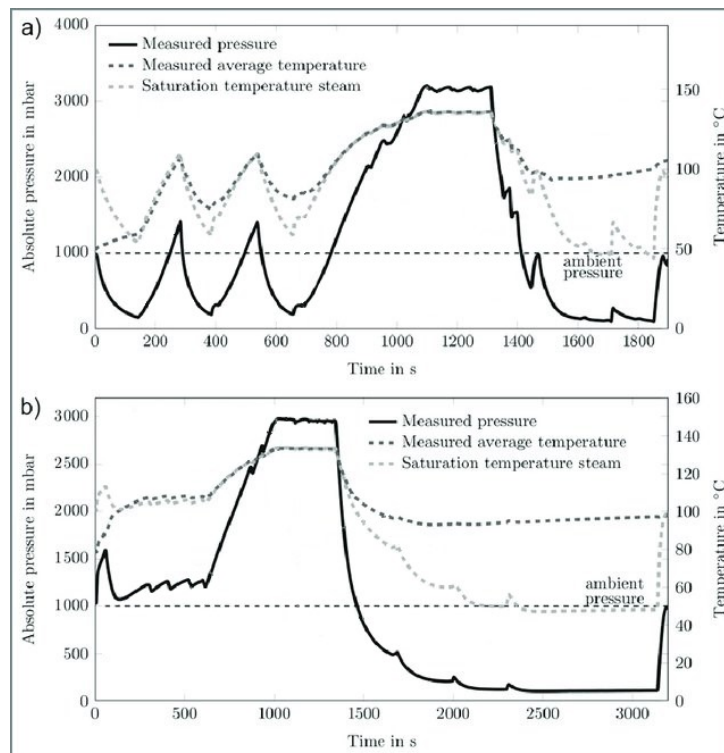


Figura 1.5: Cicli di sterilizzazione sottovuoto (a) e non-sottovuoto (b) [28].

intervallo di tempo, il cosiddetto plateau di sterilizzazione, che in questo caso è pari a 230s. Nella terza fase la pressione assoluta diminuisce fino a circa 150mbar affinché si effettuino l'asciugatura e il raffreddamento del carico. Dopodiché si ritorna alla pressione ambiente per garantire l'apertura dell'autoclave in condizioni di sicurezza [28]. Per una descrizione più dettagliata del ciclo di sterilizzazione si può fare riferimento al lavoro di Feurhuber e altri [29]. La Fig. 1.5 riporta la misura di pressione, temperatura media e temperatura di saturazione di un ciclo in condizioni di vuoto (a) e di un ciclo non in condizioni di vuoto (b). La differenza tra questi due cicli verte sull'andamento della pressione nella fase di pre-sterilizzazione: nel ciclo sottovuoto essa assume valori inferiori a 0.9bar, mentre il ciclo non-sottovuoto ne rimane al di sopra. La Tab. 1.5 riporta i valori di temperatura e tempo di trattamento sufficienti a raggiungere il grado di sterilizzazione prescritto da National Health Service Estate Agency [30].

La fornitura di energia termica per la sterilizzazione può avvenire tramite riscaldamento elettrico con generatore di vapore integrato, alimentazione di vapore dalla rete dell'ospedale o combinazione delle precedenti alternative. Le strutture ospedaliere sono di solito provviste sia di sterilizzatori elettrici sia di sterilizzatori a vapore in modo da garantire al processo diversificazione e ridondanza. Inoltre, essendo un'attività critica, essa è svolta all'interno della struttura nel 94.12% dei casi [8]. Si conclude che gli sterilizzatori a vapore contribuiscono in maniera significativa alla quota fissa di fabbisogno di energia termica nella quasi totalità delle strutture ospedaliere.

1.3.4 Servizio di disinfezione

Il servizio di disinfezione mira all'eliminazione delle forme microbiche da effetti personali, letterecchi, biancheria e in genere da materiali infetti con l'uso di sostanze chimiche ad azione germicida. Il processo produttivo tipico di una lavanderia si riassume in: ricevimento ed esame di biancheria e abiti da lavoro, trattamento in lavacontinua secondo cicli predefiniti in funzione della tipologia di prodotto, idroestrazione tramite pressa o centrifuga, essiccazione, stiratura e piegatura, confezionamento e consegna. Il trattamento in lavacontinua si divide a sua volta nelle fasi di seguito esposte [32].

- *Ammollo*. Si effettua con l'impiego di una grande quantità di acqua ad una temperatura inferiore a 35°C e per 3–5 minuti per eliminare completamente lo sporco superficiale (ad esempio dovuto a proteine, sali, zuccheri).
 - *Prelavaggio*. Si effettua con acqua alla temperatura di 45–55°C per 7–10 minuti e con una quantità ridotta di detersivo. In questa fase inizia la rimozione dello sporco grasso grazie ai tensioattivi e si completa la rimozione dello sporco proteico e solubile.
 - *Lavaggio*. Avviene con acqua ad una temperatura fino a 95°C per 10–15 minuti. Vengono utilizzati prodotti specifici per la disinfezione e detersivo completo di sostanza candeggiante per eliminare lo sporco residuo dai tessuti.
 - *Risciacquo*. Si esegue con acqua ad una temperatura decrescente da 45°C a 35°C e ha lo scopo di eliminare i residui dei prodotti utilizzati per il lavaggio. Nell'ultimo risciacquo l'uso di coadiuvanti chimici elimina l'effetto antistatico e ammorbidisce la biancheria.
-

In questo processo di lavoro la produzione di calore sotto forma di acqua calda, vapore e aria calda può essere espletata tramite l'assorbimento di energia elettrica, il consumo centralizzato di combustibile presso la centrale termica o il consumo locale di gas naturale presso macchine opportunamente connesse alla rete di distribuzione. Le principali macchine su cui bisogna concentrarsi sono lavatrici, lavacentrifughe o lavacontinue nella fase di lavaggio, essicatori nella fase di asciugatura e mangani nella fase di stiratura.

Amministrativamente il servizio di lavanderia per ospedali può essere internalizzato o esternalizzato; nel secondo caso si può ricorrere a una forma associativa non lucrativa che serva un gruppo di istituti ospedalieri, a una lavanderia a gestione esterna che tratta la biancheria appartenente all'ospedale oppure a una lavanderia a gestione esterna con biancheria propria concessa in usufrutto [33]. Può anche verificarsi il caso in cui la gestione del servizio sia affidata ad una società terza, ma i consumi di acqua ed energia ricadano in capo alla struttura ospedaliera. La scelta di una di queste modalità di organizzazione incide sul fabbisogno di energia termica che si intende analizzare. Da quanto emerge dall'analisi statistica svolta dalla FIRE [8] nel 42.86% si ricorre alla gestione interna.

Uno studio dell'Istituto Superiore della Sanità [33] afferma che la produzione di biancheria sporca si aggira normalmente su $1.5-2 \frac{kg}{letto \cdot giorno}$ e può raggiungere anche $3 \frac{kg}{letto \cdot giorno}$. Questo parametro è fondamentale nel dimensionamento degli impianti della lavanderia e, di conseguenza, nella determinazione del fabbisogno di acqua ed energia termica.

Deve inoltre essere considerata l'attività di pulizia e disinfezione. I generatori di vapore sono concepiti per la pulizia di vari tipi di superficie resistenti ad acqua e temperature elevate tramite l'utilizzo di vapore e, quando necessario, di una miscela di acqua e detergente o disinfettante, erogati a una pressione di 4–7 bar e una temperatura fino a 180°C. Le caratteristiche del vapore prodotto dipendono dalle dimensioni e dal tipo di caldaia; si distingue tra vapore saturo secco, ovvero a titolo unitario, e vapore saturo umido, contenente particelle di liquido in sospensione. Il vapore saturo umido è il più utilizzato. I generatori di vapore sono principalmente composti dalla caldaia e da un tubo flessibile, collegato alla caldaia e munito di ugelli vari, a seconda del tipo di sporco da rimuovere. Questa configurazione di base può essere integrata da un serbatoio supplementare per l'acqua, un serbatoio per il detergente e sistemi aspiraliquidi. Il vapore aggredisce le particelle di sporco, facendole precipitare e facilitando l'asportazione. La miscela di acqua e sporco viene asportata o manualmente o mediante l'aspiraliquidi. I generatori di vapore, oltre a permettere la pulizia delle superfici, esercitano anche azione sanificante e sgrassante ed è possibile aggiungere l'azione battericida con l'aggiunta di disinfettanti.

Si fa infine menzione al rischio di legionellosi. Il rischio di contrarre la legionellosi in ospedale o in altre strutture sanitarie dipende da moltissimi fattori; tra questi, la colonizzazione degli impianti idrici o aerulici rappresenta una condizione necessaria ma non sufficiente a determinare l'insorgenza di casi. La frequenza di colonizzazione degli impianti ospedalieri riportata in letteratura è, infatti, rilevante, variando, ad esempio, dal 12% al 73% degli ospedali campionati in paesi anglosassoni. Tuttavia, numerosi studi hanno dimostrato come vi possa essere colonizzazione ambientale in assenza di casi di malattia. Pertanto, l'obiettivo da perseguire è la minimizzazione del rischio di colonizzazione o il suo contenimento piuttosto che l'eliminazione completa di *Legionella* dagli impianti, condizione, quest'ultima, spesso neppure raggiungibile (Stout and Yu, 2003) soprattutto nel lungo periodo. Ciò non vale per i reparti che ospitano

pazienti profondamente immunocompromessi: in questo caso, l'incapacità del sistema immunitario di rispondere a un'eventuale esposizione rende necessari interventi atti a garantire l'assenza di Legionella. La valutazione del rischio deve essere effettuata in ciascuna struttura sanitaria, tenendo conto delle caratteristiche ambientali e impiantistiche. Le pratiche sanitarie che aumentano il rischio sono il parto in acqua e quelle inerenti le vie aeree, quali intubazione, ventilazione, aspirazione, aerosol. Per assicurare una riduzione ed un controllo del rischio legionellosi è necessario che vengano adottate opportune misure preventive, quali una temperatura d'erogazione dell'acqua calda sanitaria costantemente superiore ai 50°C [34].

1.3.5 Servizio di cucina

La ristorazione in ambito ospedaliero può essere suddivisa in tre categorie (Jones e Lockwood, 1995):

- sistema integrato, in cui preparazione e servizio sono svolti come un'unica sequenza di operazioni;
- sistema di *food manufacturing*, in cui la preparazione è disaccoppiata dal servizio;
- sistema di *food delivery*, il quale non prevede la preparazione ma si concentra su rigenerazione, impiattamento e servizio.

Dagli anni Settanta è aumentato il numero di sistemi di *food manufacturing* al fine di mantenere gli standard qualitativi ma ad un costo ridotto. In questa categoria sono compresi i sistemi *Cook-Serve*, *Cook-Chill*, *Cook-Freeze*, *Sous Vide* e *Steamplicity*.

Un sistema *Cook-Serve* è un sistema tradizionale, nel quale il cibo è preparato e cotto in una cucina centrale e successivamente distribuito alla temperatura appropriata ai reparti, o già impiattato o in grossi recipienti.

In un sistema *Cook-Chill* il cibo è cotto e mantenuto a una temperatura di 70–75°C o maggiore per almeno 2 minuti, poi raffreddato entro 30 minuti dalla cottura e portato a una temperatura di 0–3°C entro 90 minuti. Questa temperatura è mantenuta per tutta la durata della conservazione e della distribuzione finché non avviene la rigenerazione. La rigenerazione può avvenire o in una cucina centralizzata o nelle cucine di reparto e consiste nel portare il cibo a 70–75°C per almeno 2 minuti.

Il sistema *Cook-Freeze* differisce dal precedente solo per la temperatura a cui vengono stoccati i pasti, ovvero –20°C. La conservazione dei pasti può essere pertanto prolungata fino a 2 anni invece dei 5 giorni previsti dal sistema *Cook-Chill*.

Invece il sistema *Sous Vide* differisce da quello *Cook-Chill* perché il cibo viene messo sottovuoto in un sacchetto di plastica altamente protettivo contro aria e umidità e termicamente stabile.

Dallo sviluppo di sacchetti per il sottovuoto provvisti di valvola è emerso il sistema *Steamplicity*. Il cibo, crudo o parzialmente cotto, è impiattato in una cucina centralizzata, raffreddato a una temperatura inferiore a 5°C e distribuito alle cucine dei reparti dove può conservato fino a 4 giorni. A seconda delle richieste dei pazienti ogni singolo piatto è cotto individualmente in un forno a microonde a una temperatura superiore a 75°C [35].

Il sistema tradizione *Cook-Serve* è il maggiormente utilizzato negli USA (Silverman e altri, 2000), particolarmente negli ospedali con numero di posti letto inferiore a 100 (Gledhill, 1993; Mibey e Williams, 2002). Inoltre l'indagine statistica svolta dalla FIRE [8] in Italia conclude che l'80% del campione si affida

ad una gestione interna del servizio di cucina. In questo caso, secondo quanto affermato dall'*International Energy Outlook 2006* [4], il consumo annuo di energia primaria ammonta al 10% del totale. Esso è dovuto ai fabbisogni di energia elettrica, acqua calda, vapore e/o gas naturale in proporzione dipendente dal sistema di preparazione e distribuzione adottato e dalle apparecchiature a servizio delle cucine.

1.4 Energy Service Company e bando MIES

Una *Energy Service Company (ESCO)* secondo la norma UNI CEI 11352 (2010) è una società in grado di fornire tutti i servizi tecnici, commerciali e finanziari necessari per realizzare diagnosi energetiche e interventi di efficientamento energetico, assumendosi l'onere dell'investimento e il rischio di un mancato risparmio, a fronte della stipula di un contratto in cui siano stabiliti i propri utili [36]. Il contratto di rendimento energetico (*EPC*) ai sensi del D.Lgs. 115/2018 è particolarmente adatto a società sia pubbliche sia private il cui core business non è la gestione dell'energia; spesso numerose opportunità di efficientamento energetico sono trascurate a causa dei costi d'investimento ritenuti troppo onerosi e dell'assenza di competenza ed esperienza nel settore. Per questo una *ESCO* si occupa delle seguenti attività:

- diagnosi energetica con individuazione dei possibili interventi;
- verifica della rispondenza degli impianti e delle attrezzature alla legislazione e alla normativa di riferimento;
- elaborazione di studi di fattibilità con analisi tecnico-economica e scelta delle soluzioni più vantaggiose in termini energetici ed economici;
- progettazione e redazione delle specifiche tecniche degli interventi;
- realizzazione, messa in esercizio e collaudo;
- conduzione e manutenzione ordinaria e straordinaria degli impianti;
- monitoraggio del sistema di domanda e consumo di energia e presentazione di adeguati rapporti periodici;
- gestione di incentivi, bandi e finanziamenti pubblici;
- attività di formazione e informazione degli utenti;
- attività di certificazione o di supporto alla certificazione ai sensi della ISO 50001 o del Regolamento EMAS.

Negli ultimi anni la Pubblica Amministrazione ha colto il potenziale di questo modello normativo. Il CONSIP S.p.A. in rappresentanza del Ministero dell'Economia e delle Finanze ai sensi dell'art. 26 della Legge 488/99 e dell'art. 58 della Legge 388/200 e s.m.i. ha esposto due bandi di gara europea *MIES* e *MIES 2* per l'affidamento di un Multiservizio Tecnologico Integrato con fornitura di Energia per gli edifici in uso, a qualsiasi titolo, alle Pubbliche Amministrazioni Sanitarie. Esso regola l'assegnazione a un unico gestore, chiamato Assuntore o Fornitore, di tutte le attività di gestione, conduzione e manutenzione degli impianti tecnologici e delle strutture edili, la fornitura dei vettori energetici termico ed

elettrico e l'implementazione degli interventi di riqualificazione e di efficientamento energetico dei sistemi edificio/impianto [37]. La singola Pubblica Amministrazione Sanitaria che aderisca alla convenzione può richiedere alla *ESCo* uno o più servizi [37]:

A – Servizi Energetici con Efficientamento, suddivisi in:

A.1 – Servizio Energia con Efficientamento, così come definito dall'art. 1, comma 1, lettera p del D.P.R. 412/93 e dal D.Lgs. 115/2008 Allegato II e s.m.i., suddiviso a sua volta in:

A.1_{CI} – Servizio Energia per gli Impianti di Climatizzazione Invernale;

A.1_{ACV} – Servizio Energia per gli Impianti Termici integrati alla Climatizzazione Invernale (impianti di produzione Acqua Calda Sanitaria, Acqua Surriscaldata, Vapore e impianto Idrico-Sanitario).

A.2 – Servizio Elettrico con Efficientamento, suddiviso a sua volta in:

A.2_{EE} – Servizio Energia Elettrica con Efficientamento;

A.2_{CE} – Servizio Tecnologico con Efficientamento per gli Impianti di Climatizzazione Estiva;

A.2_{EL} – Servizio Tecnologico con Efficientamento per gli Impianti Elettrici.

B – Altri Servizi Tecnologici ed Edile suddivisi in:

B.1 – Servizio Tecnologico per gli Impianti Antincendio;

B.2 – Servizio Tecnologico per gli Impianti di Trasporto verticale ed orizzontale;

B.3 – Servizio di minuto Mantenimento Edile.

C – Servizi di Energy Management, riferiti agli interventi di riqualificazione energetica dei Servizi Energetici con Efficientamento *A*, suddivisi nelle seguenti attività:

C.1 – Certificazione Energetica;

C.2 – Diagnosi Energetica;

C.3 – Sistema di controllo e monitoraggio.

D – Servizi di Governo, trasversali a tutti i servizi, in cui sono previste le seguenti attività:

D.1 – Sistema Informativo;

D.2 – Call Center;

D.3 – Programmazione e Controllo Operativo;

D.4 – Anagrafica Tecnica.

Il Servizio *A.1* prevede fornitura di energia termica, gestione, conduzione e assunzione del ruolo di Terzo Responsabile, manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria per importo massimo pari al 7% del canone annuo, riqualificazione energetica, reperibilità e pronto intervento, presidio operativo ospedaliero. La manutenzione straordinaria aggiuntiva e la presenza di un presidio ospedaliero aggiuntivo sono eventualmente remunerate con una quota extra-canone. L'obiettivo del Servizio Energia per gli Impianti di Climatizzazione Invernale *A.1_{CI}* è quello di garantire, attraverso le attività inerenti gli impianti oggetto del servizio, il comfort ambientale inteso come temperatura dei locali e, ove gli impianti lo consentano, ricambi d'aria e umidità relativa. L'obiettivo del Servizio Energia per gli Impianti Termici integrati alla

Climatizzazione Invernale $A.1_{ACV}$ è quello di garantire, attraverso le attività inerenti gli impianti oggetto del servizio, la produzione di acqua calda sanitaria, alla temperatura prevista all'art. 5 comma 7 del D.P.R. 412/93 e s.m.i., di acqua surriscaldata o di vapore per usi diversi da quelli di riscaldamento, ai valori richiesti dall'Amministrazione.

Il Servizio $A.2$ prevede fornitura di energia elettrica, gestione, conduzione e assunzione del ruolo di Terzo Responsabile, se prevista, manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria fino a una quota massima prestabilita, riqualificazione energetica, reperibilità e pronto intervento e presidio operativo ospedaliero. La manutenzione straordinaria aggiuntiva e la presenza di un presidio ospedaliero aggiuntivo sono eventualmente remunerate con una quota extra-canone. Il Servizio Energia Elettrica con Efficientamento $A.2_{EE}$ prevede somministrazione di energia elettrica, manutenzione straordinaria degli impianti fino a una quota massima prestabilita, riqualificazione energetica, reperibilità e pronto intervento. Il Servizio Tecnologico con Efficientamento per gli Impianti di Climatizzazione Estiva $A.2_{CE}$ ha per oggetto gestione, conduzione e manutenzione degli impianti termici per la Climatizzazione Estiva degli edifici, come definiti dal decreto legislativo 19 agosto 2005 n. 192 e dal decreto del Presidente della Repubblica n. 74/2013 e s.m.i., compresa la realizzazione degli interventi di manutenzione straordinaria e di riqualificazione energetica del sistema edificio/impianto. Esso deve garantire il raggiungimento di un livello di comfort ambientale stabilito dall'Amministrazione Contraente nel rispetto dei limiti di legge e attraverso l'integrazione con gli strumenti tipici dell'energy management. Il Servizio Tecnologico con Efficientamento degli Impianti Elettrici $A.2_{EL}$ deve garantire, attraverso le attività inerenti gli impianti oggetto del servizio e anche nel caso in cui non sia stata richiesta la fornitura di energia elettrica, il comfort ambientale richiesto dall'Amministrazione, nel pieno rispetto dei parametri di targa/progetto degli impianti, ad esempio in termini di illuminazione degli ambienti interni e delle aree esterne.

I servizi B , C e D non sono approfonditi in questa sede in quanto non attinenti al presente lavoro. Per una trattazione più dettagliata si rimanda al sopraccitato Capitolato Tecnico [37].

Il contratto stipulato ha una durata di 7 anni e l'Assuntore è remunerato con un canone annuo e con un'eventuale quota extra-canone che dipende da tipologia di servizio, attività o interventi aggiuntivi richiesti dall'Amministrazione Contraente e condizioni operative. Egli deve perseguire i seguenti obiettivi generali:

- soddisfare gli obiettivi e parametri di comfort;
 - garantire la piena efficienza e disponibilità di tutti gli impianti oggetto del servizio attraverso un programma di manutenzione e contenere i costi di manutenzione;
 - rispettare gli obiettivi di risparmio energetico dichiarati in Offerta Tecnica;
 - diminuire le emissioni inquinanti e il conseguente impatto ambientale;
 - migliorare la conoscenza delle caratteristiche di impianti e fabbisogni energetici;
 - ridurre al minimo la frequenza dei guasti;
 - rispettare le norme di sicurezza;
 - rispettare i tempi di sopralluogo e intervento;
 - rispettare i tempi di esecuzione in base al programma di manutenzione.
-

Nell'ambito della Convenzione *MIES 2* i servizi e le relative forniture devono essere erogati dall'Assuntore in modo da contenere il più possibile i costi a carico delle Amministrazioni Contraenti e garantire [37]:

- le economie derivanti dalla stipula di un singolo contratto a fronte dell'erogazione di una molteplicità di servizi (servizi di gestione, conduzione, manutenzione degli impianti tecnologici, fornitura di energia, eventuale messa a norma degli impianti, interventi di riqualificazione energetica del sistema edificio/impianto, attività di controllo e monitoraggio, attività di progettazione ed espletamento pratiche, etc.);
- gli obiettivi di risparmio energetico termico ed elettrico dichiarati in Offerta Tecnica, attraverso la razionalizzazione e la riqualificazione tecnologica del patrimonio impiantistico, la diminuzione delle emissioni inquinanti e la conseguente riduzione dell'impatto ambientale;
- un parziale e immediato risparmio, per la durata del contratto, relativo all'impegno economico che avrebbe dovuto sostenere per l'esecuzione degli interventi di riqualificazione energetica e straordinaria e, quindi, il superamento della mancanza di capitali da destinare al finanziamento dei progetti o, comunque, la possibilità di destinare le proprie risorse ad altri investimenti;
- un totale risparmio, relativo agli interventi effettuati e ai benefici prodotti, nel periodo successivo al contratto di fornitura dei servizi, compatibilmente alla vita utile degli interventi stessi, nonché l'acquisizione della proprietà dei nuovi impianti;
- la massima disponibilità ed efficienza degli impianti e sicurezza per le persone e le cose;
- i livelli dei servizi attesi in termini di comfort ambientale (temperatura, umidità relativa, ricambi d'aria, illuminazione, etc.);
- l'acquisizione di un quadro conoscitivo completo dei consumi energetici e della consistenza e funzionalità del sistema edificio/impianto;
- il superamento delle carenze progettuali e gestionali dell'Amministrazione nel campo dei servizi di *facility* ed *energy management*.

Il contratto stipulato tramite la presente convenzione può essere inquadrato come una specifica applicazione dei contratti di rendimento energetico (*EPC*), in particolare di quelli di tipo *First Out*. La *ESCO* realizza con mezzi economico-finanziari propri o di terzi interventi volti all'efficientamento di un sistema energetico di proprietà di un altro soggetto beneficiario. Essa si occupa di progettazione, realizzazione, gestione e manutenzione dell'intervento e si assume il rischio tecnico, finanziario e giuridico. La remunerazione avviene tramite un canone annuo prefissato e gli obiettivi di risparmio energetico, così come il conseguimento dei Titoli di Efficienza Energetica (*TEE*), aumentano il margine di profitto della *ESCO*. Eventuali nuovi impianti installati sono di proprietà dell'Amministrazione Contraente, la quale alla scadenza del contratto è libera di stipularne un altro con la migliore *ESCO* offerente. Si conclude che l'ospedale può usufruire degli interventi di riqualificazione energetica senza le necessità di reperire il capitale d'investimento e di ammortizzare la relativa immobilizzazione materiale.

Capitolo 2

Analisi statistica sul parco di strutture ospedaliere

2.1 Introduzione all'analisi statistica

Nel presente capitolo è presentata un'indagine statistica condotta su un campione di strutture ospedaliere aderenti alle convenzioni *MIES* e *MIES 2*; esse sono elencate in Tab. 2.1 con indicazione di fabbisogno termico annuo medio $ET \left[\frac{kWh}{anno} \right]$, superficie lorda $SL \left[m^2 \right]$ e numero di posti letto PL . Si specifica che il numero di posti letto è dato dalla somma di quelli destinati alla degenza ordinaria e quelli dedicati a day hospital e day surgery. La fonte è il resoconto annuale del Ministero della Salute [38]. Laddove siano state riscontrate difformità con lo stato corrente delle strutture ospedaliere, il sopraccitato dataset è stato corretto. Si intende sottolineare che tutte le strutture si trovano nel nord Italia ad eccezione dell'Ospedale Di Summa – Perrino di Brindisi a causa della disponibilità della *ESCo* con cui è stato svolto questo progetto. Pertanto non è stato possibile progettare un piano sperimentale completamente casualizzato sull'intera penisola. Pertanto i risultati evidenziati in questo capitolo hanno particolare valenza per l'area settentrionale, ma la scelta di inserire nel campione anche un ospedale di Brindisi mira a valutare se esso si comporti o meno come un *outlier* e, di conseguenza, punta a estendere le conclusioni del lavoro all'intero parco delle strutture ospedaliere italiane. Tuttavia si consiglia di ripetere questo studio con un campione omogeneamente distribuito sulla penisola italiana per identificare eventuali differenze negli investimenti e nella gestione delle strutture da parte delle amministrazioni sanitarie.

L'obiettivo del progetto qui descritto consiste nella creazione di un modello di prima approssimazione per la stima del fabbisogno annuo medio di energia termica. Si propongono due modelli di regressione lineare, i quali sono successivamente testati sull'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli e confrontati tra loro e con il valore misurato affinché si possa scegliere il migliore. Si precisa che i fabbisogni annui di energia termica in Tab. 2.1 sono valori medi nel periodo 2017–2019 misurati all'uscita della centrale termica.

Al fine di determinare un modello quanto più accurato possibile le principali fonti di variabilità del fabbisogno di energia termica sono state analizzate. La scelta degli indicatori di prestazione (*KPIs*) e delle fonti di variabilità è stata suggerita da studi analoghi condotti in Spagna [39] [40] e Germania [41]. I *KPIs* scelti sono i rapporti tra il fabbisogno medio annuo di energia termica e rispettivamente la superficie

Denominazione	Comune	Provincia	$ET \left[\frac{kWh}{anno} \right]$	$SL \left[m^2 \right]$	PL
Ospedale Di Summa – Perrino	Brindisi	BR	16,090,362	99,874	513
Ospedale San Gerardo	Monza	MB	27,767,869	187,198	780
Ospedale di Desio	Desio	MB	9,499,565	50,815	343
Fondazione IRCCS Istituti Clinici Scientifici Maugeri S.p.A.	Lissone	MB	1,809,117	7,437	54
Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico	Milano	MI	32,245,025	166,152	966
Ospedale San Carlo Borromeo	Milano	MI	24,370,523	120,964	560
Istituto Ortopedico Gaetano Pini	Milano	MI	8,128,370	30,877	372
Fondazione IRCCS Istituto Nazionale dei Tumori	Milano	MI	13,050,370	46,040	343
Ospedale Fatebenefratelli e Oftalmico	Milano	MI	11,523,299	54,750	314
Ospedale di Vizzolo Predabissi	Vizzolo Predabissi	MI	12,686,963	47,996	291
Ospedale Uboldo	Cernusco sul Naviglio	MI	5,190,382	25,522	153
Ospedale Santa Maria delle Stelle	Melzo	MI	5,824,907	19,477	148
Ospedale Serbelloni	Gorgonzola	MI	1,317,693	11,051	27
Ospedale di Circolo di Busto Arsizio	Busto Arsizio	VA	24,980,758	87,302	661
Ospedale di Saronno	Saronno	VA	9,615,012	47,323	281
Ospedale Galmarini	Tradate	VA	6,677,986	28,865	152
Ospedale di Circolo Causa Pia Luvini	Cittiglio	VA	4,808,686	27,600	101
Ospedale Luini Confalonieri	Luino	VA	4,337,154	23,000	69
Ospedale Santi Pietro e Paolo	Borgosesia	VC	3,184,747	20,719	76
Ospedale San Bortolo	Vicenza	VI	23,594,633	176,513	795
Ospedale di Arzignano	Arzignano	VI	2,839,117	23,901	169
Ospedale di Noventa Vicentina	Noventa Vicentina	VI	2,794,524	26,144	97

Tabella 2.1: Campione di strutture ospedaliere con indicazione di fabbisogno termico annuo ET , superficie lorda SL e numero di posti letto PL .

lorda $\frac{ET}{SL} \left[\frac{kWh}{anno \cdot m^2} \right]$ e il numero totale di posti letto $\frac{ET}{PL} \left[\frac{kWh}{anno \cdot letto} \right]$. Le fonti di variabilità analizzate sono la provincia di appartenenza $PROV$, il numero medio annuo di gradi giorno invernali $HDDY$ e il numero medio annuo di gradi giorno estivi $CDDY$ nel periodo 2017–2019. Si ritiene doveroso specificare che i gradi giorno invernali ed estivi annui sono calcolati come indicato da Eq. 2.1:

$$HDDY = \sum_{i=1}^{365} \max(T_{ref,inv} - T_i; 0) \quad (2.1a)$$

$$CDDY = \sum_{i=1}^{365} \max(T_i - T_{ref,est}; 0) \quad (2.1b)$$

dove T_i è la temperatura ambiente media giornaliera, calcolata a partire dai rilevamenti orari delle ARPA regionali, $T_{ref,inv}$ è pari a 20°C e $T_{ref,est}$ a 24°C.

2.2 Modello previsionale del fabbisogno termico annuo

Introduzione Un modello di regressione lineare monovariabile consiste nel determinare, per ogni osservazione campionaria, una relazione lineare tra la variabile dipendente Y e la variabile indipendente X :

$$Y_i = \beta_1 X_i + \beta_0 + u_i \quad (2.2)$$

dove

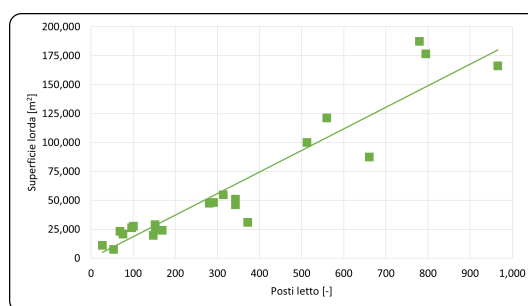
- i varia tra le osservazioni, $i = 1, 2, \dots, n$;
- Y_i è la variabile dipendente;
- X_i è la variabile indipendente o regressore;
- β_1 è il coefficiente angolare della retta di regressione della popolazione;
- β_0 è l'intercetta della retta di regressione della popolazione;
- u_i è l'errore statistico, il quale è costituito da fattori omessi, diversi da X , che influenzano la Y , e dall'errore di misura di Y .

I parametri β_0 e β_1 sono relativi alla popolazione dalla quale il campione è estratto e sono pertanto ignoti. Di conseguenza è necessario stimare tali parametri e la loro stima, indicata con b_0 e b_1 , è comunemente effettuata tramite il metodo dei minimi quadrati ordinari (*OLS*).

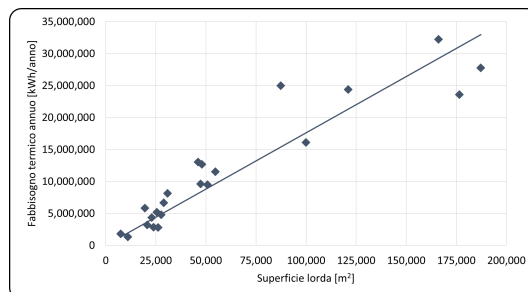
Sviluppo dei modelli previsionali In Tab. 2.2 sono leggibili i coefficienti di Pearson tra ET , SL e PL : essi dimostrano che sussiste una marcata correlazione lineare positiva tra fabbisogno di energia termica, superficie lorda e numero di posti letto. I risultati sono aderenti allo studio di Gonzalez e altri [39] [40] [41]. È necessario sottolineare la correlazione tra numero di posti letto e superficie lorda, che non permette di utilizzare un modello di regressione multipla. Inoltre, si specifica che nei modelli di

	<i>ET</i>	<i>PL</i>	<i>SL</i>
<i>ET</i>	1		
<i>PL</i>	0.9719	1	
<i>SL</i>	0.9350	0.9456	1

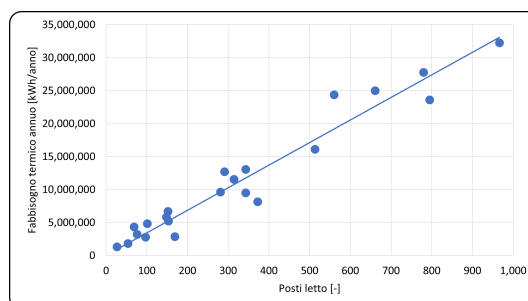
Tabella 2.2: Coefficienti di correlazione tra fabbisogno termico annuo, numero di posti letto e superficie lorda.



(a) Regressione lineare tra superficie lorda e numero di posti letto.

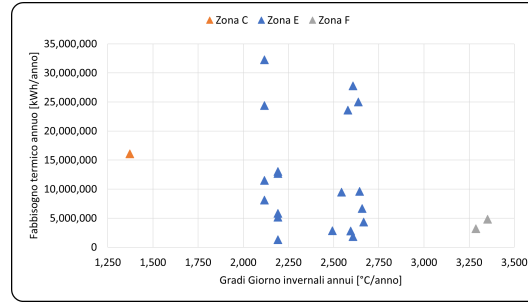


(b) Regressione lineare tra fabbisogno termico annuo e superficie lorda.

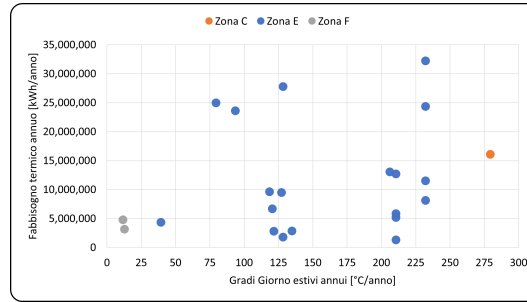


(c) Regressione lineare tra fabbisogno termico annuo e numero di posti letto.

Figura 2.1: Modelli di regressione lineare.



(a) Correlazione tra fabbisogno termico annuo e numero annuo di gradi giorno invernali.



(b) Correlazione tra fabbisogno termico annuo e numero annuo di gradi giorno estivi.

Figura 2.2: Correlazione tra fabbisogno termico annuo e zona climatica.

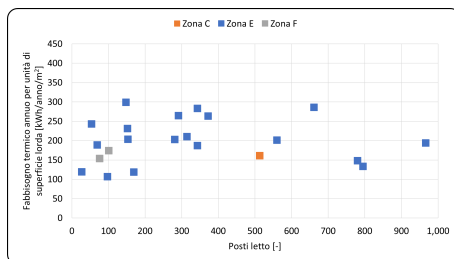
regressione di seguito proposti di seguito l'intercetta b_0 è stata posta pari a 0 per evidenti motivi. La Fig. 2.1a e l'Eq. 2.3a mostrano il modello tra SL e PL , il cui coefficiente di determinazione R^2 è pari a 0.9526 e conferma la similarità morfologica degli ospedali analizzati [41]. La correlazione tra ET e SL è espressa dalla Eq. 2.3b e rappresentata in Fig. 2.1b; il coefficiente di determinazione R^2 è pari a 0.9438. In maniera simile, l'Eq. 2.3c e la Fig. 2.1c mostrano la correlazione tra ET e PL , il cui coefficiente di determinazione è pari a 0.9781.

$$SL = 186.42 \frac{m^2}{\text{letto}} PL \quad (2.3a)$$

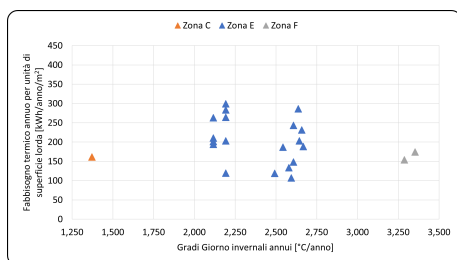
$$ET = 176.03 \frac{kWh}{\text{anno} \cdot m^2} SL \quad (2.3b)$$

$$ET = 34,227.02 \frac{kWh}{\text{anno} \cdot \text{letto}} PL \quad (2.3c)$$

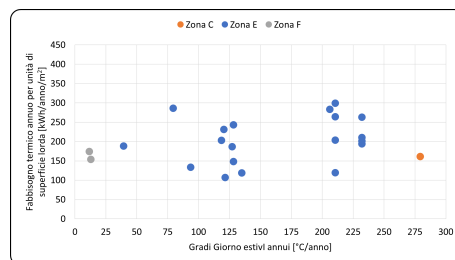
Analisi di varianza Come si evince da Fig. 2.2, non è possibile osservare nessuna correlazione statistica tra il fabbisogno termico annuo e la zona climatica, tradotta in numero annuo medio di gradi giorno invernali e numero annuo medio di gradi giorno estivi. Il fabbisogno termico annuo può essere normalizzato rispetto sia alla superficie lorda sia al numero di posti letto, ma, come è possibile notare in Fig. 2.3 e Fig. 2.4, nemmeno in questo caso emerge alcuna correlazione significativa. Normalizzare il fabbisogno termico annuo rispetto sia alla superficie lorda sia al numero di posti letto ha l'unico risultato di ridurre la deviazione standard relativa, che passa da 0.8164 per la variabile ET a 0.3425 e 0.2652 rispettivamente per $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$. La zona climatica sembra essere non significativa per il campione in esame. A riprova di quanto appena detto è stata condotta un'analisi di varianza (*ANOVA*) sugli indicatori $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$. Le



(a) Correlazione tra fabbisogno termico annuo per unità di superficie lorda e numero di posti letto.

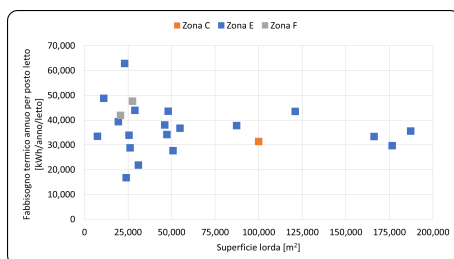


(b) Correlazione tra fabbisogno termico annuo per unità di superficie lorda e numero annuo di gradi giorno invernali.

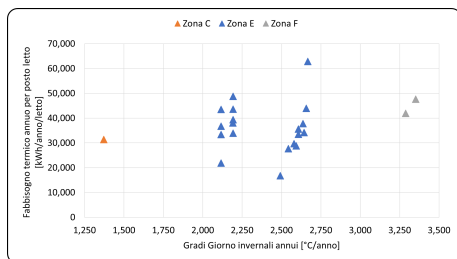


(c) Correlazione tra fabbisogno termico annuo per unità di superficie lorda e numero annuo di gradi giorno estivi.

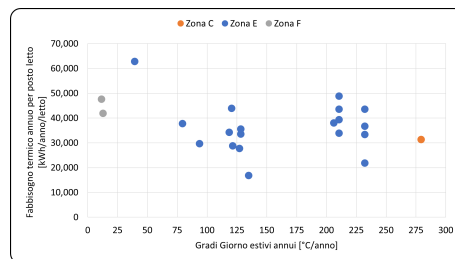
Figura 2.3: Fabbisogno termico annuo normalizzato rispetto alla superficie lorda.



(a) Correlazione tra fabbisogno termico annuo per posto letto e superficie lorda.



(b) Correlazione tra fabbisogno termico annuo per posto letto e numero annuo di gradi giorno invernali.

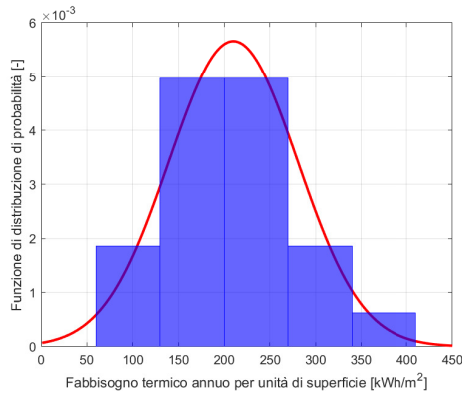


(c) Correlazione tra fabbisogno termico annuo per posto letto e numero annuo di gradi giorno estivi.

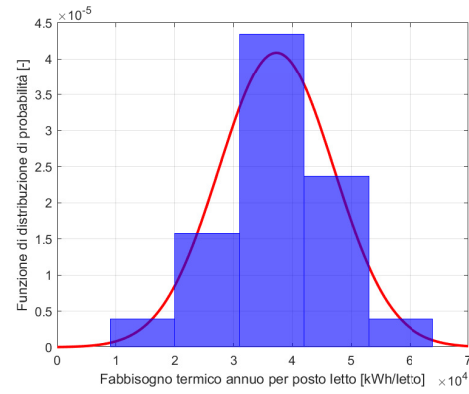
Figura 2.4: Fabbisogno termico annuo normalizzato rispetto al numero di posti letto.

Fattori	Classi	Limiti
$HDDY \left[\frac{^{\circ}C}{anno} \right]$	$HDDY1$	$HDDY \leq 1000$
	$HDDY2$	$1000 < HDDY \leq 1250$
	$HDDY3$	$1250 < HDDY \leq 1500$
	$HDDY4$	$1500 < HDDY \leq 1750$
	$HDDY5$	$1750 < HDDY \leq 2000$
	$HDDY6$	$2000 < HDDY \leq 2250$
	$HDDY7$	$2250 < HDDY \leq 2500$
	$HDDY8$	$2500 < HDDY \leq 2750$
	$HDDY9$	$2750 < HDDY \leq 3000$
	$HDDY10$	$HDDY > 3000$
$CDDY \left[\frac{^{\circ}C}{anno} \right]$	$CDDY1$	$CDDY \leq 100$
	$CDDY2$	$100 < CDDY \leq 200$
	$CDDY3$	$200 < CDDY \leq 300$
	$CDDY4$	$CDDY > 300$

Tabella 2.3: Clusterizzazione delle fonti di variabilità $HDDY$ e $CDDY$ secondo [41].



(a) Funzione di distribuzione di probabilità del fabbisogno termico annuo per unità di superficie lorda.



(b) Funzione di distribuzione di probabilità del fabbisogno termico annuo per posto letto.

Figura 2.5: Funzioni di distribuzione di probabilità per $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$ e confronto con le rispettive funzioni di distribuzione di probabilità normale.

	$HDDY$	$CDDY$	$PROV$
$\frac{ET}{SL}$	0.5944	0.6072	0.1721
$\frac{ET}{PL}$	0.7246	0.2749	0.2212

Tabella 2.4: p -value risultanti dall'analisi di varianza a tre vie per $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$.

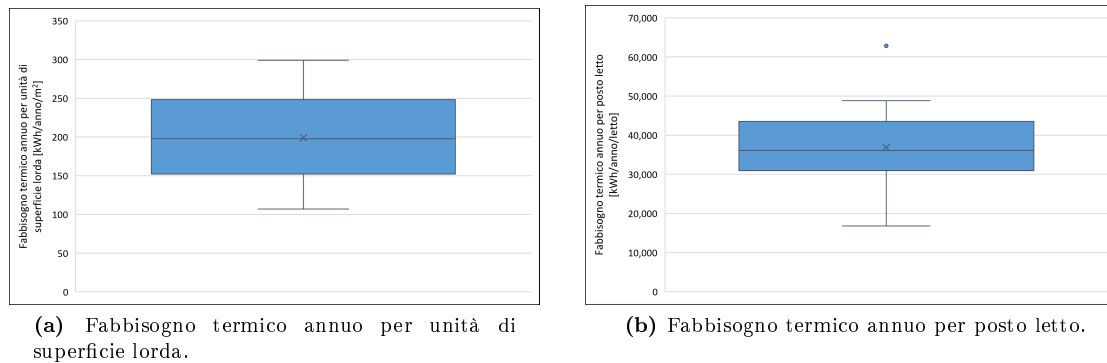


Figura 2.6: Box plot di $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$ per il campione di strutture ospedaliere.

Edificio	Milano $\left[\frac{kWh}{anno \cdot m^2}\right]$	Roma $\left[\frac{kWh}{anno \cdot m^2}\right]$	Palermo $\left[\frac{kWh}{anno \cdot m^2}\right]$
A massiva	54	29	21
B massiva	56	29	21
C massiva	69	37	25
D massiva	73	39	25
A leggera	51	28	21
B leggera	56	30	22
C leggera	67	36	24
D leggera	73	40	27

Tabella 2.5: Fabbisogni termici annui per unità di superficie di edifici residenziali a Milano, Roma e Palermo [42]

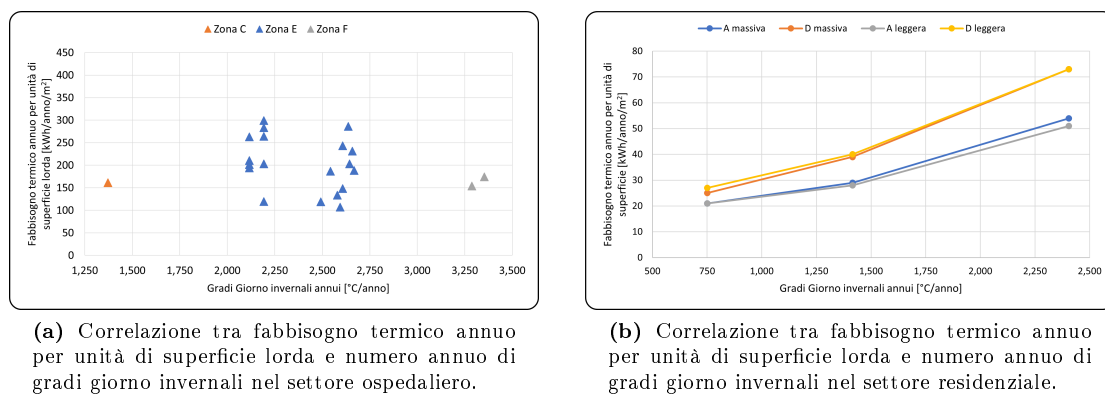


Figura 2.7: Confronto tra settori ospedaliero e residenziale sul fabbisogno termico annuo per unità di superficie.

fonti di variabilità, come preannunciato, sono il numero annuo medio di gradi giorno invernali $HDDY$, il numero annuo medio di gradi giorno estivi $CDDY$ e la provincia di appartenenza $PROV$. I fattori $HDDY$ e $CDDY$ sono stati uniformemente clusterizzati come indicato in Tab. 2.3 e come proposto nello studio di Gonzalez e altri [41]. Si ipotizza innanzitutto che $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$ siano variabili aleatorie con funzione di distribuzione di probabilità di tipo normale. Aggiungendo anche l'ospedale di Vercelli al campione al fine di aumentarne la numerosità, il test di Anderson–Darling conferma la bontà di questa ipotesi; in Fig. 2.5 è possibile confrontare gli istogrammi con le rispettive funzioni di distribuzione di probabilità normale. Si ipotizza inoltre che le fonti di variabilità possano avere influenza sulla media ma non sulla varianza delle variabili aleatorie. L'analisi di varianza a tre vie è stata quindi reiterata per ciascuno dei $KPIs$ e la Tab. 2.4 ne riassume i risultati. Assumendo un valore di significatività pari al 5%, non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla H_0 di effetto trascurabile dei fattori sulla media di ciascuna delle variabili aleatorie. Questa conclusione è concorde con gli esiti degli studi di Gonzalez e altri [39] [40] [41], dai quali emerge che né in Spagna né in Extremadura, una regione sud–orientale della Spagna, né in Germania sussiste una correlazione tra fabbisogno termico annuo e zona climatica.

Per comprendere al meglio il risultato dell'analisi di varianza si riportano delle opportune considerazioni. In Fig. 2.6 sono riportati i box plot dei summenzionati $KPIs$ per il campione di strutture ospedaliere. L'unico *outlier* è l'Ospedale Luini Confalonieri per quanto riguarda il fabbisogno termico annuo per posto letto in Fig. 2.6b, mentre l'ospedale di Brindisi non è in alcun caso un *outlier*. Si riporta inoltre un confronto con uno studio dell'ENEA sul settore residenziale [42]. La simulazione prende in considerazione quattro soluzioni (denominate A , B , C e D), che si differenziano per i diversi profili di temperature di set–point e umidità relativa imposti e per due gestioni differenti della ventilazione. Per ogni soluzione sono analizzate sia una struttura massiva sia una struttura leggera. La simulazione è ripetuta nelle città di Milano, Roma e Palermo, per le quali il D.P.R. 412/93 prevede 2404, 1415 e 751°C gradi giorno invernali all'anno. In Tab. 2.5 si riportano i fabbisogni termici annui per unità di superficie dedotti dalla simulazione. La deviazione standard relativa del fabbisogno termico annuo per unità di superficie è pari a 0.4508, mentre quella del fabbisogno termico annuo per unità di superficie e grado giorno invernale è 0.1691. Emerge che normalizzare il fabbisogno termico rispetto ai gradi giorno invernali riduce la deviazione standard relativa data l'incidenza preponderante del riscaldamento invernale sul fabbisogno totale. Invece nel caso degli ospedali la deviazione standard relativa del fabbisogno termico annuo per unità di superficie è pari a 0.2879, mentre quella del fabbisogno termico annuo per unità di superficie e grado giorno invernale è 0.3507. Normalizzare il fabbisogno termico rispetto ai gradi giorno invernali aumenta la variabilità del campione diversamente dal caso precedente. In Fig. 2.7 è possibile notare che i fabbisogni termici annui per unità di superficie delle soluzioni A e D aumentano con i gradi giorno, mentre non è possibile trarre conclusioni di tale sorta nel caso del settore ospedaliero. Si conclude che, nonostante l'aliquota del fabbisogno termico annuo degli ospedali destinata al riscaldamento sia considerevole, come descritto nel Par. 1.3.1, non si ha sufficiente evidenza statistica per affermare che la zona climatica abbia un effetto non trascurabile nella determinazione di un riferimento per futuri progetti e nella valutazione della gestione energetica di questi edifici.

		Ospedale	Piastra ospedaliera	Uffici
Superficie lorda	$[m^2]$	55,503	5,351	4,035
Superficie netta	$[m^2]$	53,371	4,782	3,741
Volume	$[m^3]$	210,911	17,658	12,345
Superficie lorda del luogo di fornitura	$[m^2]$	33,115	2,778	3,741
Volume del luogo di fornitura	$[m^3]$	125,837	10,561	12,345
Piani	$[-]$	8	6	6
Classe di destinazione d'uso		<i>E3</i>	<i>E3</i>	<i>E2</i>
ORE_{RS}	$[h]$	168	168	40
ORE_{RG}	$[h]$	24	24	8

Tabella 2.6: Informazioni sull'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli. Le classi *E2* ed *E3* di destinazione d'uso ai sensi del D.P.R. 412/93 corrispondono rispettivamente a “*Edifici adibiti a uffici e assimilabili*” e “*Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura assimilabili*”. Le ore di comfort settimanali ORE_{RS} sono le ore settimanali durante le quali deve essere assicurata la temperatura richiesta, nei limiti previsti per l'esercizio degli impianti termici all'art. 9, comma 2, del D.P.R. 412/93 e s.m.i; le ore di comfort giornaliere ORE_{RG} sono le ore medie giornaliere di comfort, calcolate come rapporto tra ORE_{RS} e il numero di giorni in cui è richiesta anche solo un'ora di comfort.

2.3 Test sull'Ospedale di Vercelli

Descrizione dell'ospedale Il caso studio preso in considerazione è l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli, il quale è provvisto di 257 posti letto, di cui 37 dedicati a day hospital e day surgery, suddivisi in 23 reparti. L'ospedale è composto da una struttura principale, una piastra ambulatoriale e da un palazzina per gli uffici; la Tab. 2.6 ne riporta le principali informazioni. La struttura principale vede la sua nascita nei primi anni Cinquanta, è caratterizzata da un blocco centrale e diverse ali e si sviluppa su 2 piani interrati e 6 piani fuori terra [Fig. 2.8a e Fig. 2.8b]. Nello stato di fatto la produzione del fluido termovettore è affidata a 4 generatori di calore ad acqua calda installati nel 2004 [Fig. 2.8c e Fig. 2.8d]. I bruciatori sono di tipo monostadio, privi di modulazione e incapaci di rispettare i limiti di emissione di NO_x ($80 \frac{mg}{kW h}$) imposti dal D.G.R. 46–11968 della Regione Piemonte. Inoltre i generatori di calore non risultano conformi all'art. 12 comma 1 del D.P.R. n.74 del 2013 per quanto riguarda il rendimento di produzione, il quale è funzione della potenza nominale e dell'anno di installazione. Oltre a soddisfare il fabbisogno della struttura principale, questa centrale termica provvedere anche alla produzione del vettore energetico necessario alla piastra ambulatoriale e alla palazzina degli uffici. La piastra ambulatoriale [Fig. 2.8e e Fig. 2.8f] è stata inaugurata il 12 luglio 2012 ed è per questo a norma per tipologia edilizia e prescrizioni energetiche in vigore; la palazzina degli uffici [Fig. 2.8g] è stata costruita negli anni Sessanta ed è composta da 6 piani fuori terra.

La centrale termica ha in ingresso due rampe del gas, ognuna delle quali alimenta i bruciatori di due generatori di calore. Il fluido termovettore è acqua calda surriscaldata alla pressione di *6bar*. Ogni generatore di calore ha un circuito di by-pass che permetta la miscelazione di una parte del flusso in uscita ad alta temperatura con quello in ingresso a bassa temperatura. Il fluido termovettore in uscita è convogliato in una linea diretta agli uffici, in una linea diretta al magazzino e nell'anello deputato alla climatizzazione invernale.



(a) Prospetto dell'edificio ospedaliero.



(b) Prospetto dell'edificio ospedaliero.



(c) Prospetto della centrale termica.



(d) Prospetto della centrale termica.



(e) Prospetto della piastra ambulatoriale.



(f) Prospetto della piastra ambulatoriale.



(g) Prospetto della palazzina degli uffici.

Figura 2.8: Prospetti dell'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

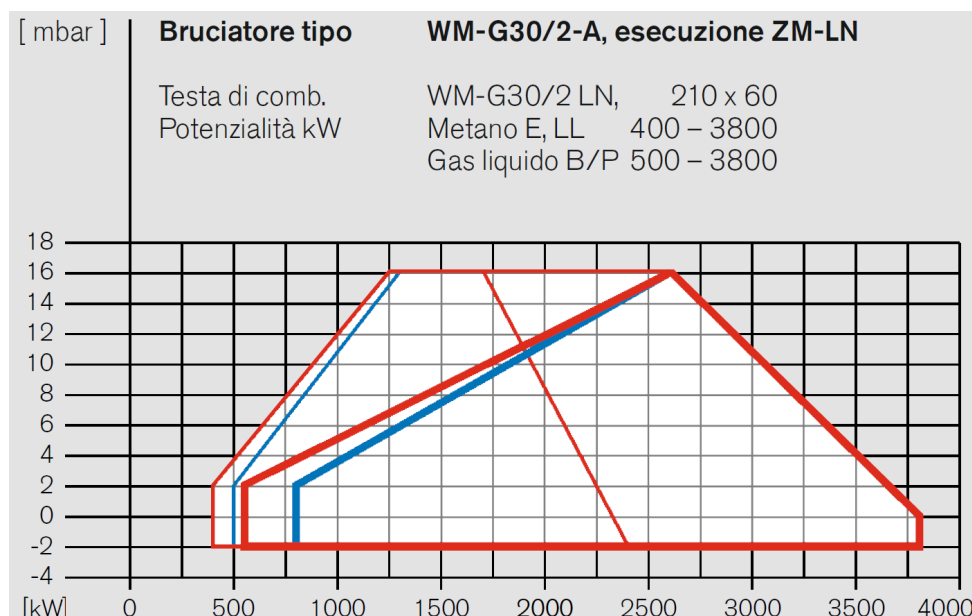


Figura 2.9: Campo di lavoro dei bruciatori di prevista installazione.

Convenzione MIES 2 Nell'ambito della Convenzione *MIES 2* la direzione sanitaria ha chiesto l'attivazione dei servizi *A.1* (Servizio Energia con Efficientamento) e *A.2_{CE}* (Servizio Tecnologico con Efficientamento per gli Impianti di Climatizzazione Estiva) tramite un Ordinativo Principale di Fornitura (*OPF*). In base a quanto detto in Par. 1.4 il contratto proposto da *Edison Facility Solutions S.p.A.* comprende un intervento di manutenzione straordinaria per adeguamento normativo e sostituzione per fine del ciclo di vita e due interventi di riqualificazione energetica.

La manutenzione straordinaria prevede la sostituzione dei generatori di calore attualmente presenti di potenza al focolare di 2908kW , potenza utile di 2778kW e rendimento pari a 84.70% con 4 generatori di calore a 3 giri di fumo a condensazione dotati di economizzatore e accoppiati a bruciatori bistadio progressivi modulanti muniti di camma elettronica. La potenza al focolare, la potenza utile e il rendimento nominale delle nuove caldaie sono rispettivamente 3470kW , 3200kW e 91% . Il combustibile previsto è gas naturale, pertanto si faccia riferimento alla curva in rosso in Fig. 2.9 per identificare il campo di lavoro. Per completezza la curva in blu indica l'utilizzo di combustibile liquido; inoltre, le curve più spesse si riferiscono al funzionamento con testa di combustione aperta, mentre quelle più sottili si riferiscono al funzionamento con testa di combustione chiusa.

Gli interventi di riqualificazione energetica riguardano il telecontrollo e la trigenerazione. Si intende innanzitutto installare in tutti i presidi, che sono compresi nell'*OPF* e che ne sono sprovvisti, le sonde necessarie alla misura di parametri come temperatura, pressione e portata sulle principali apparecchiature delle centrali e sottocentrali termiche, riguardanti sia il riscaldamento sia il condizionamento, quali caldaie, elettropompe, valvole motorizzate, gruppi frigoriferi, unità di trattamento dell'aria, oltre alle sonde in ambiente per la verifica del benessere termoisigrometrico degli utenti e ad apparecchiature, quadri e sistemi di telecontrollo in grado di rimandare tutte le informazioni alla centrale operativa.

Il secondo progetto di riqualificazione energetica prevede l'installazione di un cogeneratore accoppiato a un refrigeratore ad assorbimento alimentato ad acqua calda. Il calore da smaltire, ovvero non recuperabile in quanto a temperature non compatibili alle necessità del sistema edificio/impianto, deve essere smaltito attraverso dry cooler posti in copertura della centrale termica. Per lo smaltimento del calore di

condensazione del gruppo frigorifero ad assorbimento si prevede l'installazione di una torre evaporativa. È infine necessaria l'installazione di un trasformatore BT–MT per il collegamento in cabina. Il Cap. 3 è dedicato all'illustrazione di questo progetto di riqualificazione energetica. L'analisi energetica, così come l'analisi di redditività, è svolta omettendo l'installazione delle rete di telecontrollo in modo da concentrarsi sui risparmi energetico ed economico dettati dall'impianto di trigenerazione.

Fabbisogni termici annui		$\left[\frac{kWh}{anno}\right]$
Media sul periodo 2015–2017	E_{sk}	12,830,685
Misura da 05/2019 a 04/2020	$E_{19/20}$	11,254,093
Stima da Eq. 2.3b	$E_{reg.lin.SL}$	11,370,600
Stima da Eq. 2.3c	$E_{reg.lin.PL}$	8,796,345

Tabella 2.7: Misurazione e stima del fabbisogno termico annuo presso l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

Modello di regressione	Errore rispetto a E_{sk}	Errore rispetto a $E_{19/20}$
$E_{reg.lin.SL}$ [Eq. 2.3b]	11.38%	1.04%
$E_{reg.lin.PL}$ [Eq. 2.3c]	31.44%	21.84%

Tabella 2.8: Errori percentuali dei modelli di regressione rispetto ai valori misurati presso l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

Scelta del modello Si intende ora testare i modelli introdotti nel Par. 2.2. Si faccia pertanto riferimento alla Tab. 2.7. Il fabbisogno termico annuo medio sul periodo 2015–2017 E_{sk} è calcolato dividendo il fabbisogno annuo medio di energia primaria J_{sk} per il rendimento di generazione delle caldaie attualmente presenti in sito. Il fabbisogno termico da maggio 2019 ad aprile 2020 $E_{19/20}$ è stato ricavato allo stesso modo. La superficie lorda utilizzata in Eq. 2.3b è pari alla somma di quella dell'ospedale ($55,503m^2$), quella della piastra ospedaliera ($5,351m^2$) e quella della palazzina degli uffici ($3,741m^2$), ovvero $64,595m^2$. Il numero di posti letto utilizzato in Eq. 2.3c è 257. La Tab. 2.8 riporta gli errori percentuali dei modelli di regressione rispetto a E_{sk} ed $E_{19/20}$. Si può concludere che il modello previsionale migliore sia quello in funzione della superficie lorda [Eq. 2.3b] perché è affetto da un errore minore e richiede in ingresso un dato pressoché immutabile nel tempo. Infatti, mentre il numero di posti letto può essere sovente soggetto a modificazioni da parte dell'amministrazione sanitaria, la superficie lorda resta costante nel tempo a meno di infrequenti modificazioni strutturali. Inoltre si ricorda che in questo caso la centrale termica serve anche la palazzina degli uffici, la quale ha un fabbisogno termico di tipo residenziale e non svolge alcuna funzione prettamente sanitaria: di conseguenza il parametro PL risulta poco adatto a descrivere efficacemente il sistema complessivo. Si fa notare che l'errore della stima effettuata tramite l'Eq. 2.3b non è costante nel tempo perché il fabbisogno termico varia di anno in anno in funzione sia delle condizioni meteorologiche sia del carico di lavoro, come dettagliato nel Par. 2.4. Quindi l'obiettivo di questo lavoro non può consistere nel determinare accuratamente anno dopo anno il fabbisogno termico della struttura ma nel fornire un valore di riferimento sia per valutare la gestione energetica del sistema edificio/impianto sia per avere una prima approssimazione per ospedali morfologicamente simili. Infine

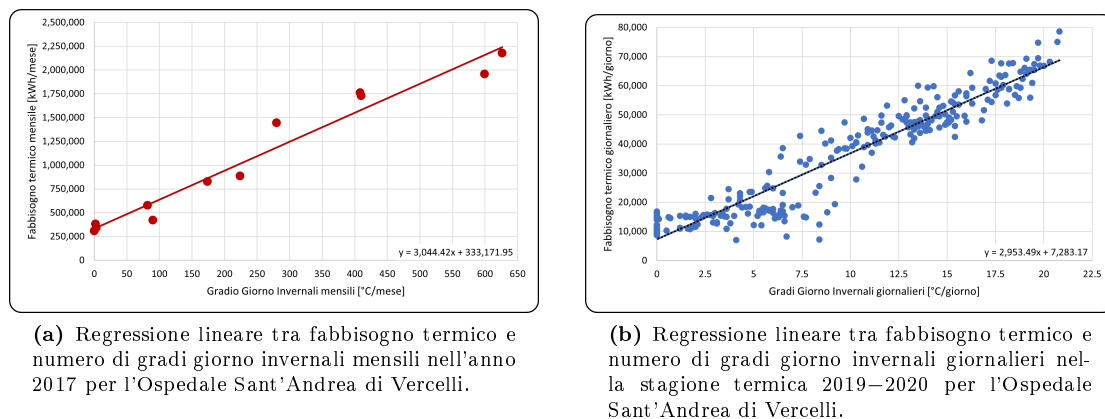


Figura 2.10: Confronto tra modello di regressione su base mensile e modello di regressione su base giornaliera.

si segnala che lo studio di García–Sanz–Calcedo e altri [40] su un campione di centri medici di superficie compresa tra 500 e $3,500m^2$ in Extremadura propone un modello simile, in particolare un modello di regressione quadratico tra il fabbisogno termico annuo e la superficie lorda.

2.4 Considerazioni sui profili di fabbisogno termico

Ad oggi, nella conduzione ordinaria degli impianti termici delle strutture ospedaliere è di comune uso la regressione lineare con un singolo regressore, che a causa dell'incidenza preponderante del riscaldamento invernale sul fabbisogno totale di energia termica è il numero di gradi giorno invernali. La Fig. 2.10 riporta a mo' di esempio il caso dell'Ospedale di Vercelli su base rispettivamente giornaliera e mensile. Il coefficiente di determinazione R^2 del modello mensile è pari a 0.9587, mentre quello del modello giornaliero è pari a 0.9072; la frazione di varianza della variabile dipendente spiegata dalla variabile indipendente è alta e ciò giustifica la bontà di questa metodologia. Tuttavia, come accennato in precedenza, l'errore statistico è dovuto a variabili che sono omesse dal modello di regressione ma che influenzano il fabbisogno di energia termica. Talvolta, l'omissione di queste variabili può portare ad una distorsione dello stimatore OLS b_1 . Una delle possibili soluzioni consiste nell'utilizzo di un modello di regressione multivariabile. L'adozione di un numero maggiore di regressori permetterebbe una descrizione più dettagliata del sistema. Si noti infatti nell'esempio precedente che l'intercetta b_0 del modello mensile è pari a circa il 31.18% del fabbisogno medio annuo e non è imputabile alle condizioni meteorologiche.

Si suppone pertanto che l'utilizzo di un modello di regressione multivariabile possa ridurre tale valore, così da rendere il modello di previsione più accurato. Questa considerazione nasce dall'analisi del fabbisogno termico di alcuni ospedali. Si parta dall'analisi del fabbisogno mensile dell'anno 2017 e del fabbisogno giornaliero per la stagione termica 2019–2020, ovvero dal 15 ottobre 2019 al 15 aprile 2020, dell'ospedale di Vercelli. Nonostante i dati giornalieri non coprano un'intero anno solare e non siano contemporanei a quelli mensili, si approfondisce il confronto tra i due modelli di regressione in Fig. 2.10. Si nota che la dispersione dei punti del modello giornaliero è maggiore rispetto a quella del modello mensile: ciò è confermato dal coefficiente di determinazione R^2 , che è minore per il modello giornaliero, e dalla deviazione standard relativa, pari a 0.3012 per il modello giornaliero e 0.2080 per il modello mensile. Questo suggerisce l'esistenza di una fonte di variabilità impattante sul fabbisogno giornaliero la cui significatività

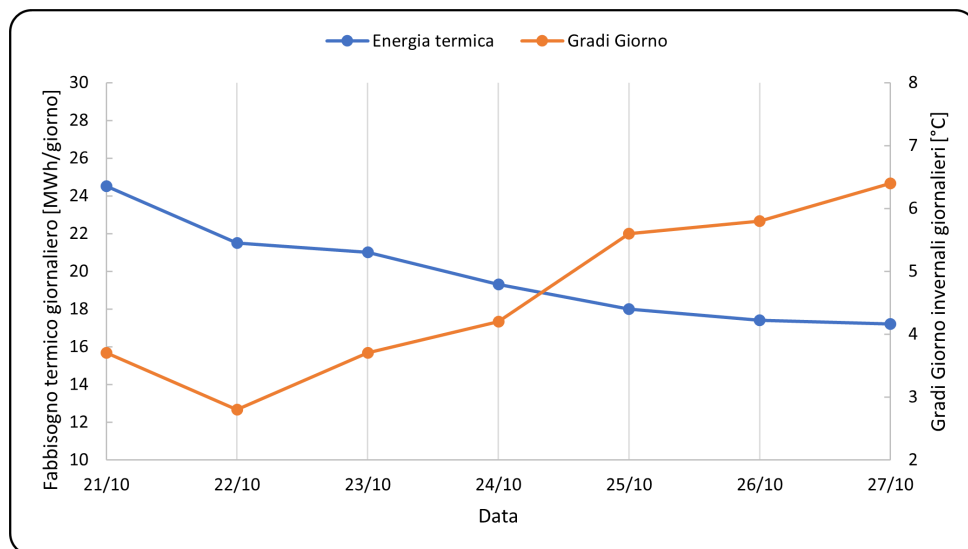


Figura 2.11: Fabbisogno termico e numero di gradi giorno invernali giornalieri nella settimana dal 21 ottobre 2019 al 27 ottobre 2019 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

però diminuisce quando si aggregano i dati su base mensile.

Si analizzi ora l'andamento del fabbisogno termico nel tempo. Nella settimana riportata in Fig. 2.11 il fabbisogno termico giornaliero decresce mentre il numero di gradi giorno invernali giornaliero aumenta. In generale, in Fig. 2.12 si può notare che la variazione rispetto al giorno precedente del fabbisogno termico non è strettamente correlata alla stessa variazione del numero di gradi giorno invernali: nel 31.15% dei giorni del periodo considerato le variazioni di fabbisogno e gradi giorno sono discordi e solitamente il sabato e la domenica si registrano fabbisogni minori rispetto alla media settimanale e non correlati alle condizioni meteorologiche. Ciò è confermato dal coefficiente di correlazione (0.5651) e dal coefficiente di determinazione (0.2707) tra la variazione percentuale di fabbisogno termico $\frac{\Delta ET}{ET}$ e la variazione percentuale di gradi giorno invernali $\frac{\Delta GG}{GG}$ rispetto al giorno precedente, come mostrato in Fig. 2.13.

Si intende successivamente analizzare il rapporto $\frac{\Delta ET}{\Delta GG} [\frac{MWh}{^\circ C}]$. La Fig. 2.14 ne riporta l'istogramma di frequenza assoluta e la Fig. 2.15 contiene i diagrammi box plot per l'intera stagione termica 2019 – 2020, per il periodo antecedente (15/10/2019 – 09/03/2020) e quello successivo allo scoppio (10/03/2020 – 15/04/2020) della pandemia di Covid-19. Per quanto riguarda l'intera stagione invernale il primo quartile, la mediana e il terzo quartile sono rispettivamente $-0.585 \frac{MWh}{^\circ C}$, $1.316 \frac{MWh}{^\circ C}$ e $3.394 \frac{MWh}{^\circ C}$; il valore adiacente inferiore e il valore adiacente superiore sono rispettivamente $-6.555 \frac{MWh}{^\circ C}$ e $9.363 \frac{MWh}{^\circ C}$. Gli *outliers* sono 25 su un campione di numerosità pari a 183, corrispondenti quindi al 13.66% del totale. I valori più elevati dell'indice sono stati registrati domenica 22 marzo 2020 ($55.020 \frac{MWh}{^\circ C}$) e mercoledì 8 aprile 2020 ($47.000 \frac{MWh}{^\circ C}$), ovvero durante il periodo della pandemia. Questa osservazione induce a pensare che il fabbisogno termico giornaliero sia influenzato anche dal carico di lavoro dell'ospedale. Esso può essere espresso in termini di numero di degenti o, più propriamente, di numero di giorni di degenza, il quale corrisponde, secondo la definizione dell'OCSE, al numero di giorni interi durante i quali un paziente è confinato a letto in ospedale, escludendo in tal modo le prestazioni in day hospital e day surgery. Un modello simile è stato proposto da García-Sanz-Calcedo e altri per i centri medici di superficie compresa tra 500 e 3,500m². Un altro fattore di interesse potrebbe essere il numero di operazioni chirurgiche effettuate, il quale può essere espresso tal quale o come numero di set di strumenti chirurgici sterilizzati.

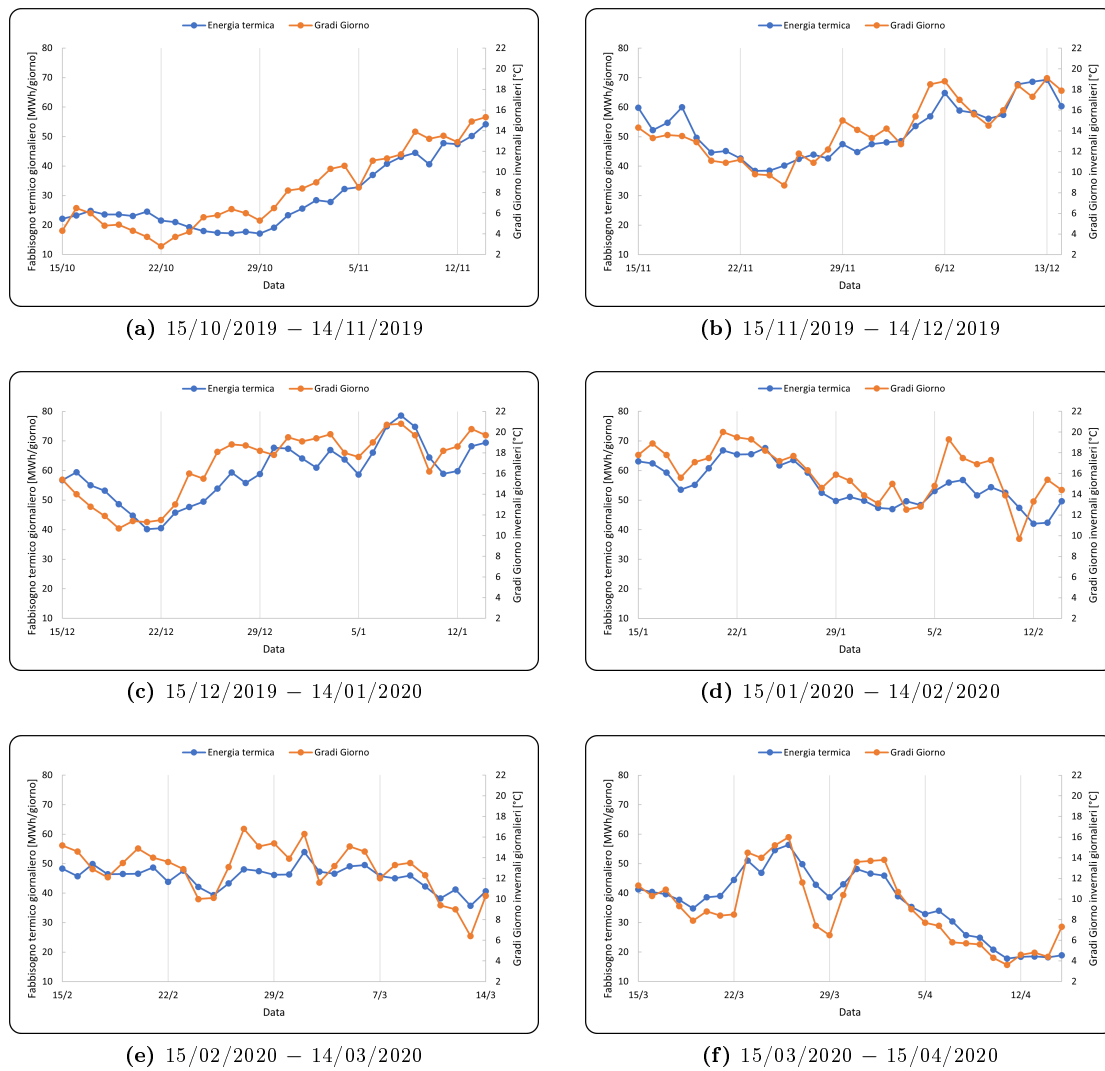


Figura 2.12: Fabbisogno termico e numero di gradi giorno invernali giornalieri nella stagione termica 2019–2020 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

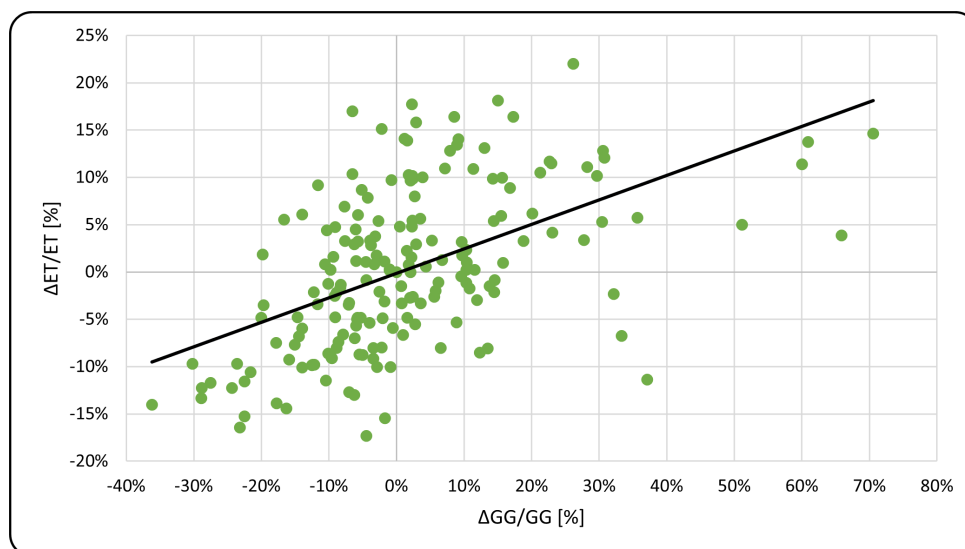


Figura 2.13: Regressione lineare tra variazioni percentuali rispetto al giorno precedente di fabbisogno termico e numero di gradi giorno nella stagione termica 2019–2020 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

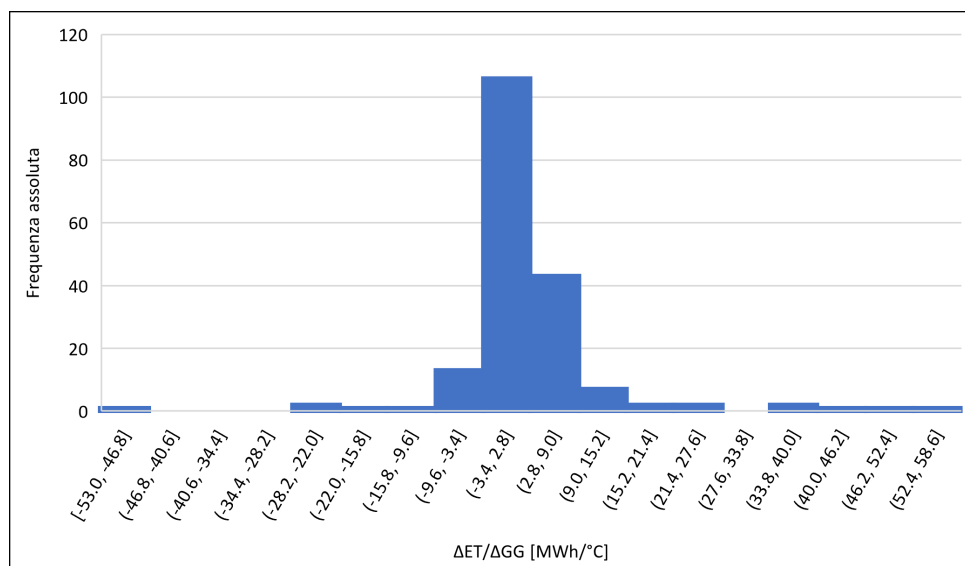


Figura 2.14: Istogramma di frequenza assoluta della variazione rispetto al giorno precedente del fabbisogno termico nella stagione invernale 2019–2020 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

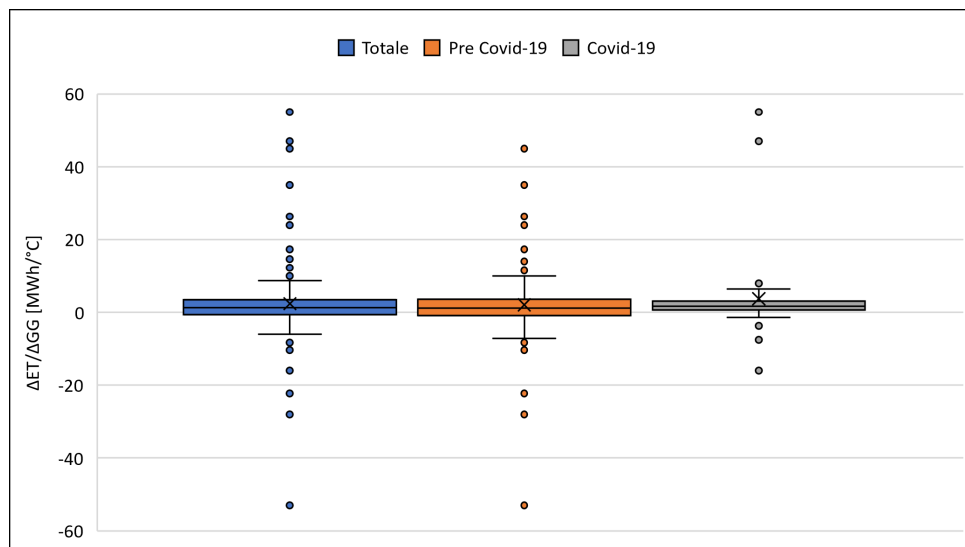


Figura 2.15: Box plot di $\frac{\Delta ET}{\Delta GG}$ nella stagione termica 2019–2020, nel periodo antecedente e in quello successivo allo scoppio della pandemia di Covid–19 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

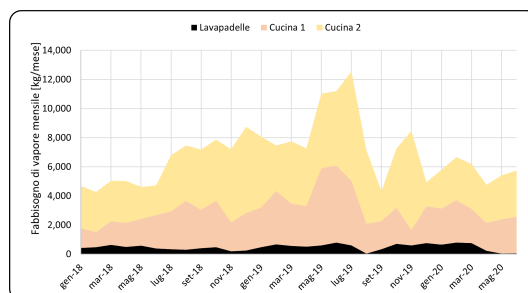
A riprova di quanto detto si riporta a titolo esemplificativo anche il caso dell'Ospedale di Circolo di Busto Arsizio. In Fig. 2.16 sono riportati i fabbisogni di vapore mensile delle cucine, del reparto di Ortopedia e del padiglione Polichirurgico. Il fabbisogno delle cucine varia tra $4,275 \frac{kg}{mese}$, registrato a febbraio 2018, e $12,538 \frac{kg}{mese}$, registrato a giugno 2019, con una media di $6,858 \frac{kg}{mese}$ e una deviazione standard relativa pari a 0.3048.

La variabilità del fabbisogno di vapore per la sterilizzazione nel reparto di Ortopedia è ancora maggiore: infatti si passa dall'assenza di attività di marzo 2019 ad un fabbisogno massimo di $25,504 \frac{kg}{mese}$, registrato a maggio 2018, con una media di $6,984 \frac{kg}{mese}$ e deviazione standard relativa pari a 1.0042. Su un campione di 38 mensilità in 6 di esse il fabbisogno è superiore al 200% della media e in altre 7 è superiore al 100% della media.

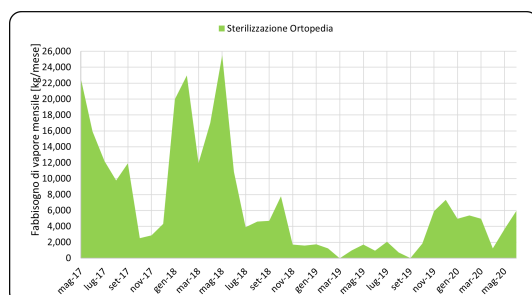
Analogamente si riporta il fabbisogno di vapore per la sterilizzazione nel padiglione Polichirurgico: il minimo, la media, il massimo e la deviazione standard relativa sono rispettivamente $458 \frac{kg}{mese}$, $1,254 \frac{kg}{mese}$, $1,599 \frac{kg}{mese}$ e 0.2560. In particolare si sottolinea che il minimo è registrato ad agosto, ovvero nel mese in cui si suppone un numero minore di interventi schedulati.

Considerazioni analoghe si possono ripetere anche per un ospedale di taglia minore come il Galmarini di Tradate, di cui si riporta solo la Fig. 2.17 ai fini della sinteticità.

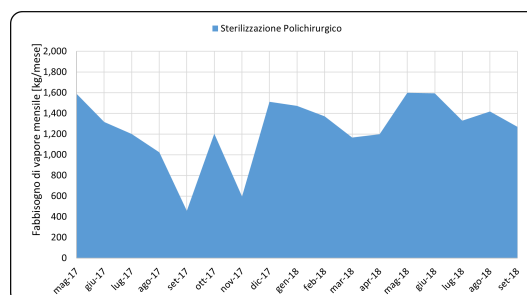
Emerge quindi la necessità di sviluppare un modello di regressione multipla che comprenda una variabile per le condizioni meteorologiche, ovvero il numero di gradi giorno invernali, e una variabile che tenga conto del carico di lavoro dell'ospedale, ovvero il numero di giorni di degenza. Si presume che ciò renda più affidabile la stima del fabbisogno termico durante la conduzione dell'impianto.



(a) Fabbisogno di vapore mensile per le cucine dell'Ospedale di Circolo di Busto Arsizio da gennaio 2018 a giugno 2020.

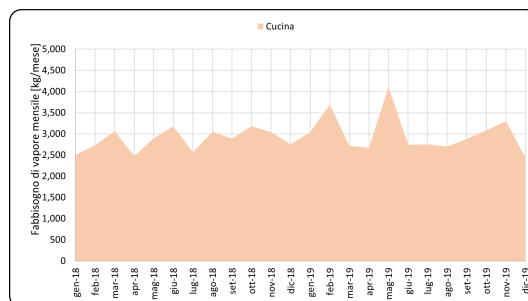


(b) Fabbisogno di vapore mensile per lo sterilizzatore del reparto di Ortopedia dell'Ospedale di Circolo di Busto Arsizio da maggio 2017 a giugno 2020.

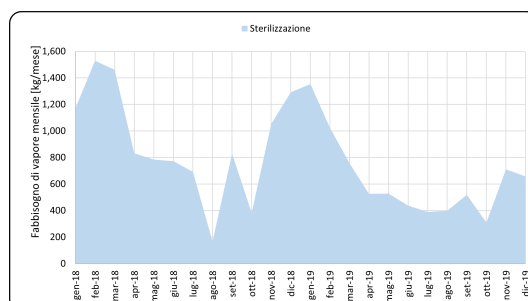


(c) Fabbisogno di vapore mensile per lo sterilizzatore del padiglione Polichirurgico dell'Ospedale di Circolo di Busto Arsizio da maggio 2017 a settembre 2018.

Figura 2.16: Fabbisogno di vapore dell'Ospedale di Circolo di Busto Arsizio.



(a) Fabbisogno di vapore mensile per la cucina dell'Ospedale Galmarini di Tradate da gennaio 2018 a dicembre 2019.



(b) Fabbisogno di vapore mensile per lo sterilizzatore dell'Ospedale Galmarini di Tradate da gennaio 2018 a dicembre 2019.

Figura 2.17: Fabbisogno di vapore dell'Ospedale Galmarini di Tradate.

Capitolo 3

Dimensionamento del trigeneratore

3.1 Impianti trigenerativi

La natura del fabbisogno termico degli ospedali esposta nei capitoli precedenti suggerisce l'opportunità di ricorrere all'autoproduzione in assetto cogenerativo o trigenerativo. Il decreto legislativo n. 79/99 (articolo 2, comma 8) ha definito la cogenerazione come la produzione combinata di energia elettrica e calore che garantisce un significativo risparmio di energia primaria rispetto alla generazione da impianti separati. L'Autorità, con la deliberazione n. 42/02, ha definito le condizioni che una sezione di produzione combinata di energia elettrica e calore deve soddisfare per poter essere definita cogenerazione [43]. Un impianto è detto cogenerativo, o *combined heat and power plant (CHP)*, se è in grado di produrre energia elettrica, o meccanica, ed energia termica; se in aggiunta viene installato un refrigeratore ad assorbimento e viene quindi erogata anche energia frigorifera, si parla di impianto trigenerativo, o *combined cooling, heat and power plant (CCHP)*. Il refrigeratore ad assorbimento o assorbitore è una macchina frigorifera che richiede in ingresso una fonte di calore ad alta temperatura, solitamente acqua a 90°C, e fornisce in uscita energia frigorifera per usi di processo o climatizzazione ambientale. Un *CHP* permette il soddisfacimento, solitamente parziale, del fabbisogno elettrico ma soprattutto il recupero di energia termica che altrimenti verrebbe dissipata in ambiente. Il risparmio di energia primaria è considerevole: infatti si faccia riferimento a titolo esemplificativo alla situazione di Fig. 3.1 in cui per produrre le medesime quantità di energia elettrica (34 unità) e termica (56 unità) sono necessarie rispettivamente 100 e 162 unità di energia primaria per produzione in assetto cogenerativo e per produzione separata. Anche la

Tecnologia impiantistica	P_e [MW]	EUf [—]	η_e [—]	η_t [—]	I_e $\left[\frac{kW_e}{kW_t}\right]$	$q_{c,nom}$ $\left[\frac{kJ}{kW_{he}}\right]$
<i>TVCp</i>	1–25	0.88	0.15	0.73	0.17	4,557
<i>TVCd</i>	10–500	0.65	0.30	0.35	0.46	7,347
<i>MCI</i> con rec. integrale	0.1–10	0.86	0.40	0.46	0.47	4,390
<i>MCI</i> con rec. ad alta temp.	0.1–11	0.65	0.40	0.25	0.62	6,545
<i>TG</i> a rec. semplice	1–100	0.80	0.30	0.50	0.38	5,294
<i>TG</i> con postcombustione	1–100	0.83	0.25	0.58	0.30	5,070
<i>CC</i> con <i>TVCp</i>	20–50	0.80	0.45	0.35	0.56	4,865
<i>CC</i> con <i>TVCd</i>	50–400	0.70	0.50	0.20	0.71	5,625

Tabella 3.1: Caratteristiche delle principali tecnologie cogenerative.

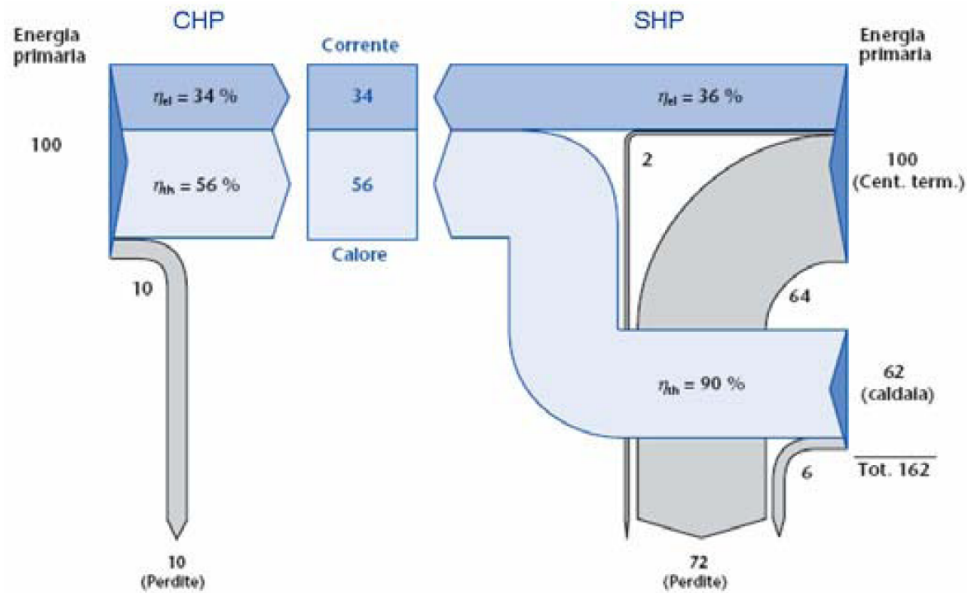
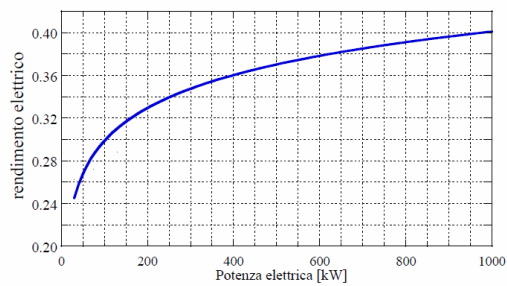
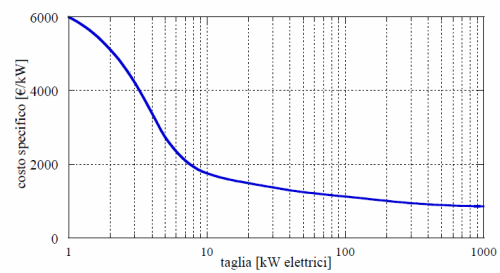


Figura 3.1: Confronto esemplificativo tra cogenerazione e produzione separata.



(a) Rendimento elettrico dei MCI in funzione della taglia.



(b) Costo specifico dei MCI in funzione della taglia.

Figura 3.2: Andamento di rendimento elettrico e costo specifico dei MCI in funzione della taglia [44].

scelta di un assorbitore al posto di una macchina frigorifera a compressione di vapore mira al recupero del calore di scarto: infatti il passaggio da cogenerazione a trigenerazione non comporta un netto incremento dell'efficienza globale dell'impianto a causa del basso COP degli assorbitori (circa 0.7 per le macchine a singolo stadio, circa 1.3 per quelle bistadio), ma permette di recuperare energia termica anche in estate, ovvero quando la domanda è più bassa.

La Direttiva 2012/27/UE definisce all'Allegato I, Parte II, definisce i seguenti tipi di tecnologie cogenerative:

- turbina a gas a ciclo combinato con recupero di calore (CC);
- turbina a vapore a contropressione ($TVCp$);
- turbina di condensazione a estrazione di vapore ($TVCd$);
- turbina a gas con recupero di calore (TG);
- motore a combustione interna (MCI);
- microturbine (μTG), motori Stirling, pile a combustibile, motori a vapore, macchine a ciclo Rankine a fluido organico (ORC) e ogni altro tipo di tecnologia o combinazione di tecnologie che non rientra nelle definizioni precedenti.

La Tab. 3.1 riporta i campi di potenza e i valori medi degli indici caratteristici delle principali tecnologie cogenerative [44], dove l'*Energy Utilization Factor* (EUF) è il rendimento globale, o indice di utilizzazione del combustibile, η_e il rendimento elettrico, η_t il rendimento termico, I_e l'indice elettrico e $q_{c,nom}$ il consumo specifico di combustibile in condizioni nominali.

Nelle strutture ospedaliere la tecnologia scelta nella maggioranza dei casi è il motore a combustione interna a causa delle sue caratteristiche e delle esigenze dell'utenza. I motori a combustione interna risultano la tecnologia più matura e affidabile nella fascia media di potenza. Il rendimento elettrico aumenta con la taglia [Fig. 3.2a], mentre il costo al kW_e decresce [Fig. 3.2b] a causa delle economie di scala e della maggiore esperienza cumulata sulle grandi taglie, nonché per la minore incidenza del costo dei sistemi di controllo elettronico. I motori a combustione interna garantiscono un'alta disponibilità, in alcuni casi superiore al 95%; questo è un requisito fondamentale per garantire continuità di servizio all'utenza e il rispetto del piano di rientro economico del conduttore dell'impianto. Il fermo macchina si limita infatti alla periodica sostituzione delle candele, dell'olio e dei filtri. Anche l'affidabilità è alta, nonostante la presenza di numerosi organi meccanici in movimento. La manutenzione ordinaria, benché rapida, arriva ad incidere fino a $1.5 \frac{c\text{€}}{kWh_e}$ [44].

3.2 Analisi energetica

Nell'ambito della Convenzione *MIES 2* per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli è stata proposta l'installazione di un impianto di cogenerazione per la produzione di acqua calda a 90°C e di un refrigeratore ad assorbimento a stadio singolo alimentato ad acqua calda.

Ipotesi Il dimensionamento è stato effettuato nell'ipotesi di soddisfazione solo parziale dei fabbisogni elettrico, termico e frigorifero. Di conseguenza, è prevista l'integrazione di energia elettrica tramite prelievo dalla rete, di energia termica tramite i generatori di calore installati nell'intervento di manutenzione straordinaria previsto dal contratto e di energia frigorifera tramite le due macchine a compressione di vapore presenti in sito. Il rendimento di generazione delle caldaie da installare e il COP dei gruppi frigoriferi sono rispettivamente pari a 0.91 e 2. La scelta di soddisfare solo parzialmente il fabbisogno di energia termica tramite il cogeneratore è dettata dalla compatibilità con gli spazi a disposizione presso la struttura e dalla necessità di generatori di calore ridondanti che possano sopperire all'indisponibilità del suddetto impianto per manutenzione ordinaria e straordinaria. Il dimensionamento è quindi effettuato ad inseguimento elettrico, ovvero in maniera tale da massimizzare l'energia elettrica autoconsumata e minimizzare al contempo quella prelevata dalla rete e quella immessa in rete.

Un'altra ipotesi riguarda le ore di funzionamento dell'assorbitore: al fine di massimizzare il vantaggio di cui si è discusso nel Par. 3.1 si suppone di far lavorare l'assorbitore sempre alla potenza nominale e di ricorrere ad integrazione con i gruppi frigoriferi a compressione di vapore nella misura in cui sia necessario. Il periodo di funzionamento dell'assorbitore va dal 15 maggio al 14 settembre. Non si ritiene necessario espandere ulteriormente questo periodo a causa della posizione geografica e del corrispondente numero di gradi giorno estivi.

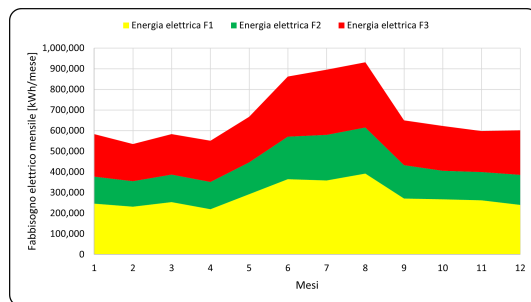
Inoltre bisogna verificare che il punto di lavoro dei generatori di calore sia sempre ammissibile secondo le prescrizioni del costruttore: i bruciatori da installare hanno minima potenzialità pari a $400kW$, come si evince da Fig. 2.9. La prescrizione risulta assoluta se si garantisce che in ogni mese la potenza utile equivalente, calcolata come rapporto tra l'energia prodotta e il numero di ore al mese, sia maggiore o uguale al limite inferiore assegnato. Infatti, quando il carico termico orario è superiore può essere incrementata la potenzialità dei generatori di calore, mentre quando esso è inferiore, può essere aumentato il flusso di acqua calda in ingresso all'assorbitore. Anche quest'ultima operazione può essere effettuata entro i limiti imposti dal costruttore, tuttavia permangono le possibilità di modulare il cogeneratore oppure, come extrema ratio, di dissipare l'energia termica in eccesso. Da quanto appena riportato risulta ancora più evidente l'utilità del refrigeratore ad assorbimento: infatti, in mancanza di esso, sarebbe inevitabile ridurre la produzione di energia elettrica o dissipare l'energia termica in eccesso al fine di garantire una corretta condizione di funzionamento ai generatori di calore.

Si assuma inoltre che il cogeneratore garantisca una disponibilità pari a circa il 95% [44], pertanto si sono ipotizzati 16 giorni di fermo per manutenzione dal 15 settembre al 30 settembre. Questo periodo è stato scelto in quanto corre a ridosso dell'inizio della stagione termica e non è caratterizzato da particolari picchi di domanda di energia elettrica, termica e frigorifera.

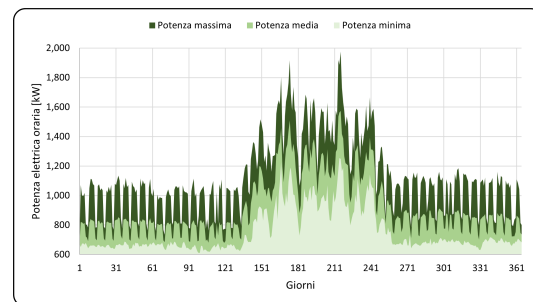
Introduzione all'analisi L'ente ospedaliero ha fornito come riferimento il fabbisogno elettrico orario e le letture mensili di fornitura del gas naturale dell'anno 2017. Nessuna modificazione impiantistica e gestionale è stata da allora effettuata, quindi i dati possono essere considerati rappresentativi. Assumendo il rendimento di generazione pari a 84.70% e il potere calorifico inferiore del gas naturale pari a $9.593 \frac{kWh}{Sm^3}$, è possibile stimare il fabbisogno di energia termica mensile. Il fabbisogno elettrico orario è riportato in Appendice A. La Tab. 3.2 e la Fig. 3.3 riportano i fabbisogni energetici mensili dell'ospedale e la corrispondente curva di potenza elettrica oraria cumulata è mostrata in Fig. 3.4a. Si procede al calcolo della taglia dell'impianto che massimizza la quantità di energia elettrica autoconsumata nell'ipotesi di immis-

Mese	Energia elettrica [kWh]	F1 [kWh]	F2 [kWh]	F3 [kWh]	Energia termica [kWh]
Gennaio	582,788	246,765	130,091	205,932	2,177,578
Febbraio	535,670	231,138	123,785	180,748	1,763,188
Marzo	583,121	253,250	134,015	195,857	1,446,302
Aprile	550,634	218,945	132,716	198,974	828,780
Maggio	666,701	291,951	154,031	220,719	576,896
Giugno	861,875	364,914	206,325	290,636	381,889
Luglio	895,409	358,548	221,426	315,435	308,761
Agosto	931,580	391,605	223,926	316,049	341,262
Settembre	649,445	270,798	161,784	216,863	422,515
Ottobre	622,587	267,200	138,402	216,986	885,657
Novembre	597,830	262,563	137,043	198,224	1,730,687
Dicembre	602,247	240,408	145,112	216,728	1,958,195
TOTALE	8,079,883	3,398,084	1,908,653	2,773,147	12,821,709

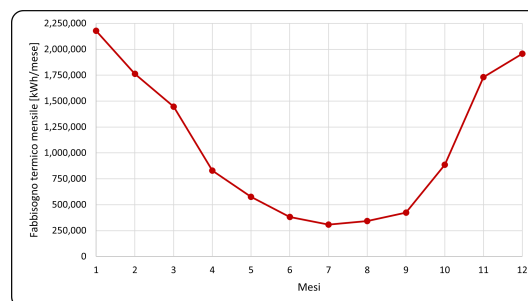
Tabella 3.2: Fabbisogni energetici dell'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli nell'anno 2017 presi come riferimento per il dimensionamento dell'impianto trigenerativo.



(a) Fabbisogno elettrico mensile con suddivisione in fasce.



(b) Potenza oraria elettrica oraria minima, media e massima.



(c) Fabbisogno termico mensile.

Figura 3.3: Fabbisogni energetici dell'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli nell'anno 2017 presi come riferimento per il dimensionamento dell'impianto trigenerativo.

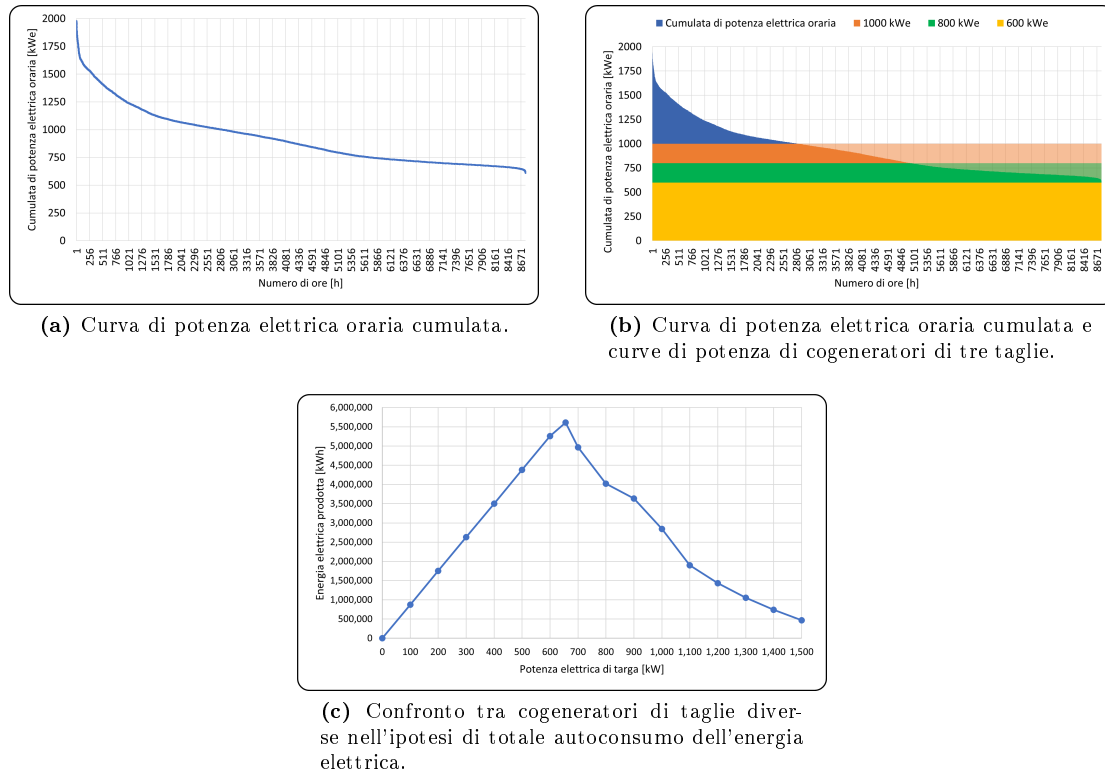


Figura 3.4: Curva di potenza elettrica oraria cumulata e curve di potenza di cogeneratori di tre taglie.

Potenza [kW _e]	Energia prodotta [kWh]	Energia autoconsumata [kWh]	Energia immessa in rete [kWh]
600	5,256,000	5,256,000	0
800	7,008,000	6,676,162	332,638
1000	8,760,000	7,473,578	1,287,423

Tabella 3.3: Confronto tra cogeneratori di taglie diverse nell'ipotesi di possibile immissione in rete dell'energia elettrica.

sione nulla in rete: la potenza elettrica ottimale è $655.5kW_e$, come si evince dalla Fig. 3.4c. Tuttavia, viene effettuata un'analisi di sensitività sulle taglie $600kW_e$, $800kW_e$ e $1000kW_e$, come è possibile vedere in Fig. 3.4b. L'approssimazione a $600kW$ è stata dettata dalla disponibilità del fornitore, mentre la scelta di verificare le prestazioni dell'impianto con cogeneratori di taglie maggiori deriva dall'analisi della curva di potenza elettrica oraria cumulata. Infatti si intende rimuovere l'ipotesi di totale autoconsumo e verificare la possibilità che un cogeneratore con potenza elettrica maggiore possa soddisfare un'aliquota maggiore del fabbisogno elettrico della struttura senza incrementare eccessivamente la quantità di energia elettrica da immettere in rete, la cui remunerazione è bassa secondo la normativa vigente. Di conseguenza, è stata effettuata un'analisi preliminare considerando un funzionamento in condizioni nominali per tutte le ore dell'anno e trascurando l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari. Dalla Tab. 3.3 e dalla Fig. 3.4b si desume che, poste le precedenti ipotesi, un cogeneratore con potenza pari a $600kW$ produce $5,256,000kWh$ totalmente per l'autoconsumo, mentre uno da $800kW$ produce una quantità di energia elettrica maggiore del 33.32% a fronte di un'immissione in rete pari al 4.75%; il cogeneratore da $1000kW_e$ è invece scartato in quanto esso produce il 66.65% di energia elettrica in più rispetto a quello da $600kW$ però a fronte di un'immissione in rete pari al 14.70%. Per questo si ritiene opportuno approfondire l'analisi solo per le due taglie inferiori.

Si precisa che le quantità di energia elettrica prodotte dai due cogeneratori presentati in Par. 3.2.1 e Par. 3.2.2 sono riportate al netto dell'assorbimento degli ausiliari dichiarato dal costruttore.

3.2.1 Cogeneratore da $600kW_e$ e assorbitore da $470kW_f$

Il cogeneratore selezionato è il modello *TCG 3016 V12* della *MWM*, mentre il refrigeratore ad assorbimento a stadio singolo alimentato ad acqua calda a $90^\circ C$ è il modello della serie *5G 2D C* prodotto dalla *Thermax*; i loro dati di targa sono riassunti in Tab. 3.4.

La produzione mensile di energia termica da cogeneratore e da generatori di calore è riportata in Tab. 3.5, mentre il corrispettivo consumo mensile di combustibile in Tab. 3.6. Il vincolo di lavoro dei generatori di calore è rispettato garantendo una potenza utile equivalente sempre superiore al minimo prescritto ($475.76kW$, $549.13kW$, $433.73kW$, $477.41kW$ e $616.79kW$ da maggio a settembre). È quindi possibile calcolare l'energia termica in ingresso all'assorbitore, l'energia frigorifera fornita alla struttura e l'energia elettrica risparmiata a seguito del mancato funzionamento dei gruppi frigoriferi a compressione di vapore: la Tab. 3.7 ne riassume i risultati. La Fig. 3.5f riporta la ripartizione della produzione di energia termica tra cogeneratore e generatori di calore; in aggiunta è evidenziata in blu la quota di energia termica destinata all'assorbitore. Il risparmio percentuale di energia elettrica è pari al 13.12%, 19.64%, 19.54%, 18.78% e 13.03% rispetto al fabbisogno ante operam rispettivamente nei mesi da maggio a settembre.

In Tab. 3.8 è riportato il fabbisogno elettrico della struttura post operam nella già anticipata ipotesi che l'assorbitore sia in funzione senza soluzione di continuità da metà maggio a metà settembre, dalla quale discende la possibilità di ripartire uniformemente l'energia elettrica risparmiata sulle ore di funzionamento. La Fig. 3.5a e Fig. 3.5b riportano graficamente il confronto tra fabbisogni energetici nelle configurazioni ante operam e post operam: si nota che il picco di assorbimento di energia elettrica è diminuito, mentre il fabbisogno di energia termica in estate è aumentato. La prima considerazione può essere ripetuta facendo

Cogeneratore			
	Potenza elettrica	[kW]	600
	Potenza termica	[kW ± 8%]	618
	Potenza chimica in ingresso	[kW ± 8%]	1,386
	Pressione media effettiva	[bar]	18.9
	Rendimento elettrico	[—]	0.433
	Rendimento termico	[—]	0.446
	Rendimento globale	[—]	0.879
	Indice elettrico nominale	$\left[\frac{kWe}{kWt}\right]$	0.97
	Potenza elettrica per ausiliari	[kW ± 8%]	24
Assorbitore			
<i>COP</i>		[—]	0.7385
Acqua refrigerata	Potenza frigorifera	[kW]	470
	Temperatura ingresso	[°C]	12.0
	Temperatura uscita	[°C]	7.0
	Perdite di carico	[kPa]	21.4
	Portata nominale	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	80.8
Acqua di raffreddamento	Potenza dissipata	[kW]	1,107
	Temperatura ingresso	[°C]	29.0
	Temperatura uscita	[°C]	34.0
	Perdite di carico	[kPa]	44.2
	Portata nominale	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	190.0
Acqua calda	Potenza assorbita	[kW]	637
	Temperatura ingresso	[°C]	90.0
	Temperatura uscita	[°C]	80.0
	Perdite di carico	[kPa]	41.8
	Portata nominale	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	56.0

Tabella 3.4: Cogeneratore da 600kW — Schede tecniche del cogeneratore e dell'assorbitore.

Mese	Fabbisogno termico post operam [kWh]	Cogeneratore [kWh]	Generatori di calore [kWh]
Gennaio	2,177,578	459,792	1,717,786
Febbraio	1,763,188	415,296	1,347,892
Marzo	1,446,302	459,792	986,510
Aprile	828,780	444,960	383,820
Maggio	813,759	459,792	353,967
Giugno	840,334	444,960	395,374
Luglio	782,488	459,792	322,696
Agosto	814,989	459,792	355,197
Settembre	651,738	207,648	444,090
Ottobre	885,657	459,792	425,865
Novembre	1,730,687	444,960	1,285,727
Dicembre	1,958,195	459,792	1,498,403
TOTALE	14,693,692	5,176,368	9,517,324

Tabella 3.5: Cogeneratore 600kW — Ripartizione del fabbisogno termico mensile post operam tra cogeneratore e generatori di calore.

Mese	Consumo post operam [Sm ³]	Cogeneratore [Sm ³]	Generatori di calore [Sm ³]
Gennaio	304,242	107,466	196,776
Febbraio	251,470	97,066	154,404
Marzo	220,473	107,466	113,007
Aprile	147,967	103,999	43,967
Maggio	147,967	103,999	43,967
Giugno	149,290	103,999	45,291
Luglio	144,431	107,466	36,965
Agosto	148,155	107,466	40,689
Settembre	99,404	48,533	50,871
Ottobre	156,250	107,466	48,784
Novembre	251,282	103,999	147,283
Dicembre	279,111	107,466	171,645
TOTALE	2,300,089	1,209,859	1,090,230

Tabella 3.6: Cogeneratore 600kW – Ripartizione del consumo mensile di gas naturale post operam tra cogeneratore e generatori di calore.

Mese	Energia termica assorbita [kWh]	Energia frigorifera [kWh]	Energia elettrica risparmiata [kWh]
Maggio	236,863	174,930	87,465
Giugno	458,445	338,575	169,287
Luglio	473,726	349,860	174,930
Agosto	473,726	349,860	174,930
Settembre	229,222	169,287	84,644
TOTALE	1,871,984	1,382,513	691,257

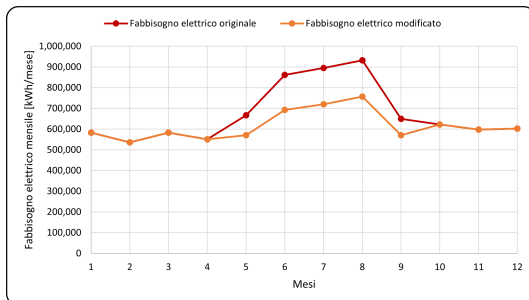
Tabella 3.7: Cogeneratore 600kW – Energia termica assorbita, energia frigorifera erogata ed energia elettrica risparmiata per mezzo dell'assorbitore.

Mese	Fabbisogno elettrico post operam [kWh]	F1 [kWh]	F2 [kWh]	F3 [kWh]
Gennaio	582,788	245,805	129,993	206,990
Febbraio	535,668	229,983	123,798	181,887
Marzo	583,121	252,699	133,640	196,782
Aprile	550,634	218,475	132,323	199,836
Maggio	570,771	256,538	130,114	184,118
Giugno	692,587	305,206	163,624	223,757
Luglio	720,478	302,746	175,449	242,283
Agosto	756,649	330,574	179,345	246,730
Settembre	570,444	243,225	141,099	186,119
Ottobre	622,587	266,682	137,678	218,228
Novembre	597,830	261,422	136,187	200,222
Dicembre	602,247	239,756	144,633	217,859
TOTALE	7,385,803	3,153,110	1,727,882	2,504,810

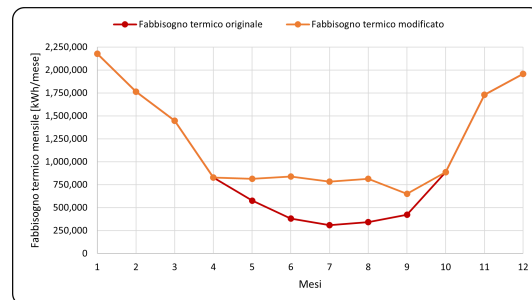
Tabella 3.8: Cogeneratore 600kW – Fabbisogno elettrico della struttura ospedaliera post operam.

Mese	Cogeneratore $[kW/h]$			Prelievo da rete $[kW/h]$			Immissione in rete $[kW/h]$					
	TOT	F1	F2	F3	TOT	F1	F2	F3	TOT	F1	F2	F3
Gennaio	428,544	152,064	102,528	173,952	154,244	93,741	27,465	33,038	0	0	0	0
Febbraio	387,072	138,240	96,768	152,064	148,596	91,743	27,030	29,823	0	0	0	0
Marzo	428,544	158,976	105,408	164,160	154,577	93,723	28,232	32,622	0	0	0	0
Aprile	414,720	138,240	106,560	169,920	135,914	80,235	25,763	29,916	0	0	0	0
Maggio	421,978	158,976	104,448	158,554	148,793	97,562	25,666	25,565	6,566	0	960	5,606
Giugno	414,143	152,064	102,516	159,563	278,444	153,142	61,108	64,194	577	0	12	565
Luglio	428,219	145,152	109,377	173,690	292,259	157,594	66,072	68,593	325	0	63	262
Agosto	428,531	158,976	105,395	164,160	328,118	171,598	73,950	82,570	13	0	13	0
Settembre	191,623	69,120	48,306	74,197	378,821	174,105	92,793	111,922	1,913	0	78	1,835
Ottobre	428,544	152,064	102,528	173,952	194,043	114,618	35,150	44,276	0	0	0	0
Novembre	414,720	152,064	102,528	160,128	183,110	109,358	33,659	40,094	0	0	0	0
Dicembre	428,544	145,152	109,440	173,952	173,703	94,604	35,193	43,907	0	0	0	0
TOTALE	4,815,182	1,721,088	1,195,803	1,898,291	2,570,620	1,432,022	532,079	606,519	9,394	0	1,125	8,269

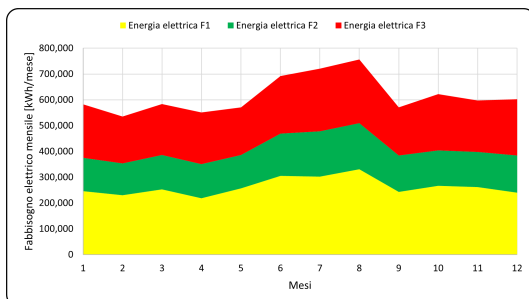
Tabella 3.9: Cogeneratore 600kW – Quantità mensili di energia elettrica prodotta dal cogeneratore, prelevata dalla rete e immessa in rete.



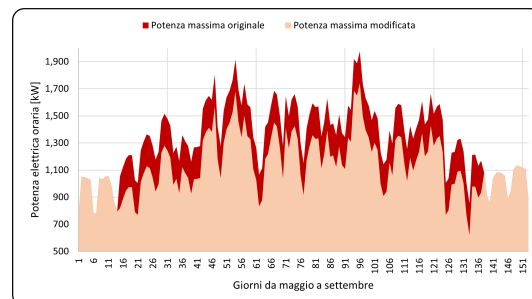
(a) Confronto tra il fabbisogno elettrico ante operam e quello post operam.



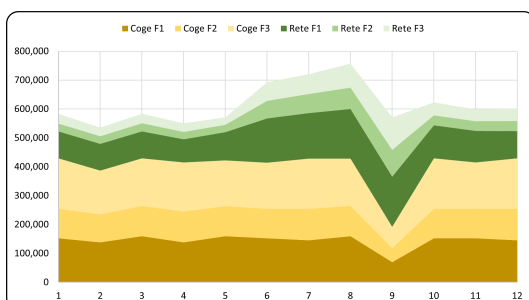
(b) Confronto tra il fabbisogno termico ante operam e quello post operam.



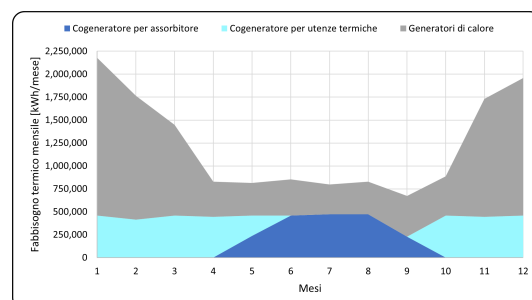
(c) Suddivisione in fasce del fabbisogno elettrico mensile post operam.



(d) Variazione della massima potenza elettrica oraria assorbita giornalmente.

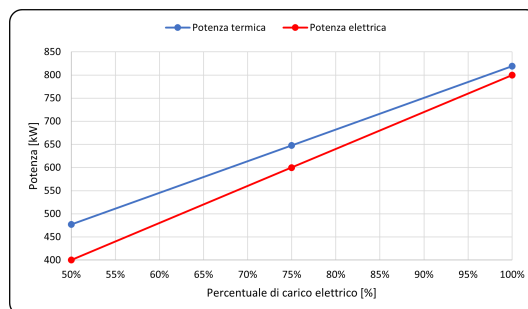


(e) Ripartizione del fabbisogno elettrico mensile tra cogeneratore e prelievo dalla rete. Per entrambi è riportata la suddivisione in fasce elettriche.

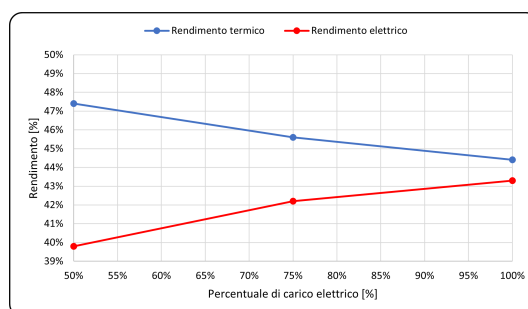


(f) Ripartizione del fabbisogno termico mensile tra cogeneratore e generatori di calore. In blu è riportata la quota di energia termica in ingresso al refrigeratore ad assorbimento.

Figura 3.5: Cogeneratore 600kW – Confronto tra le configurazioni ante operam e post operam.



(a) Andamento di potenza elettrica e potenza termica al variare della potenza elettrica erogata.



(b) Andamento di rendimento elettrico e rendimento termico al variare della potenza elettrica erogata.

Figura 3.6: Cogeneratore 800kW – Variazione di potenze e rendimenti in funzione della percentuale di carico.

rispetto alla Fig. 3.5d: a seguito dell'installazione dell'assorbitore si ha una riduzione del 11.89% della massima potenza elettrica oraria annuale. La Fig. 3.5c riporta il fabbisogno elettrico mensile modificato suddiviso in fasce. Una volta ottenuto il fabbisogno elettrico modificato è possibile calcolare la quantità di energia elettrica prelevata dalla rete al netto della produzione da cogenerazione, come riportato in Tab. 3.9. Si precisa che a seguito di questa simulazione l'energia immessa in rete non è nulla a causa del mutato fabbisogno elettrico, ma la percentuale di autoconsumo resta pari a 99.81%. Ovviamente permane la possibilità di regolazione durante la conduzione dell'impianto al fine di azzerare l'energia elettrica immessa in rete. In Fig. 3.5e si può apprezzare la ripartizione del fabbisogno elettrico mensile tra autoproduzione e prelievo dalla rete.

Conclusioni A fronte di un consumo annuo di $1,209,859 Sm^3$ di combustibile il cogeneratore da 600kW produce $5,176,368 kWh_t$, $5,025,600 kWh_e$ al lordo degli ausiliari e $4,824,576 kWh_e$ al netto degli ausiliari, soddisfacendo rispettivamente il 35.23% e il 65.20% dei fabbisogni energetici post operam. L'assorbitore consente di erogare $1,382,513 kWh_f$ a fronte di un assorbimento di $1,871,984 kWh_t$, garantendo un risparmio di $691,257 kWh_e$.

3.2.2 Cogeneratore da 800kW_e e assorbitore da 568kW_f

Il cogeneratore selezionato è il modello *TCG 3016 V16* della *MWM*, mentre il refrigeratore ad assorbimento a stadio singolo alimentato ad acqua calda a 90°C è il modello della serie *5G 2E C* prodotta *Thermax*; i loro dati di targa sono riportati in Tab. 3.10. Come anticipato in Par. 3.2, nell'ipotesi di fun-

Cogeneratore			
	Potenza elettrica	[kW]	800
	Potenza termica	[kW ± 8%]	819
	Potenza chimica in ingresso	[kW ± 8%]	1,846
	Pressione media effettiva	[bar]	18.8
	Rendimento elettrico	[—]	0.433
	Rendimento termico	[—]	0.444
	Rendimento globale	[—]	0.877
	Indice elettrico nominale	$\left[\frac{kW_e}{kW_t}\right]$	0.98
	Potenza elettrica per ausiliari	[kW ± 8%]	32
Assorbitore			
<i>COP</i>		[—]	0.7351
Acqua refrigerata	Potenza frigorifera	[kW]	568
	Temperatura ingresso	[°C]	12.0
	Temperatura uscita	[°C]	7.0
	Perdite di carico	[kPa]	36.2
	Portata nominale	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	97.6
Acqua di raffreddamento	Potenza dissipata	[kW]	1,342
	Temperatura ingresso	[°C]	29.0
	Temperatura uscita	[°C]	34.0
	Perdite di carico	[kPa]	70.4
	Portata nominale	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	230
Acqua calda	Potenza assorbita	[kW]	773
	Temperatura ingresso	[°C]	90.0
	Temperatura uscita	[°C]	80.0
	Perdite di carico	[kPa]	25.4
	Portata nominale	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	67.6

Tabella 3.10: Cogeneratore da 800kW – Scheda tecnica del cogeneratore e dell'assorbitore.

Carico	[%]	100	75	50
Potenza elettrica	[kW]	800	600	400
Potenza termica	[kW ± 8%]	819	648	477
Potenza termica da circuito acqua camicie	[kW ± 8%]	413	314	227
Potenza termica da intercooler	[kW ± 8%]	53	39	26
Potenza termica da gas di scarico	[kW ± 8%]	406	334	250
Consumo di combustibile	[kW ± 5%]	1,846	1,423	1,005
Rendimento elettrico	[—]	0.433	0.422	0.398
Rendimento termico	[—]	0.444	0.456	0.474
Rendimento globale	[—]	0.877	0.878	0.872
Temperatura del gas di scarico	[°C ± 25°C]	426	451	477
Portata del gas di scarico umido	$\left[\frac{kg}{h}\right]$	4,349	3,293	2,276
Portata di aria di combustione	$\left[\frac{kg}{h}\right]$	4,205	3,182	2,198

Tabella 3.11: Cogeneratore 800kW – Variazione dei principali parametri al variare della percentuale di carico.

Mese	Fabbisogno termico post operam [kWh]	Cogeneratore [kWh]	Generatori di calore [kWh]
Gennaio	2,177,578	542,475	1,635,103
Febbraio	1,763,188	490,860	1,272,328
Marzo	1,446,302	544,955	901,347
Aprile	828,780	523,418	305,362
Maggio	864,554	544,955	319,600
Giugno	938,647	526,923	411,724
Luglio	884,078	541,449	342,629
Agosto	916,579	544,955	371,624
Settembre	700,894	245,430	455,464
Ottobre	885,657	542,475	343,182
Novembre	1,730,687	526,923	1,203,764
Dicembre	1,958,195	541,449	1,416,746
TOTALE	15,095,138	6,116,265	8,978,873

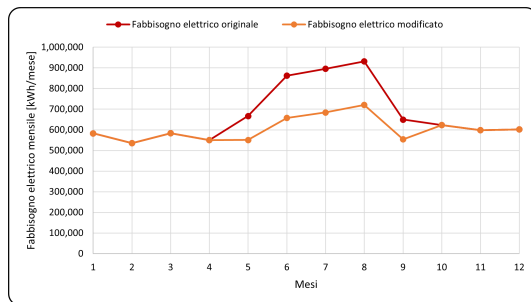
Tabella 3.12: Cogeneratore 800kW – Ripartizione del fabbisogno termico mensile post operam tra cogeneratore e generatori di calore.

Mese	Consumo post operam [Sm ³]	Cogeneratore [Sm ³]	Generatori di calore [Sm ³]
Gennaio	313,049	125,745	187,304
Febbraio	259,549	113,802	145,748
Marzo	229,635	126,383	103,251
Aprile	156,262	121,282	34,980
Maggio	162,994	126,383	36,611
Giugno	169,353	122,189	47,164
Luglio	164,725	125,476	39,249
Agosto	168,954	126,383	42,570
Settembre	109,075	56,901	52,174
Ottobre	160,281	125,745	39,312
Novembre	260,083	122,189	137,894
Dicembre	287,767	125,476	162,291
TOTALE	2,441,727	1,417,955	1,028,549

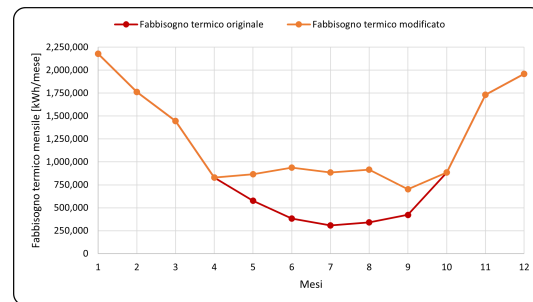
Tabella 3.13: Cogeneratore 800kW – Ripartizione del consumo mensile di gas naturale post operam tra cogeneratore e generatori di calore.

Mese	Energia termica assorbita [kWh]	Energia frigorifera [kWh]	Energia elettrica risparmiata [kWh]
Maggio	287,658	211,451	105,726
Giugno	556,758	409,260	204,630
Luglio	575,317	422,902	211,451
Agosto	575,317	422,902	211,451
Settembre	278,379	204,630	102,315
TOTALE	2,273,429	1,671,146	835,573

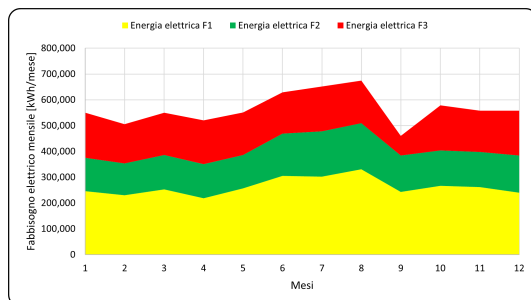
Tabella 3.14: Cogeneratore 800kW – Energia termica assorbita, energia frigorifera erogata ed energia elettrica risparmiata per mezzo dell'assorbitore.



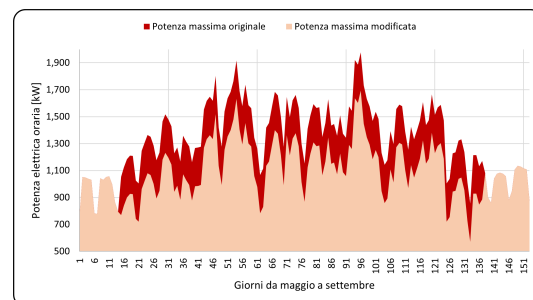
(a) Confronto tra il fabbisogno elettrico ante operam e quello post operam.



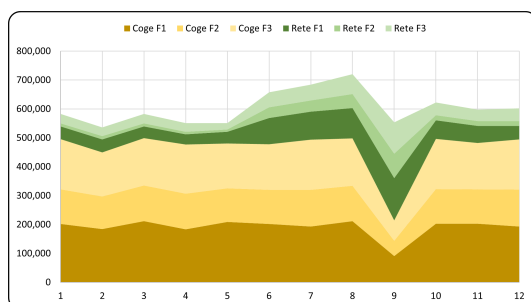
(b) Confronto tra il fabbisogno termico ante operam e quello post operam.



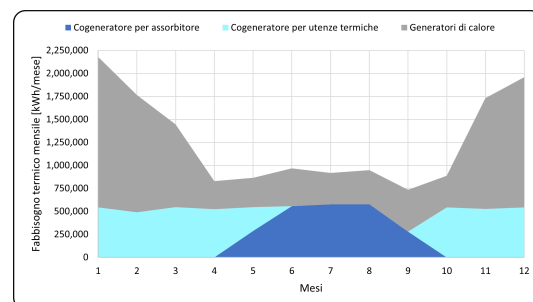
(c) Suddivisione in fasce del fabbisogno elettrico mensile post operam.



(d) Confronto tra le configurazioni ante operam e post operam per quanto concerne la massima potenza elettrica oraria assorbita giornalmente.



(e) Ripartizione del fabbisogno elettrico mensile tra cogeneratore e prelievo dalla rete. Per entrambi è riportata la suddivisione in fasce elettriche.



(f) Ripartizione del fabbisogno termico mensile tra cogeneratore e generatore di calore. In blu è riportata la quota di energia termica assorbita dal refrigeratore ad assorbimento.

Figura 3.7: Cogeneratore 800kW – Confronto tra le configurazioni ante operam e post operam.

Mese	Fabbisogno elettrico post operam [kWh]	F1 [kWh]	F2 [kWh]	F3 [kWh]
Gennaio	582,788	245,805	129,993	206,990
Febbraio	535,668	229,983	123,798	181,887
Marzo	583,121	252,699	133,640	196,782
Aprile	550,634	218,475	132,323	199,836
Maggio	550,743	248,880	125,255	176,608
Giugno	657,244	292,247	154,887	210,111
Luglio	683,957	290,376	166,122	227,459
Agosto	720,128	317,026	170,362	232,741
Settembre	553,950	237,335	136,976	179,639
Ottobre	622,587	266,682	137,678	218,228
Novembre	597,830	261,422	136,187	200,222
Dicembre	602,247	239,756	144,633	217,859
TOTALE	7,240,897	3,100,685	1,691,852	2,448,360

Tabella 3.15: Cogeneratore 800kW – Fabbisogno elettrico della struttura ospedaliera post operam.

zionamento continuo in condizioni nominali questo cogeneratore ha una potenza elettrica di targa tale che sia necessario immettere in rete parte dell'energia elettrica prodotta durante 3734 ore all'anno. Tuttavia, la curva cumulata di potenza elettrica oraria della struttura ha un profilo tale che la quantità di energia immessa in rete sia pari a 332,638kWh, ovvero il 4.75% della produzione totale. Questo motivo, oltre alla possibilità di attuare una regolazione in potenza, fa sì che un cogeneratore di questa potenza risulti interessante per l'ospedale in questione. In questa prima fase di dimensionamento è stata implementata una semplice logica di regolazione al fine di ottenere una soluzione subottimale; nella fase di gestione e conduzione dell'impianto è consigliabile implementare una logica di controllo adattivo che moduli la potenza dell'impianto in funzione della variazione del carico elettrico, termico e frigorifero. La logica di regolazione adottata nel presente lavoro consiste nel far funzionare l'impianto al 100% della potenza di targa nelle ore della fascia F1, al 87.5% in quelle della fascia F2 e al 75% in quelle della fascia F3. Tale regolazione impatta sulle potenze e sui rendimenti elettrico e termico come riportato in Tab. 3.11 e Fig. 3.6.

La produzione mensile di energia termica e il consumo mensile di combustibile sono riportati in Tab. 3.12 e Tab. 3.13. Il vincolo sulla potenzialità minima dei generatori di calore è rispettata, infatti la potenza utile equivalente delle caldaie è pari a 429.57kW, 571.84kW, 460.52kW, 499.50kW e 632.59kW da maggio a settembre. L'energia termica assorbita, l'energia frigorifera erogata e l'energia elettrica risparmiata ogni mese da maggio a settembre sono riportate in Tab. 3.14. La Fig. 3.7f riporta la ripartizione della produzione di energia termica tra cogeneratore e generatori di calore; in aggiunta è evidenziata in blu la quota di energia termica destinata all'assorbitore. Il risparmio percentuale di energia elettrica è pari al 15.86%, 23.74%, 23.62%, 22.70% e 15.75% rispetto al fabbisogno ante operam rispettivamente nei mesi da maggio a settembre. Suddividendo equamente l'energia elettrica risparmiata sulle ore di funzionamento dell'assorbitore è possibile ottenere il fabbisogno elettrico della struttura post operam, il quale è rappresentato in Tab. 3.15.

Le Fig. 3.7a e Fig. 3.7b riportano graficamente il confronto tra i fabbisogni energetici nelle configurazioni ante operam e post operam: si nota che l'effetto prima notato nel Par. 3.2.1 è in questo caso più

Mese	Cogeneratore [kWh]			Prelievo da rete [kWh]			Immissione in rete [kWh]					
	TOT	F1	F2	F3	TOT	F1	F2	F3	TOT	F1	F2	F3
Gennaio	495,897	202,403	119,543	173,952	86,891	43,403	10,451	33,038	423	350	74	0
Febbraio	449,255	184,316	112,875	152,064	86,414	45,668	10,923	29,823	26	5	21	0
Marzo	498,974	211,937	122,877	164,160	84,147	40,763	10,763	32,622	131	32	99	0
Aprile	477,057	183,074	124,064	169,920	73,577	35,402	8,259	29,916	1,503	1,247	257	0
Maggio	480,677	208,912	116,817	154,948	70,067	39,969	8,438	21,660	18,427	3,056	6,159	9,212
Giugno	478,268	202,003	117,966	158,299	178,976	90,244	36,921	51,811	4,228	749	1,650	1,829
Luglio	493,431	193,536	126,904	172,991	190,527	96,840	39,218	54,468	1,737	0	776	961
Agosto	497,783	211,631	122,187	163,965	222,345	105,395	48,175	68,775	1,321	337	789	195
Settembre	214,705	91,303	52,576	70,826	339,246	146,032	84,400	108,813	9,935	857	3,872	5,206
Ottobre	496,320	202,752	119,616	173,952	126,267	63,930	18,062	44,276	0	0	0	0
Novembre	482,196	202,586	119,483	160,128	115,634	58,836	16,704	40,094	300	167	134	0
Dicembre	494,693	193,065	127,676	173,952	107,555	46,691	16,958	43,907	476	471	5	0
TOTALE	5,559,254	2,287,514	1,382,582	1,889,158	1,681,643	813,171	309,270	559,202	38,506	7,270	13,834	17,402

Tabella 3.16: Cogeneratore 800kW – Quantità mensili di energia elettrica prodotta dal cogeneratore, prelevata dalla rete e immessa in rete.

marcato, con incrementi rispetto al fabbisogno termico originale del 36.97%, 43.86%, 38.76%, 40.54% e 64.98% da maggio a settembre. La Fig. 3.7c riporta il fabbisogno elettrico mensile modificato suddiviso in fasce. La massima potenza elettrica oraria annuale si è ridotta del 14.38% [Fig. 3.7d]. Una volta ottenuto il fabbisogno elettrico modificato è possibile calcolare la quantità di energia elettrica prelevata dalla rete al netto della produzione da cogenerazione e quella immessa in rete, come riportato in Tab. 3.16. L'energia elettrica immessa in rete è pari a $38,506kW$, ovvero l'88.42% in meno rispetto a quella del caso non regolato, portando la percentuale di autoconsumo al 99.31%. Ovviamente questo è un risultato di prima approssimazione utile ai fini del dimensionamento; nella conduzione ordinaria dell'impianto si può utilizzare qualsivoglia logica che massimizzi l'autoconsumo. In Fig. 3.7e si può apprezzare la ripartizione del fabbisogno elettrico mensile tra autoconsumo e prelievo dalla rete.

Conclusioni A fronte di un consumo annuo di $1,417,955Sm^3$ di combustibile il cogeneratore da $800kW$ produce $6,116,265kWh_t$, $5,831,000kWh_e$ al lordo degli ausiliari e $5,597,760kWh_e$ al netto degli ausiliari, soddisfacendo rispettivamente il 40.52% e il 76.78% dei fabbisogni energetici post operam. L'assorbitore consente di erogare $1,671,146kWh_f$ a fronte di un assorbimento di $2,273,429kWh_t$, garantendo un risparmio di $835,573kWh_e$.

3.3 Analisi economica

Il presente paragrafo è suddiviso in cinque sottoparagrafi. Il Par. 3.3.1 si occupa della definizione di Cogenerazione ad Alto Rendimento e delle conseguenze che essa comporta. Il Par. 3.3.2 riporta i dati necessari alla valorizzazione dell'energia elettrica e del combustibile. Il Par. 3.3.3 valuta la profittabilità economica del servizio di Ritiro Dedicato. Il Par. 3.3.4 è dedicato al calcolo del canone del Multiservizio Tecnologico Integrato attivabile tramite la Convenzione *MIES 2*. Infine, il Par. 3.3.5 tira le somme dell'analisi fin lì condotta e definisce quale sia l'impianto di trigenerazione ottimale per l'Ospedale di Vercelli.

Ipotesi In questa introduzione al paragrafo sono riportate assunzioni utili nel corso dell'analisi economica:

- le grandezze orarie riportate di seguito sono riferite alle ore in un anno per rendere omogeneo il confronto tra i due cogeneratori;
- il fattore di conversione da una quantità espressa in $1,000Sm^3$ a *tep* è 0.836 secondo quanto previsto al punto 13 della nota esplicativa della Circolare MISE del 18 dicembre 2014;
- il costo specifico della manutenzione ordinaria dell'impianto trigenerativo è $2.5 \frac{c\text{€}}{kWh_e}$, di cui $1.5 \frac{c\text{€}}{kWh_e}$ per il motore a combustione interna [44];
- il costo annuo per la gestione e conduzione dell'impianto ammonta a €126,275.12, garantendo un margine del 28.70% sulla componente "manutenzione" del canone annuo totale, come prescritto dal Capitolato Tecnico [37];
- altri costi aziendali da allocare al progetto, come quelli amministrativi, legali e commerciali, sono trascurati in questa sede;

- il tasso di sconto nominale è pari a 6.2%, ovvero il massimo *WACC* della “Filiera Energia Elettrica” calcolato nella Relazione Finanziaria del bilancio consolidato dell’anno 2019 di *Edison S.p.A.*;
- il tasso di inflazione previsto nel medio periodo è il 2% in linea con l’obiettivo del Consiglio direttivo della *BCE*.

3.3.1 Cogenerazione ad alto rendimento

La direttiva 2004/8/CE ha l’obiettivo di accrescere l’efficienza energetica e la sicurezza dell’approvvigionamento creando un quadro per la promozione e lo sviluppo, nel mercato interno, della cosiddetta cogenerazione ad alto rendimento (*CAR*), basata sulla domanda di calore utile e sul risparmio di energia primaria, tenendo conto delle specifiche situazioni nazionali. A decorrere dal 1 gennaio 2011, la cogenerazione ad alto rendimento è definita come la cogenerazione che rispetta i requisiti previsti dall’Allegato III alla direttiva 2004/8/CE, ripresi dal decreto legislativo n. 20/07.

Si definisca l’indice di risparmio di energia primaria, o *Primary Energy Saving (PES)*, come in Eq. 3.1:

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{CHPH_\eta}{RefH_\eta} + \frac{CHPE_\eta}{RefE_\eta}} \right) \cdot 100\% \quad (3.1)$$

dove $CHPH_\eta$ è il rendimento termico della produzione mediante cogenerazione, definito come il rapporto di calore utile $CHPH$ e combustibile di alimentazione $CHPFuel$ in un anno di esercizio, $RefH_\eta$ è il rendimento di riferimento per la produzione separata di calore, $CHPE_\eta$ è il rendimento elettrico, definito come il rapporto tra l’energia elettrica annua da cogenerazione $CHPE$, compresa l’aliquota assorbita dagli ausiliari, e il rispettivo carburante di alimentazione $CHPFuel$, e infine $RefE_\eta$ è il rendimento di riferimento per la produzione separata di elettricità.

Si definisca il sopraccitato *Energy Utilization Factor (EUF)* come somma di rendimento elettrico e rendimento termico [Eq. 3.2]:

$$EUF = CHPH_\eta + CHPE_\eta = \frac{CHPH}{CHPFuel} + \frac{CHPE}{CHPFuel} \quad (3.2)$$

La cogenerazione ad alto rendimento deve rispondere ai seguenti requisiti in termini di *PES* e *EUF*:

- la produzione mediante cogenerazione delle unità di potenza elettrica di targa maggiore o uguale a 1MW deve fornire un risparmio di energia primaria pari almeno al 10% rispetto ai valori di riferimento per la produzione separata di elettricità e di calore;
- la produzione mediante unità di piccola cogenerazione e di micro-cogenerazione, ovvero tali da avere una potenza elettrica di targa minore o uguale a 1MW, deve fornire un risparmio non nullo di energia primaria;
- la produzione di energia elettrica da unità di produzione combinata di energia elettrica e calore con turbina a vapore a contropressione, turbina a gas con recupero termico, motore a combustione interna, microturbine, motori Stirling e celle a combustibile è da ritenere interamente energia elettrica qualificabile come cogenerativa se dette unità presentano un rendimento di primo principio almeno pari al 75%;

- la produzione di energia elettrica da unità di produzione combinata di energia elettrica e calore a ciclo combinato con recupero di calore e con turbina a vapore con condensazione e spillamento è da ritenere interamente energia elettrica qualificabile come cogenerativa se dette unità presentano un rendimento di primo principio almeno pari all'80%.

La definizione di rendimento di primo principio a cui fa riferimento la normativa [43] [46] equipara l'energia elettrica a quella termica e coincide con la definizione di indice di utilizzazione in Eq. 3.2.

La legislazione vigente, in particolare il decreto legislativo n. 20/07, oltre a eventuali iniziative di carattere regionale o locale e agevolazioni fiscali, prevede [43] [45]:

1. i titoli di efficienza energetica (o certificati bianchi) correlati al risparmio di energia primaria (già previsti dall'articolo 9, comma 1, del decreto legislativo n. 79/99 e dall'articolo 16, comma 4, del decreto legislativo n. 164/00), i cui criteri applicativi, in relazione alla cogenerazione ad alto rendimento, sono definiti, da ultimo, dal decreto ministeriale 5 settembre 2011;
 2. defiscalizzazione della quota di gas metano utilizzato per la cogenerazione ad alto rendimento;
 3. precedenza, nell'ambito del dispacciamento, dell'energia elettrica prodotta e immessa in rete da impianti di cogenerazione ad alto rendimento rispetto all'energia elettrica prodotta da fonti convenzionali (previsto dall'articolo 6, comma 1, del decreto legislativo n. 20/07);
 4. agevolazioni dal punto di vista delle condizioni tecnico-economiche per la connessione alla rete pubblica, ai sensi della Deliberazione ARG/elt n.99/08;
 5. ritiro dell'energia elettrica immessa in rete dagli impianti di potenza inferiore a 10 MVA, in alternativa al libero mercato, secondo principi di semplicità procedurale e applicando condizioni economiche di mercato (si vedano l'articolo 13, comma 3, del decreto legislativo n. 387/03 e l'articolo 1, comma 41, della legge n. 239/04), regolato dall'Autorità;
 6. lo scambio sul posto per impianti di potenza nominale fino a 200 kW (si veda l'articolo 6, comma 6, del decreto legislativo n. 20/07), regolato dall'Autorità;
 7. semplificazioni procedurali, previste dal decreto del Ministro dello Sviluppo Economico 16 marzo 2017, per la realizzazione, la connessione e l'esercizio di piccoli impianti di microcogenerazione ad alto rendimento;
 8. solo per impianti alimentati a biomassa, biogas e bioliquidi sostenibili e entrati in esercizio entro il 30 giugno 2017, un incremento, differenziato in base al combustibile, della tariffa base di incentivazione prevista dal D.M. 6 luglio 2012;
 9. l'accesso alla tariffa base prevista dal D.M. 23 giugno 2016 per gli impianti alimentati a biomasse e biogas anche per l'energia elettrica netta prodotta in *CAR* e immessa in rete da impianti con potenza superiore a 300 kW, fermo restando il rispetto degli ulteriori requisiti contenuti nel medesimo decreto;
 10. il riconoscimento della tariffa prevista per la produzione di energia elettrica da biogas di cui al D.M. 6 luglio 2012 anche all'energia elettrica netta prodotta in *CAR* e immessa in rete da impianti alimentati a biometano;
-

11. possibilità, per i Sistemi Semplici di Produzione e Consumo (*SSPC*) che includono impianti di cogenerazione, di essere classificati nelle categorie *SEU* e *SEEU-B*, qualora l'energia cogenerata dall'unità risulti, per l'anno $n-1$, maggiore del 50% della produzione totale lorda di energia elettrica dell'impianto a cui tale unità appartiene.

Si ricorda che l'accesso ai benefici è previsto solo per gli anni in cui viene riconosciuto il funzionamento dell'unità come *CAR* a seguito della presentazione della relativa richiesta. Nel caso in esame sono di particolare interesse i punti 1 e 2, i quali hanno impatto sul risultato d'esercizio, il punto 4, che incide sul costo d'investimento iniziale.

Si introduce ora al calcolo di $Ref H_\eta$ e $Ref E_\eta$ necessarie in Eq. 3.1 [47]. Il rendimento termico di riferimento $Ref H_\eta$ è pari a 92% per un combustibile di classe *G10* (gas naturale, GPL, GNL e biometano) e per un impianto di produzione di acqua calda costruito dopo il 2016. Tale rendimento è basato sul potere termico inferiore e sulle condizioni ISO atmosferiche standard (temperatura ambientale di 15°C, pressione di 1,013bar, umidità relativa del 60%). Il rendimento elettrico di riferimento $Ref E_\eta$ si calcola apportando opportune correzioni a un valore di base riferito alle condizioni ISO atmosferiche standard e al potere termico inferiore. Per un combustibile di classe *G10* e per un impianto costruito dopo il 2016 la normativa prevede un rendimento elettrico di base pari a 53.0%. La prima correzione si applica solo ai combustibili gassosi e riguarda la differenza tra la temperatura ambientale media annuale e quella di riferimento secondo le condizioni ISO atmosferiche standard, ovvero 15°C. La correzione consiste in un decremento di rendimento di 0.1% per ogni grado al di sopra dei 15°C e in un incremento di rendimento di 0.1% per ogni grado al di sotto dei 15°C. La temperatura ambientale media annuale misurata a Vercelli è pari a 13.22°C, quindi il rendimento elettrico di base è incrementato dello 0.178%. La seconda correzione riguarda la ripartizione tra autoconsumo e cessione in rete e il livello di tensione di produzione dell'energia elettrica. Infatti il rendimento elettrico finora calcolato va moltiplicato per il parametro p , calcolato come media pesata sulle percentuali di autoconsumo e cessione in rete dei rispettivi parametri tabellati p_{auto} e p_{rete} . Per produzione a tensione minore di 450V p_{auto} e p_{rete} sono rispettivamente pari a 0.851 e 0.888. Di conseguenza, il rendimento elettrico di riferimento $Ref E_\eta$ è pari a 45.03% e 45.04% per i cogeneratori rispettivamente da 600kW e 800kW.

A questo punto è possibile approfondire quanto concerne i Titoli di Efficienza Energetica, in particolare quelli di tipo *II-CAR*. I Certificati Bianchi sono titoli negoziabili che certificano il conseguimento di risparmi negli usi finali di energia attraverso interventi e progetti di incremento dell'efficienza energetica. Ogni certificato equivale al risparmio di una tonnellata equivalente di petrolio *tep*, il quale deve essere riconosciuto dal GSE. Il GSE rilascia su appositi conti i Certificati Bianchi su indicazione del GSE. I Titoli di Efficienza Energetica possono essere scambiati e valorizzati sulla piattaforma di mercato gestita dal GSE o attraverso contrattazioni bilaterali. Ciò è possibile perché il D.M. 11 gennaio 2017 e s.m.i., i quali applicano l'art. 9 del D.Lgs. 79/99 e l'art. 16 del D.Lgs. 164/00, prevedono obblighi di incremento dell'efficienza energetica a carico delle imprese di distribuzione dell'energia elettrica e del gas, che si traducono nella necessità di approvvigionamento di *TEE* tramite l'implementazione di interventi di efficientamento energetico o l'acquisto dal mercato. Il Decreto Interministeriale del 10 gennaio 2018 ha fissato il prezzo dei Certificati Bianchi a €260. Possono accedere al meccanismo dei Certificati Bianchi le unità di cogenerazione riconosciute *CAR* a consuntivo ai sensi del D.M. 4 agosto 2011:

- entrate in esercizio a seguito di nuova costruzione o rifacimento dopo il 6 marzo 2007, per un periodo

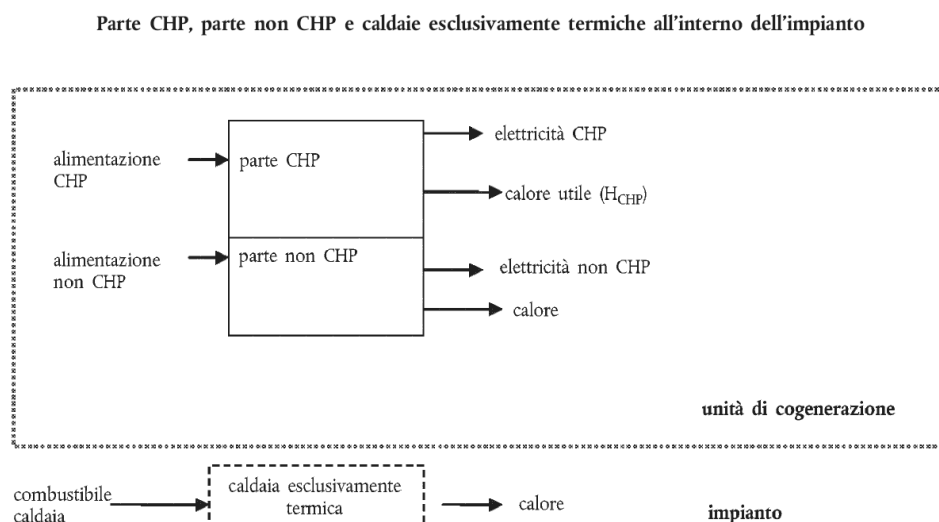


Figura 3.8: Confini dell'unità di cogenerazione ai fini del calcolo dell'energia prodotta da cogenerazione [48].

di 10 anni solari, a decorrere dal primo gennaio dell'anno successivo all'entrata in esercizio;

- entrate in esercizio a seguito di nuova costruzione o rifacimento dopo il 6 marzo 2007 e abbinate ad una rete di teleriscaldamento, per un periodo di 15 anni solari a decorrere dal primo gennaio dell'anno successivo all'entrata in esercizio.

Annualmente è facoltà dell'operatore scegliere se richiedere il rilascio dei certificati bianchi spettanti sul proprio conto proprietà presso il registro titoli del GME o il ritiro degli stessi da parte del GSE. Il prezzo di ritiro dei Certificati Bianchi sarà pari a quello vigente alla data di entrata in esercizio dell'unità (o alla data di entrata in vigore del D.M. 05/09/2011 nel caso di unità già in esercizio).

Per calcolare il risparmio di energia primaria di una unità di cogenerazione, occorre anzitutto determinare l'energia elettrica e il calore non prodotti in regime di cogenerazione e distinguerli dalla produzione da cogenerazione. A tal fine serve definire i confini del sistema come in Fig. 3.8. Sono esclusi il combustibile consumato ed il calore prodotto da impianti esclusivamente termici (caldaie di riserva e di integrazione). Non è considerato come calore utile il calore disperso nell'ambiente senza alcun impiego. Se l'energia termica viene utilizzata sotto forma di acqua calda, il calore di ritorno verso l'impianto di cogenerazione non è considerato come calore utile, e va quindi escluso dal calcolo degli indici energetici. Se l'energia termica viene utilizzata sotto forma di vapore, il calore contenuto nella condensa di ritorno verso l'impianto di cogenerazione è considerato calore utile, e può quindi essere incluso nel calcolo degli indici energetici: da tale calcolo va esclusa, in questo caso, la quantità di calore corrispondente ad una portata massica di acqua che si trovi alla temperatura di 15°C ed alla pressione di 1.013bar, e sia pari alla portata massica del vapore.

Affinché si possa accedere a questo meccanismo incentivante i flussi di energia devono essere misurati nel periodo temporale di riferimento, ovvero dal 1 gennaio al 31 dicembre [48]. Quindi di seguito è

		600kW	800kW	Δ
Ore equivalenti	$\left[\frac{h}{anno}\right]$	8,376	7,289	-12.89%
Rapporto di cogenerazione	$\left[\frac{kWh_t}{kWh_e}\right]$	1.030	1.049	1.84%
Indice elettrico	$\left[\frac{kWh_e}{kWh_t}\right]$	0.971	0.953	-1.80%
Consumo specifico	$\left[\frac{kJ}{kWh_e}\right]$	8,313.90	8,398.03	1.01%
Consumo specifico netto	$\left[\frac{kJ}{kWh_e}\right]$	4,239.18	4,248.45	0.22%
Rendimento elettrico d'esercizio	[%]	43.30%	42.87%	-1.00%
Rendimento termico d'esercizio	[%]	44.60%	44.96%	0.82%
<i>EU</i> <i>F</i>	[%]	87.90%	87.83%	-0.08%
Risparmio di combustibile	$[Sm^3]$	540,151	624,723	15.56%
Risparmio di energia primaria	$[MWh_c]$	5,181.679	5,992.984	15.56%
Risparmio di energia primaria	$[tep]$	451.566	522.269	15.56%
<i>PES</i>	[%]	30.87%	30.58%	-0.91%
<i>TEE</i>	[-]	624	722	15.71%
Ricavo da <i>TEE</i>	$\left[\frac{€}{anno}\right]$	162,240	187,720	15.71%

Tabella 3.17: Indici prestazionali dei due cogeneratori e variazione percentuale dei suddetti indici per il cogeneratore da 800kW rispetto a quello da 600kW.

riportata una stima, non il calcolo esatto, dei Titoli di Efficienza Energetica che ciascuno dei due impianti trigenerativi analizzati potrebbe conseguire annualmente. La formula per il calcolo dei Titoli di Efficienza Energetica *TEE* conseguibili è riportata in Eq. 3.3a, per la quale è necessaria la definizione del risparmio di energia primaria *RISP* $[MWh_c]$ in Eq. 3.3b. Il coefficiente di armonizzazione *k* è pari a 1.4 per entrambi i cogeneratori.

$$TEE = RISP \cdot 0.086 \cdot k \quad (3.3a)$$

$$RISP = \frac{CHP H}{Ref H_\eta} + \frac{CHPE}{Ref E_\eta} - CHP Fuel \quad (3.3b)$$

KPIs dei due impianti Infine sono introdotti gli altri indici di prestazione comunemente utilizzati. Il rapporto di cogenerazione λ è pari al rapporto tra l'energia termica e l'energia elettrica prodotte in un anno di esercizio, mentre l'indice elettrico I_e ne è il reciproco. Per un motore a combustione interna a recupero totale l'indice elettrico è solitamente inferiore ad 1. Il consumo specifico q_s è pari al rapporto tra l'energia chimica del combustibile in ingresso e l'energia elettrica prodotta in un anno di esercizio; tale definizione coincide con il reciproco del rendimento elettrico. Il consumo specifico netto $q_{s,netto}$ ha una definizione analoga a quella di q_s ma l'energia chimica del combustibile in ingresso è decurtata della quantità che sarebbe necessario impiegare in assetto non cogenerativo per produrre la quantità di energia termica di cui si necessita. La Tab. 3.17 riporta questi e altri indici prestazionali dei due cogeneratori e la variazione percentuale del caso da 800kW rispetto a quello da 600kW. Si sottolinea che in entrambi i casi l'*EU**F* è superiore al del 75% e il *PES* è superiore al 10%, che sono i limiti minimi per l'ottenimento della qualifica *CAR*. Infine si segnala che il cogeneratore da 800kW consente di ottenere 84 *TEE* in più, che comportano un incremento di ricavo annuo pari a €21,840.

3.3.2 Valorizzazione di energia elettrica e combustibile

Il presente paragrafo si occupa della valorizzazione dell'energia elettrica e del gas naturale. La *ESCO* che si aggiudica il contratto e realizza l'impianto di trigenerazione vende l'energia elettrica prodotta all'ente ospedaliero ad un prezzo inferiore a quello proposto in media dalle società di vendita, in modo tale da rendere il Multiservizio Tecnologico Integrato conveniente per l'Amministrazione Contraente. Si assuma pertanto un costo medio della fornitura pari a $0.1780 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ e un'aliquota di energia elettrica pari allo 0.1% della produzione netta da cedere gratuitamente all'ospedale. Ciò comporta un ricavo annuo per la *ESCO* che ammonta a €855,467.39 nel caso del cogeneratore da 600kW e a €984,505.58 nel caso del cogeneratore da 800kW. Si ricordi che l'imposta erariale va versata anche sull'energia autoconsumata: l'aliquota ammonta a $0.0125 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_e}$ per i primi 200,000 $\frac{\text{kWh}_e}{\text{mese}}$ e a $0.0075 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_e}$ per la quota eccedente, il che comporta un totale di €48,030.35 per il cogeneratore da 600kW e €53,522.69 per quello da 800kW.

Il combustibile in ingresso è gas naturale. Il prezzo medio di acquisto per la *ESCO Edison Facility Solutions S.p.A.* è $0.25 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$. Ai sensi del D.L. 119/2018 art. 19 per ogni kWh_e prodotto si ha che la quantità pari a 0.220Sm^3 di gas naturale acquistata è sottoposta all'accisa per generazione elettrica, ovvero $0.0004493 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$. Il valore $0.220 \frac{\text{kWh}_e}{\text{Sm}^3}$ è legato al rendimento medio del parco di generazione nazionale a gas metano, come riportato in Eq. 3.4:

$$\eta_{\text{medio}} = \frac{1 \text{kWh}_e}{0.220 \text{Sm}^3 \cdot 9.593 \frac{\text{kWh}_e}{\text{Sm}^3}} = 47.38\% \quad (3.4)$$

Questo valore è soggetto a modificazioni a seconda dello stato dell'arte. Se il cogeneratore installato ha un rendimento elettrico maggiore o uguale 47.38% tutto il combustibile è soggetto ad agevolazione fiscale. Come si deduce dalla Tab. 3.17, il rendimento elettrico d'esercizio di entrambi i cogeneratori è inferiore al summenzionato limite minimo; ne deriva che parte del combustibile utilizzato per la cogenerazione non è soggetto ad agevolazione fiscale in entrambi i casi.

Per i restanti metri cubi necessari alla produzione di 1kWh_e viene applicata l'imposta tipica dell'utenza considerata, ovvero quella industriale nel caso degli enti ospedalieri ai sensi della Circolare con Protocollo 77415 RU, che, alla luce del D.P.C.M. 15/1/99, ammonta a $0.012498 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$ per i primi 1,200,000Sm³ e $0.0074988 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$ per l'aliquota di consumo eccedente. In aggiunta bisogna considerare l'addizionale regionale, che per il Piemonte ammonta alla metà dell'imposta erariale e non può essere né inferiore a $0.0052 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$ né superiore a $0.0258 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$. Essa ammonta quindi a $0.006249 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$ per i primi 1,200,000Sm³ e $0.0052 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$ per la restante parte. Si conclude che il costo del combustibile sottoposto ad accisa per generazione elettrica, al quale si fa di seguito riferimento con il termine "defiscalizzato", è $0.2504493 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$, mentre il costo del combustibile sottoposto ad accisa per utenza industriale, che di seguito è chiamato "non defiscalizzato", è $0.268747 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$ per i primi 1,200,000Sm³ e $0.2626988 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$ per la quota eccedente il summenzionato limite.

Alla luce della Tab. 3.18 si valutino le performance del cogeneratore da 800kW rispetto a quello da 600kW. La portata media di combustibile in ingresso al cogeneratore è maggiore del 17.20%, con un incremento del 16.03% della quantità di combustibile defiscalizzato e un aumento del 29.65% della quantità di combustibile non defiscalizzato. Tuttavia la portata media complessiva aumenta solo del 6.37% a causa della riduzione di quella in ingresso alle caldaie. Questo incremento comporta che il costo

	600kW	800kW	Δ
	$\left[\frac{Sm^3}{h}\right]$	$\left[\frac{Sm^3}{h}\right]$	[%]
Portata di combustibile al cogeneratore	138.11	161.87	17.20%
Portata di combustibile defiscalizzato al cogeneratore	126.21	146.44	16.03%
Portata di combustibile non defiscalizzato al cogeneratore	11.90	15.43	29.65%
Portata di combustibile alle caldaie	124.46	117.41	-5.66%
Portata di combustibile non defiscalizzato totale	136.35	132.84	-2.58%
Portata di combustibile totale	262.57	279.28	6.37%
	$\left[\frac{€}{h}\right]$	$\left[\frac{€}{h}\right]$	[%]
Costo orario del combustibile al netto delle imposte	-65.64	-69.82	6.37%
Costo orario del combustibile al lordo delle imposte	-70.02	-74.10	5.84%
Costo orario di manutenzione ordinaria	-14.34	-16.64	16.03%
Costo orario di gestione e conduzione	-14.41	-14.41	0.00%
Costo orario lordo di produzione di energia elettrica	-98.77	-105.16	6.46%
Mancato costo di produzione di energia termica	18.19	21.49	18.16%
Costo orario netto di produzione di energia elettrica	-80.58	-83.66	3.83%
	$\left[\frac{c€}{kWh_e}\right]$	$\left[\frac{c€}{kWh_e}\right]$	[%]
Costo specifico del combustibile al lordo delle imposte	-11.67	-9.26	-20.62%
Costo specifico lordo di produzione di energia elettrica	-16.46	-13.14	-20.15%
Costo specifico netto di produzione di energia elettrica	-13.43	-10.46	-22.13%

Tabella 3.18: Portate di combustibile, costi orari e costi specifici per i due cogeneratori e variazione percentuale dei suddetti parametri per il cogeneratore da 800kW rispetto a quello da 600kW.

orario lordo di produzione dell'energia elettrica sia maggiore. Tuttavia il mancato costo di produzione dell'energia termica, ovvero il costo non sostenuto per produrre la quantità di energia termica recuperata dal cogeneratore, è superiore del 18.16% e si conclude che il costo orario netto di produzione dell'energia elettrica è superiore solo del 3.83%. Nonostante i costi orari siano più alti, i costi specifici testimoniano che il cogeneratore da 800kW sia preferibile: infatti esso consente una riduzione del 22.13% del costo specifico netto di produzione dell'energia elettrica.

3.3.3 Servizio di ritiro dedicato

Il ritiro dedicato è la cessione dell'energia elettrica immessa in rete dagli impianti che vi possono accedere, su richiesta del produttore e in alternativa al libero mercato, secondo principi di semplicità procedurale e applicando condizioni economiche di mercato. Il ritiro dedicato prevede quindi semplificazioni, non incentivi che sono invece definiti dall'ordinaria attività legislativa [43]. Ai sensi dell'articolo 13, commi 3 e 4, del decreto legislativo n. 387/03, e del comma 41 della legge n. 239/04, il regime di ritiro dedicato è riservato:

- all'energia elettrica prodotta dagli impianti di potenza inferiore a 10MVA, qualunque sia la fonte;
- all'energia elettrica prodotta dagli impianti, di potenza qualsiasi, alimentati dalle fonti rinnovabili eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, maremotrice e idraulica, limitatamente, per quest'ultima fonte, agli impianti ad acqua fluente;
- alle eccedenze prodotte dagli impianti alimentati da fonti rinnovabili programmabili di potenza non inferiore a 10MVA purché nella titolarità di un autoproduttore, a eccezione di quella ceduta al

Mese	F1 [$\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$]	F2 [$\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$]	F3 [$\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$]
Gennaio	95.43	73.99	62.07
Febbraio	62.74	54.27	47.67
Marzo	44.68	43.88	39.95
Aprile	42.26	42.56	35.05
Maggio	45.16	43.06	32.7
Giugno	39.24	32.98	26.06
Luglio	58.48	46.55	38.62
Agosto	62.77	53.17	41.84
Settembre	53.65	46.22	40.37
Ottobre	61.20	52.69	45.25
Novembre	81.51	65.99	53.29
Dicembre	83.05	64.11	53.96

Tabella 3.19: Prezzi medi mensili dell'energia elettrica per fascia oraria nella zona Nord nel 2017.

GSE nell'ambito delle convenzioni in essere stipulate ai sensi dei provvedimenti Cip n. 15/89, n. 34/90, n. 6/92, nonché della deliberazione n. 108/97, limitatamente agli impianti nuovi, potenziati o rifatti, come definiti dagli articoli 1 e 4 della medesima deliberazione n. 108/97, fino alla loro scadenza.

Non può accedere al ritiro dedicato l'energia elettrica per la quale sono erogate le tariffe fisse onnicomprensive di cui alle leggi 296/06 e 244/07 e al decreto interministeriale 5 maggio 2011, nonché l'energia elettrica complessivamente prodotta e immessa in rete dagli impianti che accedono, anche per una parte della propria produzione, agli strumenti incentivanti di cui ai decreti interministeriali 6 luglio 2012, 23 giugno 2016 e 4 luglio 2019, nonché l'energia elettrica complessivamente prodotta e immessa in rete dalle sezioni degli impianti fotovoltaici per i quali sono erogati gli incentivi di cui al decreto interministeriale 5 luglio 2012 [43].

Il prezzo riconosciuto ai produttori nell'ambito del ritiro dedicato è il prezzo zonale orario, corrisposto sulla base del profilo orario di immissione del singolo produttore. La Tab. 3.19 riporta i prezzi medi mensili dell'energia elettrica per fascia oraria nella zona Nord nel 2017. Assumendo tali prezzi come riferimento, il ricavo del cogeneratore da 600kW e quello del cogeneratore da 800kW sono rispettivamente $331.18 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$ e $1.586.89 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$. Gli impianti di cogenerazione inoltre non rientrano tra quelli a cui sono applicati i prezzi minimi garantiti. I prezzi minimi garantiti sono stati introdotti come forma di tutela, al fine di assicurare la sopravvivenza economica agli impianti di minori dimensioni anche qualora i prezzi di mercato dovessero scendere significativamente, considerati i benefici in termini ambientali, di tutela del territorio e di utilizzo delle risorse marginali o residuali (non altrimenti utilizzabili). Gli impianti cogenerativi sono quindi soggetti alle oscillazioni del prezzo zonale orario. Dal 1 gennaio 2015, i produttori che aderiscono al servizio di ritiro dedicato devono corrispondere al GSE una tariffa a copertura degli oneri di gestione, verifica e controllo ai sensi del D.M. 24/12/2014. Tale tariffa, differenziata per fonte di alimentazione, viene calcolata sulla base della potenza nominale dell'impianto, applicando corrispettivi unitari variabili in funzione degli scaglioni progressivi di potenza, prevedendo un massimale annuo, secondo quanto riportato in Fig. 3.9. Ne consegue un costo di $540 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$ e $720 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$ rispettivamente per il cogeneratore da 600kW e per quello da 800kW.

FONTE	Scaglioni di potenza (kW)			Massimale
	1<P≤20	20<P≤200	P<200	
	€/kW	€/kW	€/kW	€/anno
Solare	0,7	0,65	0,6	10.000
Eolica	0,9	0,8	0,7	10.000
Idraulica	1,1	0,9	0,8	10.000
Altro	1,2	1,0	0,9	10.000

Figura 3.9: Tariffa da corrispondere al GSE a copertura degli oneri di gestione, verifica e controllo.

Inoltre, il GSE, entro il giorno 20 del secondo mese successivo a quello di competenza, per ciascun periodo rilevante del mese di competenza e per ciascun punto di dispacciamento, calcola la quota residua dei corrispettivi orari di sbilanciamento attribuiti da Terna al medesimo GSE (OS_h). Detti corrispettivi, espressi in €, sono pari, per ogni ora, alla somma algebrica tra il corrispettivo di sbilanciamento effettivo complessivo attribuito da Terna a un determinato punto di dispacciamento (C_h^{sbil} [€]) e il prodotto tra lo sbilanciamento effettivo del medesimo punto di dispacciamento ($Sbil_h$ [MWh]) e il prezzo zonale orario relativo alla zona elettrica a cui fa riferimento il punto di dispacciamento (PZ_h [$\frac{€}{MWh}$]) [43].

In conclusione la presenza di un costo fisso per l'attivazione del servizio e l'insorgenza di oneri aggiuntivi dovuti alle esigenze di dispacciamento e alla tassazione rende il ritiro dedicato scarsamente o addirittura non profittevole nei casi in esame. Ciò è dovuto alla ridotta quantità di energia immessa in rete. A seguito di queste considerazioni la *ESCO Edison Facility Solutions S.p.A.* non intende accedere a tale convenzione.

3.3.4 Canone annuo e investimento iniziale

Il Multiservizio Tecnologico Integrato con fornitura di Energia prevede la remunerazione a canone delle attività e degli interventi relativi ai servizi ordinati attraverso l'emissione dell'Ordinativo Principale di Fornitura (*OPF*) ed eventuali Atti Aggiuntivi dell'Ordinativo Principale di Fornitura (*AA-OPF*). Il canone annuo totale, dato dalla somma dei singoli canoni annui dei servizi ordinati, e l'extra-canone sono determinati secondo quanto stabilito dal Capitolato Tecnico [37]. L'ospedale di Vercelli intende attivare i servizi $A.1_{CI}$, $A.1_{ACV}$ e $A.2_{CE}$. Le quote del servizio $A.1$ sono suddivise nelle componenti "energia" e "gestione, conduzione e manutenzione", mentre la quota $A.2_{CE}$ comprende solo la seconda delle summenzionate componenti.

Il valore della componente energia $E_{CI,k}$ del k -esimo sistema edificio/impianto è correlato all'entità di consumo energetico del sistema stesso, in quanto è definito dal prodotto del consumo energetico J_{pk} per il prezzo unitario $PU_{CI,Ei}$ riportato nell'Allegato 10 al Disciplinare di gara e ribassato in sede di Offerta Economica. Il valore J_{pk} è il consumo energetico della stagione di riscaldamento ed è definito come in Eq. 3.5:

$$J_{pk} = J_{pkst} + \Delta J_{stk} \quad (3.5)$$

Si assuma che ΔJ_{stk} sia nullo, ovvero che il numero di gradi giorno reale GG_R coincida con il numero di gradi giorno standard GG_S , come definiti nel Capitolato Tecnico [37]. Ciò equivale ad assumere una stagione

termica di durata pari a quella standard, ovvero dal 15 ottobre al 15 aprile, e condizioni metereologiche nella media. Il valore J_{pkst} è calcolato secondo la Eq. 3.6:

$$J_{pkst} = J_{sk} + 0.20 \cdot (J_{ck} - J_{sk}) \quad \text{se } J_{ck} \geq J_{sk} \quad (3.6a)$$

$$J_{pkst} = J_{ck} + 0.75 \cdot (J_{sk} - J_{ck}) \quad \text{se } J_{ck} < J_{sk} \quad (3.6b)$$

dove J_{sk} e J_{ck} sono rispettivamente il fabbisogno storico di energia primaria [Par. 2.3] e il fabbisogno stagionale di energia primaria calcolato secondo la Norma EN ISO 13790–2008.

La componente manutenzione M_{CI} è determinata in funzione della consistenza del sistema edificio/impianto e dei relativi prezzi unitari $PU_{CI.Mi}$ riportati nell'Allegato 10 al Disciplinare di gara e ribassati in sede di Offerta Economica.

Allo stesso modo si calcolano le componenti energia e manutenzione del servizio $A.1_{ACV}$ e la componente manutenzione del servizio $A.2_{CE}$. Per un maggiore dettaglio su quanto appena esplicitato, nonché per il calcolo delle imposte da includere nel canone totale annuo, si rimanda all'Appendice B.

Nel presente paragrafo si conclude che le componenti energia E_{CI} e E_{ACV} sono pari a €511,590.47 e €102,706.08 per un totale di €614,296.55, mentre le componenti manutenzione M_{CI} , M_{ACV} e M_{CE} sono uguali a €45,229.10, €3,138.88 e €128,735.99 per un totale di €177,103.96. I canoni annui per i servizi $A.1_{CI}$, $A.1_{ACV}$ e $A.2_{CE}$ sono rispettivamente €558,524.08, €106,145.75 e €128,735.99, facendo ammontare il canone annuo totale a €793,405.82.

Si fa ora riferimento agli interventi di manutenzione straordinaria e di riqualificazione energetica compresi nell'Offerta Tecnica. In particolare, i primi sono remunerati nel canone del servizio $A.1$ fino alla quota $I_{CMSA.1}$ e nel canone del servizio $A.2$ fino alla quota $I_{CMSA.2}$, mentre i secondi sono remunerati nel canone del servizio $A.1$ almeno per la quota minima I_{CRE} e nel canone del servizio $A.2$ almeno per la quota minima I_{REE} . Per il calcolo dei limiti appena introdotti si fa riferimento al canone annuo totale relativo a tutti i sistemi edificio/impianto contenuti nell'*OPF*, quindi non solo a quelli propriamente afferenti all'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli, come mostrato in Eq. 3.7:

$$I_{CMSA.1} = C_{A.1} \cdot 7anni \cdot 7\% = 1,183,119.11 \frac{\text{€}}{\text{anno}} \cdot 7anni \cdot 7\% = \text{€}579,728.36 \quad (3.7a)$$

$$I_{CMSA.2} = C_{A.2,CE} \cdot 7anni \cdot 15\% = 200,818.56 \frac{\text{€}}{\text{anno}} \cdot 7anni \cdot 15\% = \text{€}210,859.49 \quad (3.7b)$$

$$I_{CRE} = C_{A.1} \cdot 7anni \cdot 7\% = 1,183,119.11 \frac{\text{€}}{\text{anno}} \cdot 7anni \cdot 7\% = \text{€}579,728.36 \quad (3.7c)$$

$$I_{REE} = C_{A.2,CE} \cdot 7anni \cdot 7\% = 200,818.56 \frac{\text{€}}{\text{anno}} \cdot 7anni \cdot 7\% = \text{€}98,401.10 \quad (3.7d)$$

Come annunciato in Par. 2.3, la sostituzione dei generatori di calore è un intervento di manutenzione straordinaria che richiede un costo d'investimento di €476,349.62. L'installazione della rete di telecontrollo in tutti gli edifici contenuti nell'*OPF* è un intervento di riqualificazione energetica che comporta un investimento iniziale di €129,276.00. La quota allocata all'ospedale di Vercelli è calcolata in base ai consumi storici di energia primaria: J_{sk} ammonta a 15,148,389.44kWh per l'ospedale in esame ed è uguale a 23,653,620.95kWh per l'insieme delle strutture contenute nell'*OPF*; di conseguenza la suddetta quota ammonta al 64.04%, ovvero €82,791.69. Il costo d'installazione dell'impianto trigenerativo ammonta a €921,762.85 nel caso del cogeneratore da 600kW (€833,536.19 per il cogeneratore e €88,226.66

per l'assorbitore), mentre è pari a €1,117,288.30 nel caso del cogeneratore da 800kW (€1,010,346.90 per il cogeneratore e €106,941.40 per l'assorbitore). Ricordando che l'installazione dell'assorbitore rientra tra gli interventi di riqualificazione energetica del servizio $A.2_{CE}$ e analizzando i valori sopraccitati, si evidenzia che l'installazione di un impianto trigenerativo presso il presidio ospedaliero più grande tra quelli contenuti nell' OPF soddisfa le quote minime I_{CRE} e I_{CREE} per il 100% e l'89.66% nel caso di cogeneratore da 600kW_e e totalmente nel caso di cogeneratore da 800kW_e.

Si conclude riassumendo che il costo totale d'investimento ammonta a €1,376,333.99 per l'impianto di taglia minore e a €1,571,859.45 per quello di taglia maggiore.

3.3.5 Scelta dell'impianto trigenerativo

Nel presente paragrafo è effettuata la scelta tra i due impianti trigenerativi e ne sono riportate le motivazioni. La *ESCo* intende installare il cogeneratore da 800kW e il refrigeratore ad assorbimento da 568kW in quanto garantisce risultati migliori dai punti di vista sia energetico sia economico. Infatti a fronte di un incremento della quantità di combustibile in ingresso del 17.20% gli aumenti di energia termica ed energia elettrica prodotti in cogenerazione ammontano rispettivamente a 18.16% e 15.45%. Inoltre, le quantità di energia frigorifera e di energia elettrica risparmiata aumentano del 20.88%. Ne consegue che l'energia elettrica autoprodotta è pari al 65.20% nel caso del cogeneratore da 600kW e al 76.78% nel caso del cogeneratore da 800kW. In vista del conseguimento degli obiettivi generali di risparmio energetico e riduzione delle emissioni inquinanti previsti dal bando *MIES 2* e sintetizzati in Par. 1.4, l'impianto trigenerativo con cogeneratore da 800kW risulta preferibile perché consente di ottenere un risparmio di energia primaria superiore (522.269tep contro 451.566tep). Questa scelta è corroborata se si considerano anche le condizioni di economicità che la *ESCo* deve garantire all'ente ospedaliero [37]. Si ricordi che il costo medio della fornitura di energia elettrica è $0.1780 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ contro una media di $0.22 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ proposta dalle società di vendita. L'installazione di un assorbitore da 470kW consente un mancato costo per acquisto di energia elettrica pari a €152,076.44 all'anno, mentre l'assorbitore da 568kW permette di ottenere un mancato costo di €183,826.05 all'anno, con un incremento del 20.88%. Inoltre la maggiore percentuale del fabbisogno elettrico soddisfatto tramite il cogeneratore si traduce in un risparmio di €31,246.99 all'anno. In aggiunta bisogna considerare il risparmio dovuto alla riduzione della potenza impegnata mensilmente, il cui massimo valore percentuale nel caso dell'impianto di taglia maggiore è uguale al 14.38%.

Si conduca ora l'analisi di redditività per la *ESCo* che intende sostenere l'investimento. Assumendo un flusso di cassa annuo costante e pari al profitto in Tab. 3.20, il valore attuale netto (*VAN*), o *net present value*, alla scadenza del contratto, ovvero al settimo anno, è uguale a €4,085,874.86 per il cogeneratore da 600kW e €4,463,616.23 per quello da 800kW; la Fig. 3.10 riporta l'andamento del valore attuale netto in funzione del tempo negli anni di durata del contratto. Il tempo di ritorno (*TR*), o *pay back time*, è in entrambi i casi di poco superiore ad un anno e mezzo, precisamente 1.59 e 1.64 anni. Il tasso interno di rendimento (*TIR*), o *internal rate of return*, è pari al 64.36% per il cogeneratore da 600kW e 62.06% per quello da 800kW; la Fig. 3.11 riporta l'andamento del valore attuale netto in funzione del tasso di sconto reale. Si trascurino gli interventi di manutenzione straordinaria e si calcoli il rapporto costi-benefici (*RCB*), o *benefit-cost ratio*, il quale è pari a 3.97 nel primo caso e 3.84 nel secondo caso.

Dal punto di vista finanziario il cogeneratore da 800kW garantisce un flusso di cassa maggiore del 10.50%

	600kW [€]	800kW [€]	Δ [%]
Canone del Multiservizio Tecnologico Integrato	793,405.82	793,405.82	0.00%
Energia elettrica prodotta da cogenerazione	856,269.84	988,581.1454	15.45%
Titoli di Efficienza Energetica	162,240.00	187,720.00	13.55%
TOTALE RICAVI	1,811,915.66	1,969,706.97	8.71%
Acquisto di combustibile	-575,022.18	-611,625.91	6.37%
Manutenzione programmata	-125,640.00	-145,775.00	16.03%
Gestione e conduzione	-126,275.12	-126,275.12	0.00%
TOTALE COSTI	-826,937.30	-883,676.03	6.86%
Imposta erariale su combustibile	-15,425.08	-15,120.09	-1.98%
Addizionale regionale su combustibile	-7,464.16	-7,271.86	-2.58%
Imposta erariale su energia elettrica	-48,071.98	-53,694.41	11.70%
TOTALE IMPOSTE	-70,961.22	-76,086.36	4.40%
PROFITTO	914,017.14	1,009,944.28	10.50%

Tabella 3.20: Conto economico previsionale dei due cogeneratori e variazione percentuale del cogeneratore da 800kW rispetto a quello da 600kW.

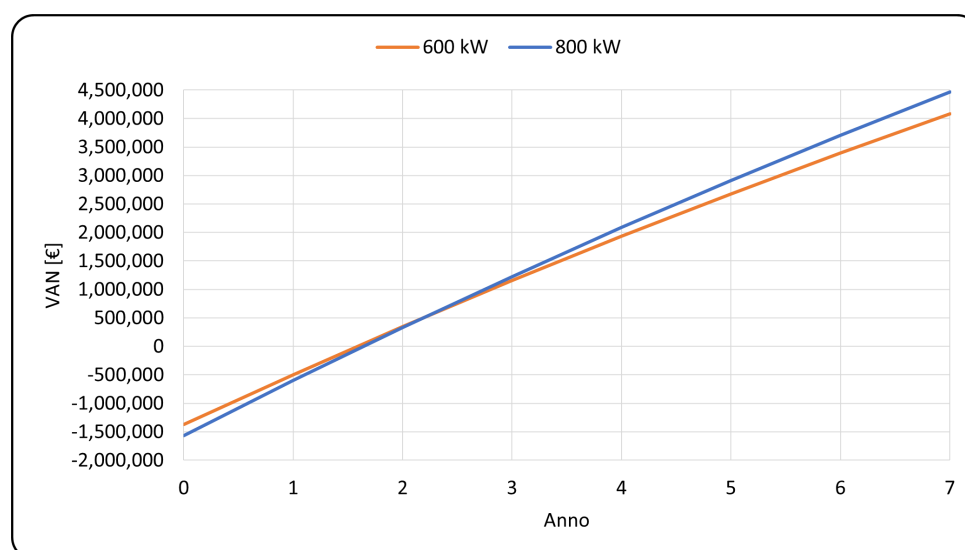


Figura 3.10: Valore attuale netto in funzione del tempo per i due cogeneratori.

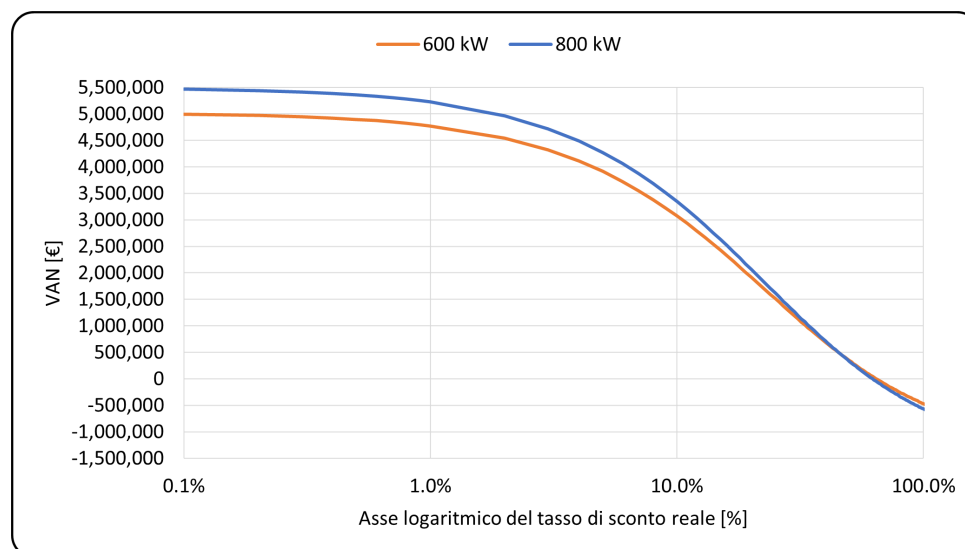


Figura 3.11: Valore attuare netto in funzione del tasso di sconto reale per i due cogeneratori.

a fronte di un investimento iniziale superiore del 14.21%. Dal punto di vista economico i due investimenti sono sostanzialmente equivalenti in quanto il valore attuale netto dell'impianto di taglia maggiore è superiore all'altro solo dell'9.25%. Dopo 2.17 anni l'impianto di taglia maggiore risulta maggiormente profittevole dell'altro. I tempi di ritorno delle due alternative molto prossimi tra loro e nettamente inferiori al cut-off della durata del contratto. I tassi interni di rendimento sono sufficientemente alti e garantiscono il ritorno dell'investimento anche in caso di aumento del costo medio ponderato del capitale, o *Weighted Average Cost of Capital (WACC)*; inoltre, nonostante il cogeneratore da 600kW abbia un *TIR* leggermente superiore, l'impianto di taglia maggiore garantisce un *VAN* più alto per tassi di sconto reali minori o uguali a 45.51% e quindi in tutti gli scenari più probabili. Infine, i rapporti costi-benefici sono simili tra loro e nettamente maggiori di 1. Inoltre, come anticipato in Par. 3.3.4, il cogeneratore da 800kW soddisfa completamente le quote I_{CRE} e I_{CREE} a differenza dell'altra alternativa. Si conclude che anche per la ESCo l'alternativa più profittevole è costituita dal cogeneratore da 800kW e dal refrigeratore ad assorbimento da 568kW.

Conclusioni

Il presente lavoro è stato svolto in collaborazione con *Edison Facility Solutions S.p.A.* grazie alla borsa di studio rilasciata da *Edison S.p.A.* in memoria dell'Ing. Lodovico Priori. In sintesi, lo scopo del progetto consiste nel caratterizzare i fabbisogni di energia termica delle strutture ospedaliere in modo da permettere una stima preliminare dei consumi di combustibile a partire da un numero ridotto di informazioni. La seconda parte del lavoro si focalizza sul dimensionamento di un impianto di trigenerazione presso l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli in seno al bando *MIES 2*.

Panoramica sul settore ospedaliero Nel Cap. 1 è stata offerta una panoramica dell'ambito di interesse. Il consumo energetico degli ospedali è circa tre volte superiore a quello del settore residenziale in analoghe condizioni climatiche [2]; in Germania un solo posto letto ospedaliero consuma annualmente una quantità di energia termica pari a quella di due case monofamiliari [41]. Questi dati sottolineano quanto una corretta gestione degli impianti di produzione e interventi di efficientamento energetico possano incidere sul bilancio energetico ed economico della struttura. Gli impieghi di energia negli ospedali sono divisi in consumi di tipo alberghiero e consumi di processo. Questa ripartizione rende subito chiara la natura “ibrida” delle strutture ospedaliere in relazione al fabbisogno di energia termica. Il consumo termico di un edificio residenziale è strettamente correlato alle condizioni climatiche (in particolare ai gradi giorno invernali); se non sono installate pompe ad assorbimento per la climatizzazione, esso è pressapoco nullo nella stagione estiva. Un ospedale, invece, presenta un fabbisogno di energia termica tutt'altro che trascurabile in estate. Le strutture ospedaliere costituiscono quindi una categoria di intersenzione tra il settore residenziale e quello industriale. Nel Par. 1.3 e nei successivi sono state descritte le principali utenze termiche, ovvero riscaldamento e climatizzazione ambientale, produzione di acqua calda sanitaria, servizio di sterilizzazione, servizio di disinfezione e servizio di cucina. In questa sede si riassumono i punti salienti. Il riscaldamento e la climatizzazione ambientale coprono un'aliquota tra il 45% e il 60% del fabbisogno di energia termica [11] [12] [13] al fine di garantire sia lo standard igienico-sanitario sia il comfort degli occupanti. La produzione di acqua calda sanitaria varia tra 130 e 150 $\frac{l}{letto \cdot giorno}$ secondo la Norma UNI 9182, ma questa portata si riduce negli ospedali di ultima costruzione [23] [24]. Il servizio di sterilizzazione costituisce un'attività critica e, in quanto tale, è svolta nella quasi totalità dei casi all'interno delle strutture ospedaliere [8]. Esso può richiedere energia termica sotto forma di vapore, gas naturale ed energia elettrica in proporzioni variabili a seconda del metodo di sterilizzazione, degli sterilizzatori e dal tipo di gestione scelti. Il servizio di disinfezione mira all'eliminazione delle forme microbiche da effetti personali, letterecci e biancheria. Diversamente dal servizio di sterilizzazione, in più della metà dei casi si ricorre a lavanderie esterne [8]; tuttavia, considerando che la produzione di biancheria sporca si aggira normalmente su $1.5-2 \frac{kg}{letto \cdot giorno}$ [33], la quota di fabbisogno termico destinata al servizio di disinfezione,

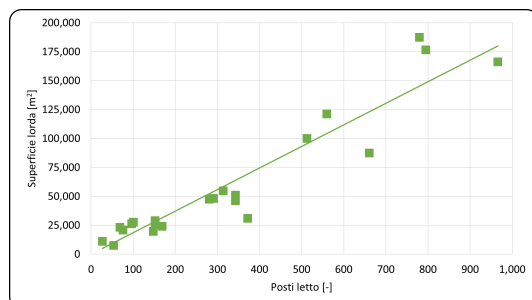
se internalizzato, è considerevole. Vanno aggiunte le attività di pulizia, in cui si fa uso di generatori di vapore, e quelle di prevenzione del rischio di legionellosi, tra le quali la prescrizione di una temperatura d'erogazione dell'acqua calda sanitaria costantemente superiore ai 50°C [34]. Il servizio di cucina è svolto nell'80% dei casi all'interno delle strutture ospedaliere [8]. Il fabbisogno di energia primaria per questa attività ammonta al 10% del totale [4].

Nel Par. 1.4 sono stati presentati il ruolo di una *Energy Service Company* e il bando di gara europea *MIES 2* per l'affidamento di un Multiservizio Tecnologico Integrato con fornitura di Energia per gli edifici in uso, a qualsiasi titolo, alle Pubbliche Amministrazioni Sanitarie. Il contratto stipulato tramite la presente convenzione può essere inquadrato come una specifica applicazione dei contratti di rendimento energetico (*EPC*), in particolare di quelli di tipo *First Out*. La *ESCO* realizza con mezzi economico-finanziari propri o di terzi interventi volti all'efficientamento di un sistema energetico di proprietà di un altro soggetto beneficiario. Essa si occupa di progettazione, realizzazione, gestione e manutenzione dell'intervento e si assume il rischio tecnico, finanziario e giuridico. La remunerazione avviene tramite un canone annuo prefissato e gli obiettivi di risparmio energetico, così come il conseguimento dei Titoli di Efficienza Energetica (*TEE*), aumentano il margine di profitto della *ESCO*. Eventuali nuovi impianti installati sono di proprietà dell'Amministrazione Contraente, la quale alla scadenza del contratto è libera di stipularne un altro con la migliore *ESCO* offerente. Si conclude che l'ospedale può usufruire degli interventi di riqualificazione energetica senza le necessità di reperire il capitale d'investimento e di ammortizzare la relativa immobilizzazione materiale.

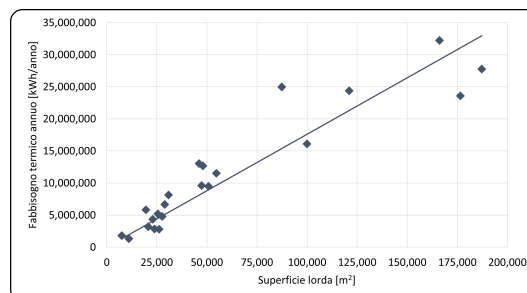
Analisi statistica Nel Cap. 2 è stata condotta un'analisi statistica su un campione di strutture ospedaliere che la *ESCO Edison Facility Solutions S.p.A.* ha messo a disposizione. Il campione non è omogeneamente distribuito sulla penisola italiana, infatti tutti gli ospedali si trovano nel nord Italia ad eccezione dell'Ospedale Di Summa – Perrino di Brindisi. A seguito di opportune considerazioni si ritiene di poter estendere i risultati di questo lavoro all'intero parco di strutture ospedaliere italiane, tuttavia si consiglia di ripetere il presente studio con un campione tratto da un piano sperimentale completamente casualizzato.

I risultati affermano che il fabbisogno termico annuo è strettamente correlato sia alla superficie lorda sia al numero totale di posti letto della struttura, i quali sono strettamente correlati tra loro [39] [40] [41]. Quest'ultima indicazione è stata fondamentale perché non ha permesso di sviluppare un modello previsionale multivariabile. Pertanto si sono confrontati due modelli di regressione lineare monovariabile, uno tra il fabbisogno termico annuo e la superficie lorda, l'altro tra il fabbisogno termico annuo e il numero di posti letto e in entrambi i casi il coefficiente di determinazione è superiore a 0.9.

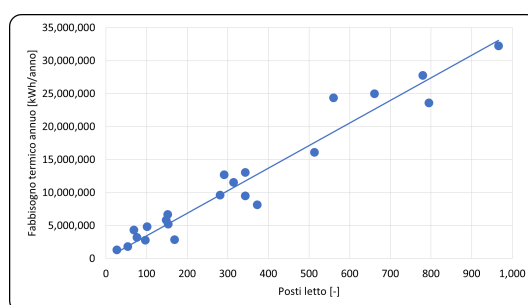
Successivamente è stata svolta un'analisi di varianza affinché potessero essere esaminate altre fonti di variabilità. Il fabbisogno termico annuo è stato normalizzato rispetto sia alla superficie lorda sia al numero di posti letto e si è dimostrato con il test di Anderson–Darling che questi *KPIs* sono variabili aleatorie con distribuzione di probabilità normale. Sono stati considerati come fonti di variabilità il numero medio annuo di gradi giorno invernali, il numero medio annuo di gradi giorno estivi e la provincia di appartenenza. Svolgendo l'analisi di varianza a tre vie per entrambi i *KPIs* e assumendo un valore di significatività pari al 5%, non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla H_0 di effetto trascurabile dei fattori sulla media di ciascuna delle variabili aleatorie. Questa conclusione è concorde con gli esiti degli studi di Gonzalez e altri [39] [40] [41], dai quali emerge che né in Spagna né in Extremadura, una regione sud-orientale



(a) Regressione lineare tra superficie lorda e numero di posti letto.

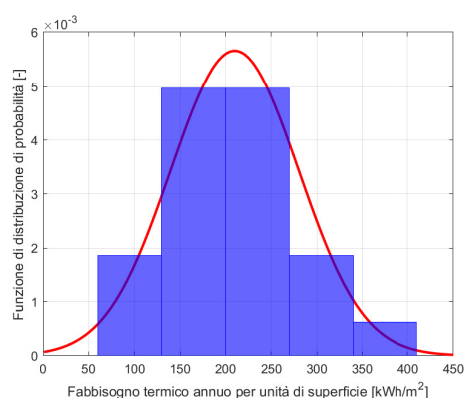


(b) Regressione lineare tra fabbisogno termico annuo e superficie lorda.

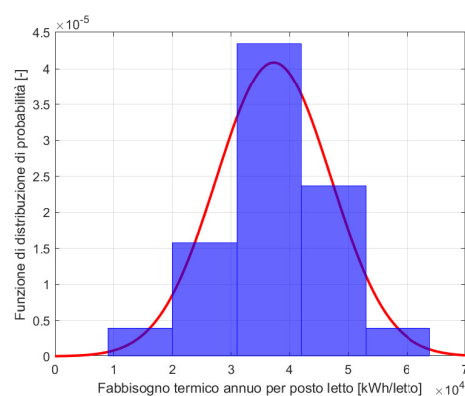


(c) Regressione lineare tra fabbisogno termico annuo e numero di posti letto.

Modelli di regressione lineare.



(a) Funzione di distribuzione di probabilità del fabbisogno termico annuo per unità di superficie lorda.



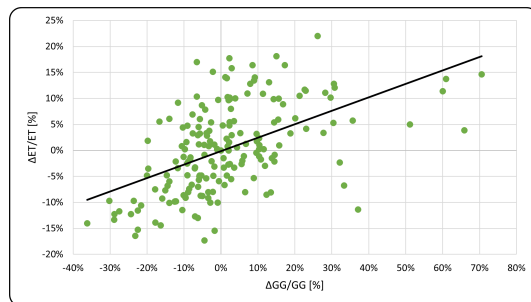
(b) Funzione di distribuzione di probabilità del fabbisogno termico annuo per posto letto.

Funzioni di distribuzione di probabilità per $\frac{ET}{SL}$ e $\frac{ET}{PL}$ e confronto con le rispettive funzioni di distribuzione di probabilità normale.

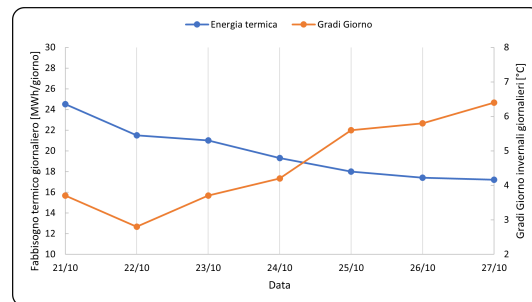
della Spagna, né in Germania sussiste una correlazione tra fabbisogno termico annuo e zona climatica. Per comprendere al meglio il risultato dell'analisi di varianza si riportano delle opportune considerazioni. Innanzitutto l'unico *outlier* è l'Ospedale Luini Confalonieri per quanto riguarda il fabbisogno termico annuo per posto letto in Fig. 2.6b, mentre l'ospedale di Brindisi non è in alcun caso un *outlier*, nonostante sia il solo ospedale del campione a trovarsi nella zona climatica *C*. In secondo luogo confrontando il fabbisogno termico annuo per unità di superficie dei settori residenziale e ospedaliero emerge che nel primo caso esso aumenta con i gradi giorno, mentre nel secondo caso non è possibile trarre conclusioni di tale sorta. Inoltre normalizzare il fabbisogno termico per unità di superficie rispetto ai gradi giorno invernali riduce la deviazione standard relativa nel caso del settore residenziale, viceversa in quello del settore ospedaliero. Si è concluso che, nonostante l'aliquota del fabbisogno termico annuo degli ospedali destinata al riscaldamento sia considerevole, non si ha sufficiente evidenza statistica per affermare che la zona climatica abbia un effetto non trascurabile nella determinazione di un riferimento per futuri progetti e nella valutazione della gestione energetica di questi edifici.

Nel Par. 2.3 i modelli previsionali sono stati testati e confrontati sull'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli. Si conclude che il modello provvisorio migliore è quello in funzione della superficie lorda [Eq. 2.3b] perché è affetto da un errore minore e richiede in ingresso un dato pressoché immutabile nel tempo. Infatti, mentre il numero di posti letto può essere sovente soggetto a modificazioni da parte dell'amministrazione sanitaria, la superficie lorda resta costante nel tempo a meno di infrequenti modificazioni strutturali. Inoltre si ricorda che nel caso dell'ospedale di Vercelli la centrale termica serve anche la palazzina degli uffici, la quale ha un fabbisogno termico di tipo residenziale e non svolge alcuna funzione prettamente sanitaria: di conseguenza il numero di posti letto risulta poco adatto a descrivere efficacemente il sistema complessivo. Si fa notare che l'errore della stima effettuata tramite l'Eq. 2.3b non è costante nel tempo perché il fabbisogno termico varia di anno in anno in funzione sia delle condizioni meteorologiche sia del carico di lavoro, come dettagliato nel Par. 2.4 e nella successiva sezione delle Conclusioni. Quindi l'obiettivo di questo lavoro non può consistere nel determinare accuratamente anno dopo anno il fabbisogno termico della struttura ma nel fornire un valore di riferimento sia per valutare la gestione energetica del sistema edificio/impianto sia per avere una prima approssimazione per ospedali morfologicamente simili. Infine si segnala che lo studio di García-Sanz-Calcedo e altri [40] su un campione di centri medici di superficie compresa tra 500 e 3,500m² in Extremadura propone un modello simile, in particolare un modello di regressione quadratico tra il fabbisogno termico annuo e la superficie lorda.

Considerazioni e futuri sviluppi Il difficile periodo storico durante il quale questo lavoro è stato svolto non ha permesso di proseguire l'analisi. Per questo nel Par. 2.4 sono state riportate alcune considerazioni valevoli di successivo approfondimento. Ad oggi, nella conduzione ordinaria degli impianti termici delle singole strutture ospedaliere è di comune uso la regressione lineare con un singolo regressore, che, a causa dell'incidenza preponderante del riscaldamento invernale sul fabbisogno totale di energia termica, è il numero di gradi giorno invernali. Tuttavia la previsione è affetta da un errore statistico dovuto a variabili che sono omesse dal modello di regressione ma che influenzano il fabbisogno di energia termica. L'omissione di queste variabili fa sì che lo stimatore b_0 abbia un valore considerevole non correlato alla fonte di variabilità esaminata e, talvolta, può portare ad una distorsione dello stimatore b_1 . Una delle possibili soluzioni consiste nell'utilizzo di un modello di regressione multivariabile. Al fine di proporre i migliori regressori sono state effettuate alcune considerazioni sugli ospedali di Vercelli, Busto Arsizio e



(a) Regressione lineare tra variazioni percentuali rispetto al giorno precedente di fabbisogno termico e numero di gradi giorno nella stagione termica 2019–2020 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

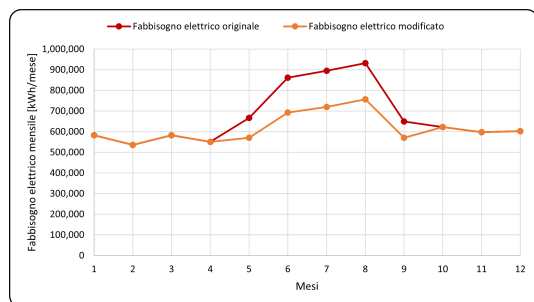


(b) Fabbisogno termico e numero di gradi giorno invernali giornalieri nella settimana dal 21 ottobre 2019 al 27 ottobre 2019 per l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli.

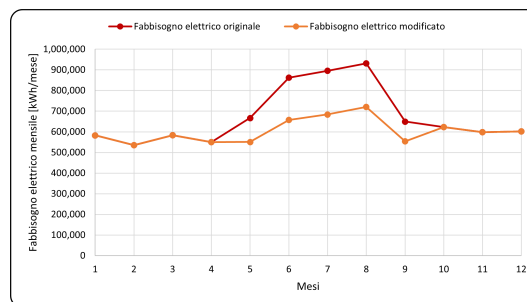
Tradate. In particolare si fa notare in questa sede che nel caso dell'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli la variazione rispetto al giorno precedente del fabbisogno termico non è strettamente correlata alla stessa variazione del numero di gradi giorno invernali: nel 31.15% dei giorni del periodo considerato le variazioni di fabbisogno e gradi giorno sono discordi e solitamente il sabato e la domenica si registrano fabbisogni minori rispetto alla media settimanale e non correlati alle condizioni meteorologiche. Ciò è confermato dal coefficiente di correlazione (0.5651) e dal coefficiente di determinazione (0.2707) tra la variazione percentuale di fabbisogno termico $\frac{\Delta ET}{ET}$ e la variazione percentuale di gradi giorno invernali $\frac{\Delta GG}{GG}$ rispetto al giorno precedente. Inoltre si riporta a mo' di esempio la settimana dal 21 ottobre 2019 al 27 ottobre 2019 in cui il fabbisogno termico giornaliero decresce mentre il numero di gradi giorno invernali giornaliero aumenta. Si è pertanto concluso che sia interessante sviluppare un modello di regressione rispetto al numero di gradi giorno invernali e al numero di giorni di degenza.

Dimensionamento del trigeneratore Il Cap. 3 si è occupato del dimensionamento di un impianto trigenerativo presso l'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli. La tecnologia cogenerativa scelta è il motore a combustione interna. Questo intervento di riqualificazione energetica è stato proposto dalla *ESCO* in seno al bando *MIES 2* [37]. L'ente ospedaliero ha fornito come riferimento il fabbisogno elettrico orario e le letture mensili di fornitura del gas naturale dell'anno 2017. Nessuna modificazione impiantistica e gestionale è stata da allora effettuata, quindi i dati possono essere considerati rappresentativi. Il dimensionamento è stato effettuato ad inseguimento elettrico. L'analisi della curva di potenza elettrica oraria cumulata ha suggerito di effettuare un'analisi di sensitività, pertanto si è scelto di confrontare due taglie, un cogeneratore da 600kW con un assorbitore da 470kW e un cogeneratore da 800kW con un assorbitore da 568kW. Entrambi i cogeneratori rientrano nella definizione di cogenerazione ad alto rendimento, pertanto sono stati presi in considerazione i vantaggi che tale definizione comporta, in particolare il rilascio dei Titoli di Efficienza Energetica e la defiscalizzazione del combustibile. È stata poi valutata la profittabilità economica del servizio di ritiro dedicato con esito negativo. Infine sono stati calcolati il canone totale annuo del Multiservizio Tecnologico Integrato per il contratto di durata di 7 anni e i costi d'investimento iniziale.

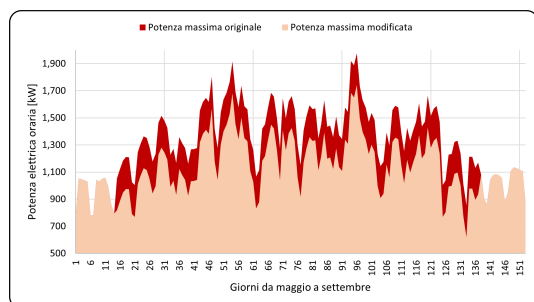
Lo studio si è concluso con la scelta dell'impianto di taglia maggiore. Si rimanda al Par. 3.3.5 per una disamina più approfondita, mentre in questa sede si riportano i motivi salienti della scelta. L'impianto di taglia maggiore consente di ottenere un risparmio di energia primaria superiore (522.269tep contro



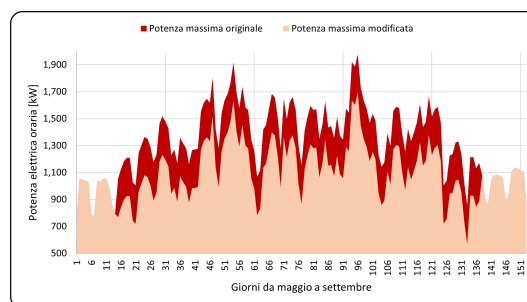
(a) Cogeneratore 600kW – Confronto tra il fabbisogno elettrico ante operam e quello post operam.



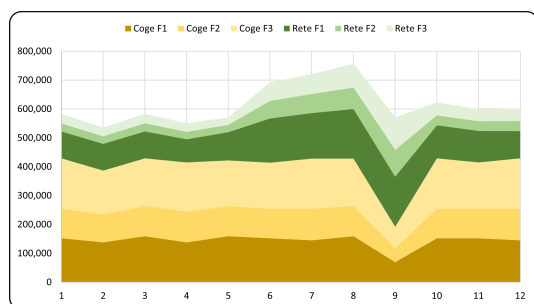
(b) Cogeneratore 800kW – Confronto tra il fabbisogno elettrico ante operam e quello post operam.



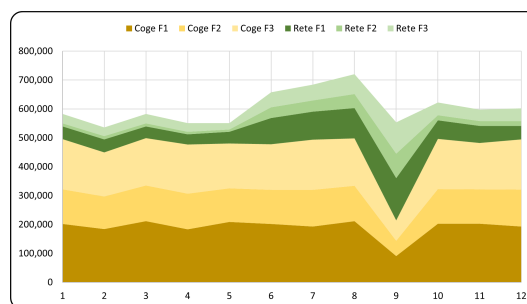
(c) Cogeneratore 600kW – Variazione della massima potenza elettrica oraria assorbita giornalmente.



(d) Cogeneratore 800kW – Variazione della massima potenza elettrica oraria assorbita giornalmente.

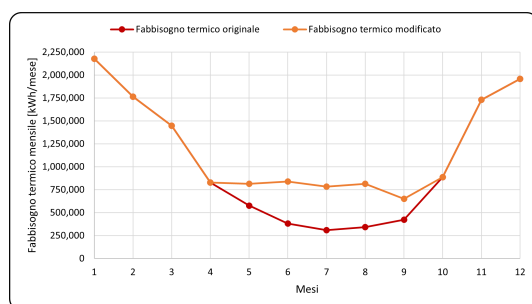


(e) Cogeneratore 600kW – Ripartizione del fabbisogno elettrico mensile tra cogeneratore e prelievo dalla rete.

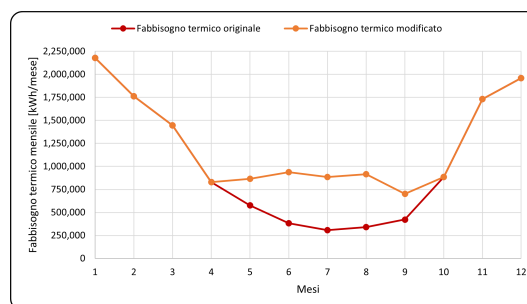


(f) Cogeneratore 800kW – Ripartizione del fabbisogno elettrico mensile tra cogeneratore e prelievo dalla rete.

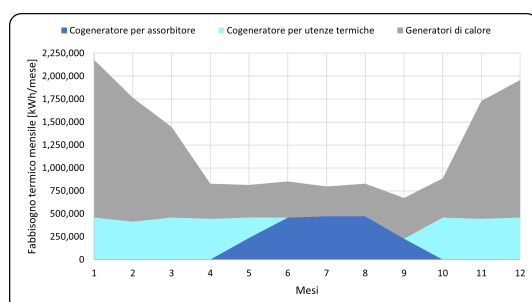
Confronto tra i due impianti trigenerativi in relazione al fabbisogno elettrico.



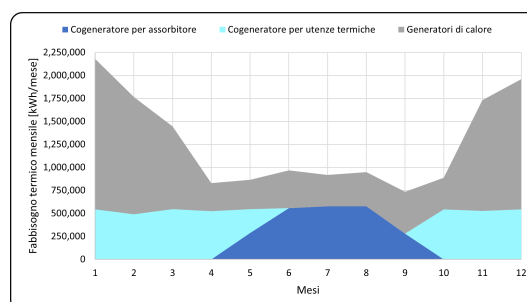
(a) Cogeneratore 600kW – Confronto tra il fabbisogno termico ante operam e quello post operam.



(b) Cogeneratore 800kW – Confronto tra il fabbisogno termico ante operam e quello post operam.



(c) Cogeneratore 600kW – Ripartizione del fabbisogno termico mensile tra cogeneratore e generatori di calore. In blu è riportata la quota di energia termica in ingresso al refrigeratore ad assorbimento.

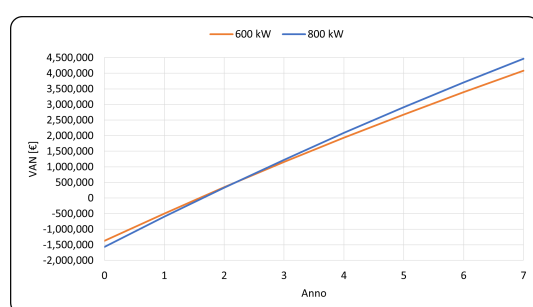


(d) Cogeneratore 800kW – Ripartizione del fabbisogno termico mensile tra cogeneratore e generatori di calore. In blu è riportata la quota di energia termica in ingresso al refrigeratore ad assorbimento.

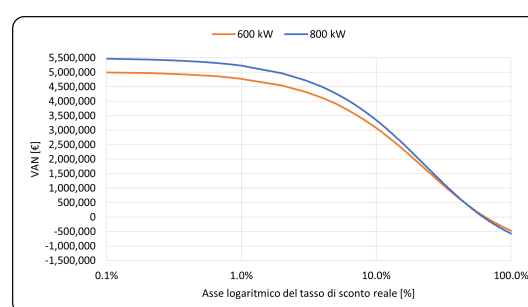
Confronto tra i due impianti trigenerativi in relazione al fabbisogno termico.

	600kW	800kW	Δ
<i>EU</i>	87.90%	87.83%	-0.08%
<i>PES</i>	30.87%	30.58%	-0.91%
<i>TEE</i>	622	722	15.66%
Profitto annuo [$\frac{\text{€}}{\text{anno}}$]	914,017.14	1,009,944.58	10.50%
Investimento [€]	1,376,333.99	1,571,859.45	14.21%
Valore attuale netto a 7 anni [€]	4,085,874.86	4,463,616.23	9.25%
Rapporto costi–benefici	3.97	3.84	-3.25%
Tempo di ritorno [anni]	1.59	1.64	3.47%
Tasso interno di rendimento	64.36%	62.06%	-3.57%

Confronto tra i due impianti trigenerativi in relazione a indici di prestazione e a risultati economico–finanziari.



(a) Valore attuale netto in funzione del tempo per i due impianti trigenerativi.



(b) Valore attuale netto in funzione del tasso di sconto reale per i due impianti trigenerativi.

Confronto tra i due impianti trigenerativi in relazione al valore attuale netto.

451.566tep) e, in particolare, permette all'amministrazione sanitaria di conseguire un risparmio economico più consistente grazie alla maggiore quantità di energia elettrica risparmiata per mezzo dell'assorbitore (835,573kWh contro 691,257kWh) e grazie alla più alta percentuale del fabbisogno elettrico (76.78% contro 65.20%) soddisfatta tramite cogenerazione e quindi ad un prezzo inferiore rispetto alla media del mercato. La scelta dell'impianto di taglia maggiore è giustificata anche dall'analisi di redditività per la ESCo. A fronte di un incremento del 3.83% del costo orario netto di produzione di energia elettrica si ha un decremento del 22.13% del corrispondente costo specifico [Tab. 3.18]. I due investimenti prospettano risultati economico–finanziari simili, ma il cogeneratore da 800kW si conferma ancora una volta essere preferibile all'altro in quanto permette di ottenere alla scadenza del contratto un VAN maggiore per tassi di sconto reali minori di 45.51%, ovvero in tutti gli scenari più probabili. Inoltre l'impianto di taglia maggiore soddisfa completamente le quote I_{CRE} e I_{CREE} [37] a differenza dell'altra alternativa. Questa analisi ha confermato la validità energetica ed economica dell'intervento sia per l'ente ospedaliero sia per la ESCo.

Bibliografia

- [1] Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione generale per l'approvvigionamento, l'efficienza e la competitività energetica, *"Relazione annuale sull'efficienza energetica – Risultati conseguiti e obiettivi al 2020"*, aprile 2020.
- [2] F. Belcastro, D. Di Santo, G. Fasano, *"Indici di benchmark di consumo per diverse tipologie di edificio e all'applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani negli edifici ospedalieri"*, ENEA, Report RdS/2010/196.
- [3] B. Kaiser, P. D. Eagan, H. Shaner, *"Solutions to Health Care Waste: Life-Cycle Thinking and Green Purchasing"*, Environmental Health Perspectives, 2001.
- [4] Energy Information Administration, *"International Energy Outlook 2006"*, U.S. Department of Energy, giugno 2006.
- [5] M. Pinzone, E. Lettieri, C. Masella, *"Proactive Environmental Strategies in Healthcare Organisations: Drivers and Barriers in Italy"*, Journal of Business Ethics, 2015.
- [6] CADDET – Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies, *"Saving Energy with Energy Efficiency in Hospitals"*, www.certh.gr/dat/834E8024/file.pdf, 1997.
- [7] M. Carpinelli, S. Macagno, *"Il monitoraggio energetico delle strutture sanitarie regionali"*, IRES Piemonte, Contributo di ricerca 272/2018, 2018.
- [8] Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia, *"Indagine sull'uso dell'energia negli ospedali. Indagine sulla dimensione e consistenza degli impianti"*, fire-italia.org/indagine-sulluso-dellenergia-negli-ospedali-indagine-dimensione-consistenza-degli-impianti, 2011.
- [9] D.P.R. 14 gennaio 1997, *"Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento alle regioni e alle province autonome di Trento e di Bolzano, in materia di requisiti strutturali, tecnologici ed organizzativi minimi per l'esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture pubbliche e private"*, 20 febbraio 1997.
- [10] G.K. Alexis, P. Liakos, *"A case study of a cogeneration system for a hospital in Greece. Economic and environmental impacts"*, Applied Thermal Engineering, 2013.
- [11] J. Bujak, *"Heat consumption for preparing domestic hot water in hospitals"*, Energy and Buildings 42 (2010) 1047–1055, 2010.
- [12] C. Shen, K. Zhao, J. Ge, Q. Zhou, *"Analysis of Building Energy Consumption in a Hospital in the Hot Summer and Cold Winter Area"*, 10th International Conference on Applied Energy (ICAE2018), China, 2018.

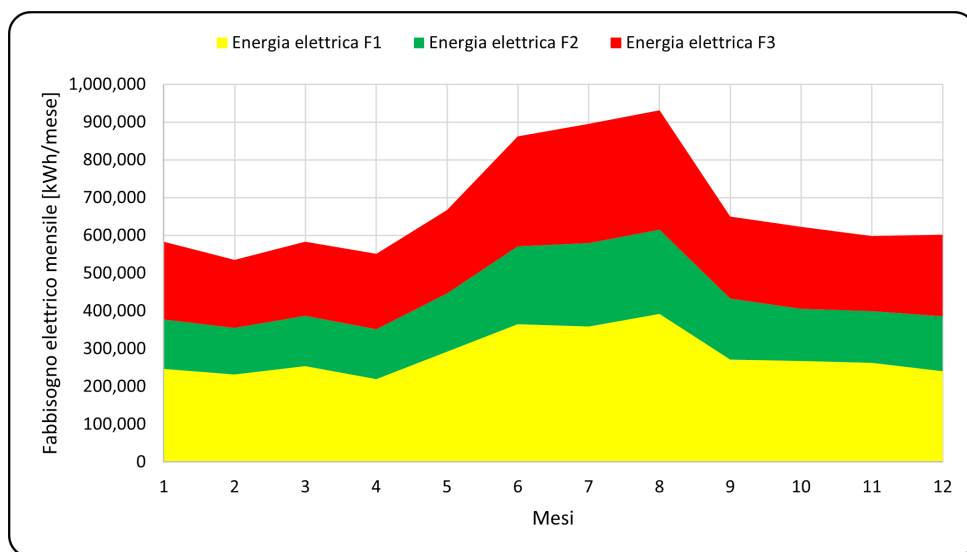
-
- [13] D. D'Alessandro, M. Coppola, P. Chiarello, "*Energy consumption in Hospitals: preliminary results of the ICEOs Project*", Proceedings of Clima 2007 WeelBeing Indoors, 2007.
- [14] R. Kameel, E. Khalil, "*Thermal comfort VS air quality in air-conditioned healthcare applications*", 36th AIAA thermophysics conference 2003, 2003.
- [15] L.G. Berglund, "*Comfort and humidity*", ASHRAE Journal 1998:35–40, agosto 1998.
- [16] J.E. Liviana, F.H. Rohles, P.E. Bullock, "*Humidity comfort and contact lenses*", ASHRAE Transactions 1988;94(1):3–110, 1988.
- [17] C.A. Balaras, E. Dascalaki, A. Gaglia, "*HVAC and indoor thermal comfort conditions in hospital operating rooms*", Energy and Building 2007;39:454–70, 2007.
- [18] ASHRAE, "*Chapter seven: healthcare facilities*", ASHRAE HVAC Applications Handbook, 2003.
- [19] Victorian Government Department of Health, "*Guidelines for water reuse and recycling in Victorian health care facilities. Non-drinking application.*", 2009.
- [20] D. D'Alessandro, P. Tedesco, A. Rebecchi, S. Capolongo, "*Water use and water saving in Italian hospitals. A preliminary investigation*", Ann. Ist. Super. Sanità 2016, Vol. 52, No. 1: 56–62, 2016.
- [21] K.S. Werner-Verlag, "*GmbH, Sanitare Haustechnik, Dusseldorf*", 1981.
- [22] P.D. Bourkas, "*Applications of Installations in Hospitals*", National Technical University of Athens, 1999.
- [23] J.S. Katsanis, P.G. Halaris, G.N. Malahias, P.D. Bourkas, "*Estimation of energy consumption in hospitals*", Proceedings of the Fifth IASTED International Conference "Power and Energy Systems", Benalmadena, Spain, 2005.
- [24] J.S. Katsanis, P.G. Halaris, P.T. Tsarabaris, G.N. Malahias, P.D. Bourkas, "*Estimation of energy consumption for domestic hot water in hospitals*", Series on Energy and Power Systems 2006 1–7, 2006.
- [25] Polish Ordinance, "*The Ordinance by the Minister of Infrastructure on technical requirements for buildings and their location*", 2008.
- [26] S. J. Dancer, M. Stewart, C. Coulombe, A. Gregori, M. Viridi, "*J. Hosp. Infect. 2012, 81 (4), 231 – 238*", DOI: doi.org/10.1016/j.jhin.2012.04.023, 2012.
- [27] ISO 17665-1:2006, "*Sterilization of Health Care Products – Moist Heat – Part 1: Requirements for the Development, Validation and Routine Control of a Sterilization Process for Medical Devices*", International Organization for Standardization, Vernier, Geneva, 2006.
- [28] M. Feurhuber, P. Buriana, M. Magnob, M. Mirandab, C. Hochenauera, "*Development of a spatially and timely resolved CFD model of a steam sterilizer to predict the load temperature and the theoretical inactivation of bacteria based on sterilization parameters*", Physics in Medicine, 2019.
- [29] M. Feurhuber, A. Cattide, M. Magno, M. Miranda, R. Prieler, "*Appl. Therm. Eng. 2017, 127, 1391 – 4103*", DOI: doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.085, 2017.
-

-
- [30] S. P. Denyer, R. M. Baird, *“Guide to Microbiological Control in Pharmaceuticals and Medical Devices, II Edition”*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.
- [31] C. L. Case, *“Microbiology: An Introduction. The Control of Microbial Growth.”*, Copyright ©Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings, 2006.
- [32] R. Lombardi, S. Tarchiani, P. Nuti, *“Criteri di indirizzo per la gestione del rischio biologico in una lavanderia industriale”*, Istituto Superiore per la Prevenzione E la Sicurezza del Lavoro.
- [33] B. Cacciapuoti, M. Castellani Pastoris, *“Il problema della lavanderia negli ospedali”*, Ann. Ist. Super. Sanità, 1973.
- [34] Ministero della Salute, *“Linee guida per la prevenzione ed il controllo della legionellosi”*, Pubblicazione in Gazzetta Ufficiale il 5 maggio 2000.
- [35] W. Babalola, *“Managing Quality Hospital Foodservice Delivery Framework: Analysis of Systems and Introducing the Steamplicity Concept”*, Annual Hospitality, Industrial and Institutional Catering Conference, 2016.
- [36] Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia, *“Cosa sono le ESCo (Energy Service Company)”*, fire-italia.org/cose-e-come-opera-una-esco-energy-service-company/.
- [37] CONSIP S.p.A., *“Documentazione Bando di gara MIES 2, Allegato 5 – Capitolato Tecnico”*, www.consip.it/bandi-di-gara/gare-e-avvisi/gara-mies-2, 2014.
- [38] Ministero della Salute, *“Dataset sui posti letto delle strutture ospedaliere pubbliche ed equiparate”*, www.dati.salute.gov.it/dati/dettaglioDataset.jsp?menu=dati&idPag=18.
- [39] A. Gonzalez, J. García-Sanz-Calcedo, D.R. Salgado, *“A quantitative analysis of final energy consumption in hospitals in Spain”*, Sustainable Cities and Society 36 (2018) 169–175, 2018.
- [40] J. García-Sanz-Calcedo, F. López-Rodríguez, F. Cuadros, *“Quantitative analysis on energy efficiency of health centers according to their size”*, Energy and Buildings, 73, 7–12, 2014.
- [41] A. Gonzalez, J. García-Sanz-Calcedo, D.R. Salgado, *“Evaluation of Energy Consumption in German Hospitals: Benchmarking in the Public Sector”*, Energies, 2018.
- [42] P. Cesaratto, M. De Carli, *“Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti”*, ENEA – Report RdS/2010/188, 2010.
- [43] ARERA – Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente, *“Testo Unico ricognitivo della Produzione elettrica (TUP)”*, 6 ottobre 2020.
- [44] F. Crudele, D. Pagliarulo, L. Bianco, F. Fileti, E. Luciano, *“Impiego Industriale dell'Energia – Capitolo 5, La Cogenerazione”*, 2019.
- [45] GSE – Gestore dei Servizi Energetici, *“Guida alla Cogenerazione ad Alto Rendimento – Aggiornamento dell'edizione 1”*, marzo 2018.
-

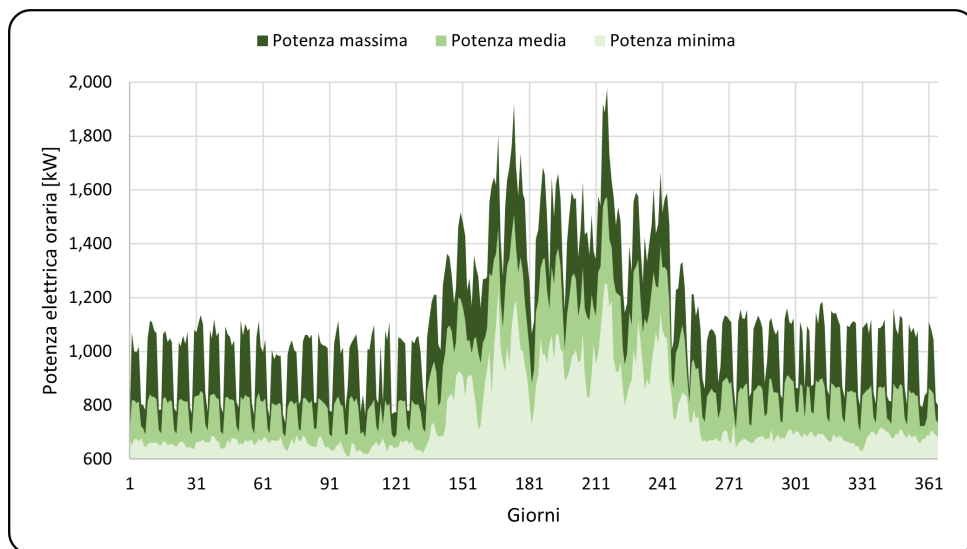
-
- [46] Parlamento e Consiglio Europei, *“Direttiva sulla promozione della cogenerazione basata su una domanda di calore utile nel mercato interno dell’energia e che modifica la direttiva 92/42/CEE”*, 11 febbraio 2004.
- [47] Commissione Europea, *“Regolamento delegato che rivede i valori di rendimento di riferimento armonizzati per la produzione separata di energia elettrica e di calore in applicazione della direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio e che abroga la decisione di esecuzione 2011/877/UE della Commissione”*, 12 ottobre 2015.
- [48] Ministero dello Sviluppo Economico, *“Allegato II al Decreto 4 agosto 2011 – Integrazioni al decreto legislativo 8 febbraio 2007, n. 20, di attuazione della direttiva 2004/8/CE sulla promozione della cogenerazione basata su una domanda di calore utile sul mercato interno dell’energia, e modificativa della direttiva 92/42/CE.”*, 2011.
-

Appendice A

Nella presente Appendice è riportato il fabbisogno orario di energia elettrica dell'Ospedale Sant'Andrea di Vercelli con suddivisione in fasce elettriche $F1$, $F2$, $F3$ in base ai colori giallo, verde e rosso.



Fabbisogno elettrico mensile dell'Ospedale di Vercelli nell'anno 2017.



Andamento di potenza elettrica oraria minima, media e massima giorno per giorno per l'Ospedale di Vercelli nell'anno 2017.

giorno	Ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
domenica 1 gennaio 2017		669.0	699.0	679.5	669.0	669.0	672.0	690.0	711.0	717.0	706.5	681.0	744.0	702.0	694.5	686.5	672.0	684.0	766.0	762.0	741.0	715.5	697.5	679.5	670.0
lunedì 2 gennaio 2017		690.0	685.5	661.5	657.0	651.0	679.0	730.5	832.5	960.0	1002.0	1012.5	1071.0	1008.0	958.5	922.5	883.5	858.0	901.5	837.0	783.0	730.0	729.0	720.0	687.0
martedì 3 gennaio 2017		684.0	673.5	700.5	732.0	717.0	715.5	763.5	865.5	976.5	964.5	963.0	1000.5	960.0	940.5	922.5	864.0	837.0	885.0	832.5	772.5	730.5	732.0	717.0	694.5
mercoledì 4 gennaio 2017		678.0	675.0	678.0	691.5	699.0	693.0	732.0	829.5	955.5	988.5	988.5	996.0	955.5	921.0	910.5	865.5	831.0	886.0	810.0	765.0	744.0	730.5	690.0	676.5
giovedì 5 gennaio 2017		667.5	670.5	669.0	684.0	694.5	693.0	745.5	831.0	927.0	954.0	993.0	1017.0	970.5	961.5	912.0	855.0	829.5	894.0	853.5	801.0	760.5	735.0	712.5	681.0
venerdì 6 gennaio 2017		685.5	681.0	679.5	679.5	694.5	708.0	709.5	732.0	744.0	750.0	742.5	781.5	723.0	711.0	721.5	736.5	715.5	804.0	751.5	732.0	736.5	718.5	698.5	682.5
sabato 7 gennaio 2017		679.5	687.0	705.0	703.5	700.5	702.0	717.0	726.0	726.0	723.0	742.5	789.0	744.0	706.5	690.0	688.5	715.5	802.5	751.5	723.0	705.0	697.5	679.5	661.5
domenica 8 gennaio 2017		652.5	651.0	658.5	651.0	642.0	646.5	678.0	703.5	716.5	693.0	700.5	763.5	718.5	702.0	682.5	679.5	691.5	783.0	750.0	715.5	685.5	676.5	676.5	679.5
lunedì 9 gennaio 2017		664.5	655.5	663.0	689.0	669.0	655.5	696.0	817.5	964.5	1009.5	1026.0	1050.0	1015.5	973.5	957.0	928.5	828.0	834.0	849.0	808.5	750.0	714.0	690.0	681.0
martedì 10 gennaio 2017		679.5	661.5	667.5	687.0	688.5	693.0	735.0	834.0	1003.5	1036.5	1063.5	1113.0	1099.5	1053.0	1002.0	965.5	886.5	889.5	840.0	789.0	751.5	718.5	687.0	661.5
mercoledì 11 gennaio 2017		660.0	664.5	675.0	664.5	664.5	669.0	732.0	843.0	988.5	1042.5	1050.0	1111.5	1071.0	1026.0	1000.5	940.5	876.0	879.0	844.5	775.5	742.5	711.0	687.0	678.0
giovedì 12 gennaio 2017		666.0	673.5	673.5	664.5	661.5	667.5	727.5	843.0	981.0	994.5	1033.5	1078.5	1074.0	1042.5	985.5	924.0	889.5	916.5	856.5	783.0	738.0	706.5	691.5	669.0
venerdì 13 gennaio 2017		669.0	661.5	679.5	682.5	672.0	678.0	708.0	843.0	969.0	1024.5	1039.5	1068.0	1033.5	1015.5	960.0	876.0	828.0	880.5	867.0	792.0	735.0	691.5	690.0	688.5
sabato 14 gennaio 2017		664.5	652.5	661.5	667.5	679.5	670.5	687.0	724.5	736.5	732.0	733.5	783.0	729.0	697.5	711.0	702.0	696.0	781.5	762.0	745.5	733.5	702.0	670.5	660.0
domenica 15 gennaio 2017		663.0	658.5	675.0	670.5	651.0	655.5	685.5	708.5	766.0	693.0	690.0	750.0	717.0	690.0	682.5	675.0	687.0	784.5	781.5	739.5	708.0	691.5	672.0	670.5
lunedì 16 gennaio 2017		682.5	673.5	669.0	666.0	667.5	684.0	718.5	817.5	961.5	996.0	1038.0	1063.5	1002.0	988.5	931.5	906.0	879.0	904.5	859.5	804.0	756.0	721.5	714.0	688.5
martedì 17 gennaio 2017		669.0	666.0	675.0	681.0	696.0	679.5	735.0	820.5	955.5	1020.0	1077.0	1075.5	1044.0	1005.0	981.0	934.5	861.0	894.0	830.0	784.5	757.5	718.5	685.5	678.0
mercoledì 18 gennaio 2017		670.0	670.5	673.5	680.0	655.5	652.5	708.0	847.5	966.0	967.5	973.5	1035.0	991.5	958.5	921.0	879.0	844.5	912.0	829.5	778.5	736.0	696.0	694.5	697.5
giovedì 19 gennaio 2017		663.0	654.0	657.0	661.5	676.5	676.5	732.0	814.5	951.0	1003.5	1027.5	1048.5	993.0	973.5	958.5	901.5	838.5	889.5	850.5	804.0	763.5	726.0	696.0	676.5
venerdì 20 gennaio 2017		682.5	682.5	681.0	664.5	663.0	658.5	712.5	837.0	967.5	940.5	993.0	1035.0	1012.5	969.0	922.5	876.0	859.5	904.5	841.5	792.0	748.5	712.5	693.0	672.0
sabato 21 gennaio 2017		658.5	651.0	666.0	672.0	667.5	658.5	681.0	721.5	745.5	735.0	747.0	789.0	733.5	718.5	699.0	688.5	696.0	783.0	780.0	742.5	715.5	687.0	682.5	673.5
domenica 22 gennaio 2017		660.0	652.5	646.5	655.5	660.0	654.0	673.5	696.0	717.0	711.0	688.5	742.5	688.5	708.0	702.0	684.0	693.0	775.5	748.5	732.0	720.0	712.5	673.5	670.5
lunedì 23 gennaio 2017		661.5	669.0	678.0	663.0	660.0	661.5	718.5	852.0	984.0	1000.5	1017.0	1035.0	1026.0	961.5	925.5	874.5	849.0	891.0	870.0	790.5	727.5	699.0	703.5	680.0
martedì 24 gennaio 2017		676.5	666.0	669.0	700.5	700.5	690.0	745.5	843.0	985.5	1015.5	1020.0	1020.0	1000.5	981.0	949.5	880.5	834.0	880.5	853.5	789.0	748.5	735.0	709.0	676.5
mercoledì 25 gennaio 2017		675.0	669.0	669.0	666.0	669.0	688.5	735.0	850.5	951.0	976.5	997.5	1059.0	1017.0	961.5	943.5	882.0	823.5	873.0	885.0	792.0	739.5	705.0	679.0	661.5
giovedì 26 gennaio 2017		681.0	663.0	661.5	649.5	664.5	669.0	712.5	828.0	943.5	979.5	1015.5	1027.5	1011.0	967.5	936.0	892.5	859.5	892.5	858.0	805.5	757.0	702.0	676.5	669.0
venerdì 27 gennaio 2017		676.0	678.0	661.5	643.5	652.5	652.5	702.0	822.0	949.5	1012.5	1042.5	1072.5	1029.0	972.0	961.5	906.0	843.0	879.0	834.0	774.0	733.5	715.5	667.0	664.0
sabato 28 gennaio 2017		655.5	664.0	676.5	660.0	646.5	657.0	672.0	715.5	747.0	741.0	733.5	790.5	736.5	733.5	723.0	706.5	703.5	783.0	751.5	742.5	726.0	693.0	667.5	655.5
domenica 29 gennaio 2017		654.0	661.5	669.0	646.5	639.0	643.5	663.0	705.0	718.5	697.5	703.5	747.0	715.5	708.5	693.0	684.0	690.0	762.0	767.5	741.0	705.0	675.0	663.0	647.0
lunedì 30 gennaio 2017		672.0	640.5	646.5	639.0	646.5	655.5	718.5	831.0	975.0	1033.5	1062.0	1080.0	1042.5	1008.0	978.0	949.5	898.5	910.5	855.0	799.0	748.5	730.5	706.5	690.0
martedì 31 gennaio 2017		671.0	669.0	679.5	690.0	687.0	676.5	729.0	837.0	990.0	1008.0	1017.0	1071.0	1066.5	1021.5	990.0	930.0	864.0	930.0	885.0	795.0	742.5	715.5	693.0	696.0
mercoledì 1 febbraio 2017		693.0	663.0	667.5	666.0	675.0	688.5	738.0	847.5	972.0	1014.0	1066.0	1108.5	1063.5	1002.0	984.0	924.0	873.0	913.5	856.5	787.5	745.5	706.5	702.0	700.5
giovedì 2 febbraio 2017		676.0	673.5	667.5	667.5	673.5	696.0	738.0	847.5	1002.0	1056.0	1089.0	1135.5	1098.0	1045.5	1020.0	978.0	928.5	946.5	866.5	784.5	747.0	715.5	709.5	705.5
venerdì 3 febbraio 2017		682.5	672.0	679.5	672.0	678.0	690.0	756.0	864.0	1020.0	1048.5	1062.0	1101.0	1096.5	1068.0	1012.5	952.5	879.0	918.0	852.0	789.0	726.0	697.5	684.0	682.5
sabato 4 febbraio 2017		670.5	663.0	670.5	667.5	669.0	678.0	712.5	736.5	754.5	771.0	781.5	845.0	781.5	756.0	732.0	730.5	732.0	795.0	790.0	762.0	732.0	712.5	682.0	676.0
domenica 5 febbraio 2017		670.5	661.5	663.0	664.5	663.0	667.5	699.0	709.5	720.0	726.0	724.5	769.5	736.5	718.5	718.5	708.0	708.0	775.5	750.0	730.5	715.5	693.0	675.5	672.0
lunedì 6 febbraio 2017		676.5	663.0	670.5	670.5	669.0	672.0	730.5	844.5	1006.5	1038.0	1069.5	1080.0	1039.5	1011.0	961.5	903.0	910.5	901.5	871.5	795.0	760.5	730.5	709.0	702.0
martedì 7 febbraio 2017		693.0	687.0	694.5	687.0	687.0	694.5	738.0	867.0	978.0	996.0	1023.0	1048.5	1029.0	994.5	963.0	922.5	877.5	922.5	909.0	817.5	762.0	733.5	712.5	703.5
mercoledì 8 febbraio 2017		697.5	688.5	685.5	684.0	685.5	687.0	739.5	861.0	972.0	1023.0	1066.0	1119.0	1060.5	1035.0	999.0	925.5	880.5	918.0	850.5	805.5	739.5	714.0	706.5	685.5
giovedì 9 febbraio 2017		681.0	669.0	681.0	673.5	679.5	682.5	754.5	853.5	978.0	1021.0	1035.0	1057.5	1045.5	993.0	951.0	925.5	855.0	895.5	850.0	789.0	733.5	705.0	681.0	676.5
venerdì 10 febbraio 2017		667.5	669.0	667.5	664.5	672.0	678.0	742.5	837.0	981.0	1032.0	1051.5	1071.0	1056.0	1038.0	975.0	913.5	837.0	864.0	840.0	763.5	711.0	682.5	670.5	666.0
sabato 11 febbraio 2017		649.5	637.5	657.0	649.0	655.5	657.0	678.0	706.5	733.5	750.0	753.0	799.0	762.0	724.5	727.5	699.0	702.0	762.0	753.0	724.5	702.0	670.5	667.5	664.0
domenica 12 febbraio 2017		655.5	649.5	645.0	652.5	640.5	654.0	678.0	693.0	706.0	714.0	717.0	766.5	717.0	697.5	696.0	688.5	706.5	771.0	741.0	727.5	706.0	685.5	666.0	660.0
lunedì 13 febbraio 2017		658.5	651.0	652.5	645.0	642.0	649.5	726.0	832.5	987.0	1020.0	1050.0	1093.5	1066.5	1027.5	1000.5	925.5	873.0	906.0	864.0	805.5	739.5	705.0	688.5	682.5
martedì 14 febbraio 2017		670.5	672.0	665.5	676.5	679.5	682.5	735.0	858.0	975.0	984.0	1023.0	1063.5	1048.5	1002.0	949.0	919.5	868.5	903.0	879.0	810.0	759.0	715.5	702.0	696.0
mercoledì 15 febbraio 2017		681.0	679.5	657.0	697.5	676.5	679.5	744.0	843.0	949.5	975.0	1014.													

giorno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
sabato 1 aprile 2017	649.5	646.5	648.0	649.5	639.0	648.0	681.0	696.0	703.5	705.0	709.5	781.5	744.0	729.0	705.0	694.5	696.0	774.0	732.0	717.0	702.0	666.0	667.5	660.0
domenica 2 aprile 2017	655.5	639.0	643.5	637.5	633.0	636.0	667.5	688.5	700.5	700.5	718.5	775.5	724.5	697.5	675.0	684.0	697.0	739.5	717.0	702.0	693.0	678.0	666.0	654.0
lunedì 3 aprile 2017	639.0	642.0	636.0	640.5	636.0	634.5	697.5	810.0	916.5	957.0	988.5	1030.5	1002.0	972.0	934.5	955.5	903.0	873.0	829.5	774.0	721.5	700.5	696.0	673.5
martedì 4 aprile 2017	658.5	655.5	663.0	651.0	660.0	670.5	729.0	822.0	915.0	1017.0	1053.0	1078.5	984.0	961.5	1009.5	919.5	865.5	921.0	862.5	811.5	747.0	696.0	688.5	678.0
mercoledì 5 aprile 2017	666.0	652.5	658.5	658.5	660.0	661.5	717.0	849.0	945.0	1023.0	1084.5	1114.5	1069.5	1030.5	1011.0	934.5	870.0	883.5	843.0	774.0	756.0	717.0	714.0	705.0
giovedì 6 aprile 2017	685.5	672.0	675.0	675.0	679.5	694.5	744.0	829.5	942.0	936.0	955.5	991.5	961.5	933.0	907.5	859.5	855.0	922.5	856.5	759.0	715.5	697.5	679.5	667.5
venerdì 7 aprile 2017	672.0	657.0	652.5	649.5	643.5	652.5	715.5	798.0	922.5	942.0	973.5	1015.5	1011.0	937.5	877.5	960.0	861.0	874.5	828.0	732.0	718.5	685.5	664.5	655.5
sabato 8 aprile 2017	645.0	639.0	624.0	646.5	621.0	645.0	675.0	664.5	705.0	703.5	705.0	768.0	723.0	711.0	703.5	700.5	708.0	783.0	750.0	721.5	703.5	679.5	673.5	654.5
domenica 9 aprile 2017	648.0	643.5	637.5	636.0	610.5	645.0	661.5	660.0	669.0	699.0	709.5	756.0	699.0	711.0	696.0	690.0	724.5	862.5	802.5	784.5	738.0	672.0	663.0	667.5
lunedì 10 aprile 2017	652.5	642.0	645.0	612.0	643.5	639.0	703.5	816.0	898.5	939.0	961.5	1014.0	999.0	1003.5	955.5	1003.5	949.5	1003.5	918.0	862.5	823.5	745.5	685.5	679.5
martedì 11 aprile 2017	678.0	664.5	669.0	664.5	660.0	660.0	720.0	820.5	922.5	937.5	960.0	1014.0	1002.0	982.5	966.0	960.0	973.5	1035.0	943.5	867.0	804.0	720.0	708.0	678.0
mercoledì 12 aprile 2017	670.5	667.5	678.0	670.5	667.5	657.0	708.0	826.5	933.0	961.5	999.0	1048.5	1008.0	981.0	964.5	889.5	840.0	901.5	846.0	762.0	732.0	703.5	688.5	678.0
giovedì 13 aprile 2017	661.5	660.0	633.0	657.0	625.5	660.0	711.0	771.0	916.5	927.0	976.5	1033.5	1008.0	1014.0	1065.0	1006.5	969.0	997.5	913.5	831.0	724.5	709.5	696.0	676.5
venerdì 14 aprile 2017	669.0	660.0	639.0	663.0	634.5	661.5	700.5	784.5	888.0	921.0	946.5	994.5	984.0	942.0	912.0	870.0	874.5	936.0	856.5	792.0	717.0	681.0	667.5	648.0
sabato 15 aprile 2017	646.5	645.0	637.5	642.0	633.0	640.5	678.0	679.5	696.0	685.5	721.5	774.0	744.0	742.5	727.5	717.0	709.5	766.5	735.0	709.5	705.0	693.0	663.0	655.5
domenica 16 aprile 2017	651.0	651.0	643.5	622.5	643.5	649.5	643.5	661.5	654.0	675.0	680.0	760.5	736.5	714.0	727.5	787.5	777.0	840.0	799.5	772.5	766.5	705.0	660.0	655.5
lunedì 17 aprile 2017	651.0	643.5	619.5	651.0	625.5	645.0	664.5	667.5	708.0	672.0	717.0	762.0	688.5	697.5	678.0	681.0	694.5	753.0	736.5	690.0	699.0	682.5	666.0	657.0
martedì 18 aprile 2017	649.5	618.0	654.0	654.0	633.0	657.0	670.5	808.5	883.5	934.5	942.0	1011.0	976.5	958.0	904.5	868.5	816.0	865.5	762.0	741.0	694.5	705.0	660.0	661.5
mercoledì 19 aprile 2017	667.5	651.0	655.5	663.0	628.5	645.0	705.0	780.0	916.5	945.0	988.5	1002.0	1005.0	984.0	948.0	874.5	829.5	874.5	777.0	744.0	687.0	703.5	670.5	679.5
giovedì 20 aprile 2017	666.0	655.5	648.0	646.5	645.0	648.0	705.5	801.0	927.0	973.5	996.0	1063.5	1014.0	987.0	921.0	871.5	822.0	880.5	825.0	765.0	706.5	729.0	697.0	689.5
venerdì 21 aprile 2017	679.5	665.5	688.5	666.0	663.0	676.5	726.0	810.0	945.0	1020.0	1021.5	1099.5	1044.0	1003.5	952.5	903.0	865.5	888.0	847.5	762.0	724.5	729.0	694.5	685.5
sabato 22 aprile 2017	680.0	676.5	690.0	726.0	694.0	733.5	679.5	666.0	706.5	678.0	714.0	757.5	720.0	702.0	733.5	747.0	756.0	823.5	784.5	733.0	720.0	696.0	703.5	675.5
domenica 23 aprile 2017	661.5	688.5	660.0	660.0	688.5	669.0	679.5	648.0	679.5	654.5	680.0	738.0	693.0	696.0	738.5	742.5	759.0	808.5	778.5	750.0	728.5	714.0	699.0	669.0
lunedì 24 aprile 2017	669.0	688.5	666.0	672.0	673.5	660.0	744.0	789.0	913.5	948.0	979.5	1023.0	985.5	938.5	928.5	889.5	850.5	873.0	850.5	783.0	739.5	739.5	717.0	699.0
martedì 25 aprile 2017	690.0	687.5	691.5	721.5	699.0	682.5	726.0	676.5	723.0	684.5	738.5	774.0	752.0	716.0	738.0	648.5	718.5	808.5	746.0	763.5	751.5	729.0	697.5	709.5
mercoledì 26 aprile 2017	693.0	688.5	702.0	681.0	703.5	691.5	733.5	828.0	957.0	965.0	1033.5	1077.0	1059.0	975.0	973.5	915.0	840.0	855.0	835.5	745.5	736.5	682.5	687.0	652.5
giovedì 27 aprile 2017	669.0	633.0	654.0	627.0	654.0	630.0	709.5	792.0	966.0	1002.0	1015.5	1041.0	1017.0	967.5	943.5	870.0	835.5	826.5	828.0	736.5	720.0	682.5	672.0	662.5
venerdì 28 aprile 2017	688.5	663.0	682.5	652.5	669.0	682.5	717.0	807.0	940.5	987.0	1003.5	1108.5	1062.0	1017.0	957.0	867.0	807.0	832.5	795.0	721.5	669.0	681.0	675.0	658.5
sabato 29 aprile 2017	651.0	667.5	661.5	673.5	663.0	696.0	678.0	658.5	694.5	675.0	696.0	768.5	697.5	705.5	712.5	694.5	703.5	760.5	741.0	708.0	697.5	690.0	664.5	661.5
domenica 30 aprile 2017	646.5	640.0	655.5	640.5	640.5	643.5	687.0	666.0	670.5	654.0	654.0	732.0	691.0	669.0	688.5	684.0	687.0	774.0	738.0	718.5	712.5	697.5	673.5	664.5
lunedì 1 maggio 2017	651.0	658.5	678.0	654.0	663.0	676.5	676.5	686.5	697.5	703.5	686.0	774.0	706.5	720.5	718.5	705.0	698.5	760.5	720.0	691.5	684.0	690.0	655.5	645.5
martedì 2 maggio 2017	649.5	645.0	661.5	666.0	684.0	666.0	694.5	792.0	915.0	1011.0	1018.5	1051.5	966.0	960.0	951.0	907.5	862.5	901.5	871.5	798.0	726.0	714.0	703.5	699.0
mercoledì 3 maggio 2017	681.0	670.5	678.0	696.0	673.5	682.5	727.5	825.0	966.0	1002.0	1015.5	1048.5	1003.5	945.0	958.5	888.0	876.0	888.0	841.5	772.0	750.0	723.0	693.0	679.5
giovedì 4 maggio 2017	688.5	673.5	684.0	660.0	666.0	696.0	709.5	817.5	954.0	981.0	1017.0	1038.0	987.0	964.5	933.0	904.5	859.5	883.5	843.0	757.5	754.5	706.5	697.5	688.5
venerdì 5 maggio 2017	694.5	679.5	676.5	669.0	682.5	694.5	697.5	811.5	955.5	951.0	978.0	1030.5	981.0	955.5	949.5	912.0	870.0	892.0	849.0	763.0	733.0	739.5	714.0	706.5
sabato 6 maggio 2017	699.0	669.0	714.0	697.5	712.5	693.0	703.5	735.0	726.0	753.0	730.5	781.5	744.0	727.5	727.5	724.5	718.5	777.0	757.5	733.5	703.5	699.0	703.5	682.5
domenica 7 maggio 2017	675.0	684.5	661.5	657.0	672.0	676.5	678.0	678.0	706.0	720.0	685.5	760.5	673.5	667.5	712.5	706.5	717.0	780.0	767.5	735.0	726.0	723.0	706.5	696.0
lunedì 8 maggio 2017	669.0	687.0	682.5	667.5	688.5	675.0	715.5	840.0	933.0	970.5	979.5	1042.5	1020.0	990.0	997.5	919.5	880.5	906.0	850.5	769.5	741.0	720.0	691.5	673.5
martedì 9 maggio 2017	664.5	660.0	672.0	670.5	660.0	646.5	693.0	804.0	913.5	927.0	979.5	1030.5	1006.5	987.0	970.5	919.5	853.5	895.5	841.5	754.5	724.5	708.0	681.0	679.5
mercoledì 10 maggio 2017	663.0	637.5	633.0	649.5	637.5	649.5	691.5	804.0	940.5	994.0	1032.5	1051.5	1038.0	979.5	943.0	891.0	844.5	861.0	799.5	745.5	714.0	691.5	678.0	664.5
giovedì 11 maggio 2017	663.0	654.0	645.0	642.0	649.5	636.0	699.0	801.0	928.5	973.5	1002.0	1057.5	1032.0	996.0	960.0	909.0	861.0	868.5	826.5	766.0	721.5	691.5	676.0	666.0
venerdì 12 maggio 2017	666.0	658.5	633.0	655.5	642.0	655.5	676.0	775.5	901.5	912.0	925.5	997.5	940.5	931.5	885.0	840.0	799.5	838.5	790.5	748.5	702.0	693.0	679.5	663.0
sabato 13 maggio 2017	640.0	642.0	658.5	666.0	652.5	624.0	665.0	661.5	681.0	712.0	733.5	807.0	763.5	739.5	730.5	756.0	784.5	864.0	819.0	756.0	741.0	709.5	707.0	663.0
domenica 14 maggio 2017	657.0	656.0	648.0	640.5	640.5	649.5	659.5	648.0	669.0	697.5	703.5	781.5	747.0	732.0	727.5	726.0	729.0	793.5	775.5	741.0	726.0	700.5	694.5	684.0
lunedì 15 maggio 2017	667.0	674.5	663.0	658.5	658.5	658.5	699.0	805.5	907.5	952.5	966.0	1050.0	1045.5	1051.5	1053.0	1008.0	966.0	1017.0	946.5	885.0	835.5	825.0	769.5	754.0
martedì 16 maggio 2017	747.0	742.5	723.0	697.5	682.5	679.5	711.0	808.5	930.0	969.0	1057.5	1123.5	1096.5	1092.0	1098.0	1087.5	1011.0	1015.5	999.0	951.0	882.0	874.0	840.0	757.5
mercoledì 17 maggio 2017	772.5	745.5																						

giorno	Ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
sabato 1 luglio 2017		798.0	799.5	795.0	756.0	787.5	729.0	796.5	748.5	847.5	858.0	873.0	936.0	949.5	951.0	969.0	949.5	966.0	1066.5	1017.0	939.0	916.5	903.0	892.5	891.0
domenica 2 luglio 2017		883.5	871.5	865.5	849.0	816.0	784.5	792.0	826.0	841.5	828.0	825.5	1008.5	881.0	990.0	996.0	1005.0	1029.0	1114.5	1051.5	1033.5	1008.0	878.0	952.5	955.5
martedì 4 luglio 2017		975.0	936.0	931.5	928.5	913.5	915.0	961.5	1092.0	1236.0	1287.0	1314.0	1441.5	1452.0	1425.0	1410.0	1380.0	1351.5	1386.0	1300.5	1222.5	1198.0	1173.0	1143.0	1129.5
mercoledì 5 luglio 2017		1128.0	1116.0	1093.5	1072.5	1048.5	1050.0	1072.5	1194.0	1348.5	1389.0	1469.5	1522.5	1536.0	1518.0	1575.0	1539.0	1485.5	1528.5	1474.5	1410.0	1362.0	1320.0	1110.0	1056.0
giovedì 6 luglio 2017		1035.0	1032.0	1015.5	993.0	1006.5	988.5	1029.0	1239.0	1438.5	1440.0	1560.0	1666.5	1684.5	1684.5	1647.0	1600.5	1575.0	1594.5	1522.5	1438.5	1371.0	1351.5	1224.0	1082.0
venerdì 7 luglio 2017		1048.5	1039.5	1024.5	1015.5	1014.0	990.0	1047.0	1221.0	1371.0	1447.5	1552.5	1644.0	1657.5	1650.0	1611.0	1588.5	1572.0	1632.0	1593.0	1470.0	1416.0	1324.5	1215.0	1134.0
sabato 8 luglio 2017		1081.5	1024.5	1027.5	1017.0	994.5	957.0	993.0	1026.0	1054.5	1119.0	1164.0	1326.0	1396.0	1389.0	1401.0	1416.0	1425.0	1497.0	1447.5	1428.0	1450.5	1420.5	1296.0	1114.5
domenica 9 luglio 2017		1146.0	1123.5	1041.0	1038.0	1030.5	1032.0	1068.5	1114.5	1180.5	1087.5	1107.0	1198.5	1246.5	1242.0	1236.0	1228.5	1201.5	1275.0	1257.0	1222.5	1201.5	1201.5	1185.0	1173.0
lunedì 10 luglio 2017		1146.0	1117.5	1095.0	1080.0	1065.0	1059.0	1102.5	1207.5	1398.0	1530.0	1584.0	1638.0	1645.5	1627.5	1629.0	1629.0	1546.5	1450.5	1222.5	1258.5	1138.5	1174.5	1195.5	1071.0
martedì 11 luglio 2017		1011.0	991.5	999.0	979.5	973.5	967.5	972.0	1101.0	1317.0	1413.0	1456.5	1497.0	1489.5	1467.0	1467.0	1423.5	1444.5	1411.5	1351.5	1305.0	1272.0	1254.0	1242.0	1212.0
mercoledì 12 luglio 2017		1171.5	1146.0	1131.0	1123.5	1113.0	1080.5	1081.5	1215.0	1359.0	1476.0	1554.0	1608.0	1621.5	1584.0	1585.5	1588.5	1522.5	1543.5	1513.5	1395.0	1327.5	1291.5	1263.0	1242.0
giovedì 13 luglio 2017		1231.5	1200.0	1194.0	1189.5	1093.5	1068.0	1090.5	1203.0	1366.5	1464.0	1582.5	1645.5	1660.5	1630.5	1633.5	1633.5	1563.0	1588.5	1491.0	1408.5	1354.5	1305.0	1300.5	1294.5
venerdì 14 luglio 2017		1252.5	1237.5	1192.5	1008.0	1105.5	1099.5	1066.5	1291.5	1438.5	1468.5	1528.5	1564.5	1534.5	1525.5	1501.5	1447.5	1401.0	1432.5	1356.0	1288.5	1242.0	1215.0	1194.0	1183.5
sabato 15 luglio 2017		1152.0	1140.0	1141.5	1123.5	1035.0	1015.5	1041.0	1068.0	1087.5	1098.0	1161.0	1224.0	1177.5	1182.0	1230.0	1224.0	1233.0	1300.5	1207.5	1162.5	1119.0	1113.0	1093.5	996.0
domenica 16 luglio 2017		981.0	952.5	919.5	925.5	912.0	891.0	901.5	918.0	940.5	967.5	1014.0	1069.5	1090.5	1090.5	1086.0	1099.5	1088.0	1152.0	1128.0	1087.5	1038.0	1006.5	985.5	960.0
lunedì 17 luglio 2017		957.0	939.0	936.0	924.0	903.0	906.0	955.5	1065.0	1215.0	1260.0	1290.0	1335.0	1366.5	1408.5	1374.0	1345.5	1275.0	1308.0	1239.0	1183.5	1090.5	1026.0	1018.5	1005.5
martedì 18 luglio 2017		978.0	954.0	960.0	943.5	928.5	936.0	958.5	1081.5	1234.5	1368.0	1393.5	1504.5	1510.5	1455.0	1459.5	1414.5	1375.5	1408.5	1330.5	1237.5	1150.5	1134.0	1114.5	1076.5
mercoledì 19 luglio 2017		1062.0	1066.5	1072.5	1056.0	1042.5	979.5	1008.0	1104.0	1312.5	1386.0	1516.5	1584.0	1593.0	1570.5	1558.5	1510.5	1491.0	1492.5	1411.5	1351.5	1240.5	1084.5	1075.5	1095.0
giovedì 20 luglio 2017		1077.0	1011.0	1000.5	999.0	997.5	991.5	1051.5	1203.0	1348.5	1246.5	1373.0	1554.0	1564.5	1537.5	1536.0	1534.5	1471.5	1498.5	1488.0	1399.5	1297.0	1260.0	1144.5	1076.5
venerdì 21 luglio 2017		1110.0	1087.5	1090.5	1036.5	1005.0	1012.5	1098.0	1236.0	1386.0	1417.5	1531.5	1554.0	1570.5	1534.5	1545.0	1471.5	1432.5	1432.5	1371.0	1179.0	1081.5	1093.5	1078.5	1037.0
sabato 22 luglio 2017		1053.0	1042.5	984.0	963.0	961.5	960.0	961.5	999.0	1018.5	1083.0	1180.0	1215.0	1195.5	1246.5	1260.0	1258.5	1275.0	1348.5	1317.0	1270.0	1206.0	1135.5	1161.0	1066.5
domenica 23 luglio 2017		1092.0	1072.5	966.0	987.0	1020.0	1015.5	1014.0	1023.0	1045.5	1071.0	1117.5	1245.0	1260.0	1269.0	1341.0	1363.5	1377.0	1452.0	1429.5	1335.0	1266.0	1222.5	1162.5	1152.0
lunedì 24 luglio 2017		1153.5	1135.5	1134.0	1111.5	1105.5	1071.0	1083.0	1216.5	1366.5	1431.0	1501.5	1629.0	1620.0	1593.0	1587.0	1533.0	1449.0	1476.0	1426.5	1332.0	1266.0	1137.0	1123.5	1086.0
martedì 25 luglio 2017		996.0	987.0	957.0	955.5	933.0	918.0	952.5	1047.0	1173.0	1248.0	1326.0	1434.0	1426.5	1411.5	1372.5	1348.5	1378.5	1410.0	1264.5	1183.5	1138.5	1036.5	1006.5	957.0
mercoledì 26 luglio 2017		949.5	925.5	915.0	838.5	846.0	834.0	874.5	963.0	1143.0	1246.5	1288.5	1339.5	1366.5	1342.5	1444.5	1302.0	1371.0	1347.0	1293.0	1191.0	1156.5	1072.5	1012.5	934.5
giovedì 27 luglio 2017		964.5	921.0	930.0	894.0	828.0	838.5	870.0	964.5	1149.0	1213.5	1270.5	1348.5	1356.0	1323.0	1309.5	1348.5	1323.0	1357.5	1275.0	1159.5	1135.5	1050.0	990.0	976.5
venerdì 28 luglio 2017		961.5	958.5	963.0	963.0	921.0	921.0	942.0	1056.0	1170.0	1237.5	1330.5	1408.5	1461.0	1500.0	1510.5	1494.0	1458.0	1486.5	1419.0	1333.5	1239.0	1194.0	1105.0	1099.5
sabato 29 luglio 2017		1095.0	1045.5	1047.0	1054.5	1045.5	1032.0	1050.0	1078.5	1096.5	1107.0	1182.0	1299.0	1318.5	1302.0	1326.0	1312.5	1303.5	1372.5	1312.5	1219.0	1171.5	1086.0	1047.0	1060.5
domenica 30 luglio 2017		1039.0	1024.5	1029.0	1003.5	996.0	1002.0	954.0	981.0	1102.5	1120.5	1149.0	1233.0	1216.5	1231.5	1237.5	1246.5	1290.0	1342.5	1289.5	1219.5	1192.5	1102.5	1078.5	1051.0
lunedì 31 luglio 2017		1069.0	1041.0	990.0	994.5	997.5	996.0	1047.0	1149.0	1299.0	1414.5	1467.0	1530.0	1575.0	1551.0	1549.5	1521.0	1479.0	1530.0	1449.0	1478.5	1317.0	1282.5	1255.5	1228.5
martedì 1 agosto 2017		1191.0	1176.0	1177.5	1159.5	1131.0	1078.5	1095.5	1123.5	1170.0	1242.0	1329.0	1410.0	1419.0	1444.5	1468.5	1461.0	1476.0	1543.5	1480.5	1453.5	1416.0	1392.0	1377.0	1345.5
mercoledì 2 agosto 2017		1287.0	1231.5	1207.5	1179.0	1177.5	1180.5	1198.5	1324.5	1486.5	1576.5	1684.5	1812.0	1888.5	1920.0	1866.0	1831.5	1794.0	1798.5	1705.5	1644.0	1563.0	1534.5	1501.5	1446.0
giovedì 3 agosto 2017		1368.0	1369.5	1351.5	1306.5	1285.5	1254.0	1278.0	1401.0	1551.0	1612.5	1687.5	1774.5	1813.5	1887.0	1837.5	1813.5	1773.0	1798.5	1764.0	1672.5	1563.0	1528.5	1482.0	1345.5
venerdì 4 agosto 2017		1297.5	1272.0	1260.0	1254.0	1290.0	1285.5	1311.0	1431.0	1572.0	1675.5	1786.5	1851.0	1977.0	1948.5	1953.0	1878.0	1831.5	1816.5	1749.0	1683.0	1569.0	1489.5	1329.0	1249.5
sabato 5 agosto 2017		1222.5	1210.5	1219.5	1197.0	1183.5	1165.5	1203.0	1255.5	1342.5	1369.5	1438.5	1548.0	1482.0	1504.5	1527.0	1548.0	1561.5	1731.0	1671.0	1608.0	1540.5	1534.5	1501.5	1392.5
domenica 6 agosto 2017		1387.5	1381.5	1336.5	1297.5	1279.5	1266.0	1276.5	1282.5	1309.5	1327.5	1374.0	1447.5	1496.5	1512.0	1597.5	1612.5	1630.5	1668.0	1465.0	1386.0	1324.5	1281.0	1227.0	1189.0
lunedì 7 agosto 2017		1050.0	1033.0	1023.0	1014.0	990.0	973.5	987.0	1113.0	1263.0	1337.0	1431.0	1498.5	1564.5	1576.5	1537.5	1494.0	1434.0	1465.5	1375.5	1309.5	1273.5	1228.5	1212.0	1177.0
martedì 8 agosto 2017		1102.5	1125.0	1131.0	1117.5	1092.0	1063.5	1113.0	1218.0	1347.0	1383.0	1419.0	1468.5	1429.5	1398.0	1410.0	1419.0	1369.0	1368.0	1305.0	1093.5	1038.0	1005.5	954.0	928.5
mercoledì 9 agosto 2017		931.5	937.5	925.5	922.5	928.5	928.5	1000.5	1102.5	1224.0	1321.5	1390.5	1473.0	1494.0	1497.0	1534.5	1536.0	1480.5	1503.0	1413.0	1272.0	1126.0	1033.5	1080.0	1066.5
giovedì 10 agosto 2017		1080.0	1015.5	1026.0	1027.5	1008.0	1006.5	1035.0	1074.0	1231.5	1405.5	1441.5	1483.5	1452.0	1348.5	1348.5	1380.0	1369.0	1369.5	1321.5	1191.0	1138.5	1095.0	1050.0	960.0
venerdì 11 agosto 2017		925.5	925.5	922.5	909.0	895.5	878.0	912.0	993.0	1105.5	1107.5	1221.0	1311.5	1206.0	1185.0	1146.0	1075.5	1030.5	1039.5	990.0	931.5	895.5	886.5	865.5	871.5
sabato 12 agosto 2017		858.0	841.5	852.0	843.0	838.5	835.5	829.5	856.5	798.0	904.5	967.0	1024.5	1048.5	1036.5	1107.0	1027.5	1143.0	1131.0	1129.5	1041.0	985.5	963.0	910.0	892.5
domenica 13 agosto 2017		897.0	865.5	852.0	843.0	838.5	835.5	874.5	971.5	888.5	924.0	945.0	1050.0	1057.5	1147.5	1110.0	1143.0	1144.5	1176.0						

data\ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
domenica 1 ottobre 2017	741.0	843.5	669.0	673.5	664.5	684.5	690.0	720.0	714.0	717.0	733.5	784.5	746.5	726.0	712.5	702.0	711.0	780.0	744.0	741.0	732.0	706.5	687.0	678.0
lunedì 2 ottobre 2017	666.0	661.5	670.5	666.0	658.5	672.0	712.5	834.0	990.0	1011.0	1071.0	1108.5	1084.5	1069.5	1023.0	963.0	901.5	934.5	859.5	811.5	760.5	721.5	718.5	690.0
martedì 3 ottobre 2017	682.5	667.5	676.5	675.0	670.5	682.5	735.0	856.5	1008.0	1089.0	1140.0	1156.5	1146.0	1104.0	1071.0	973.5	926.5	946.5	864.0	826.5	765.0	730.5	720.0	691.5
mercoledì 4 ottobre 2017	681.0	672.0	673.5	678.0	673.5	685.5	729.0	858.0	976.5	1051.5	1090.5	1123.5	1105.5	1077.0	1012.5	955.5	906.0	961.5	904.5	831.0	772.5	751.5	729.0	694.5
giovedì 5 ottobre 2017	688.5	678.0	679.5	679.5	682.5	679.5	726.0	846.0	964.5	1030.5	1107.0	1120.5	1062.0	1057.5	1002.0	969.0	981.0	1003.5	952.5	892.5	849.0	802.5	775.5	748.5
venerdì 6 ottobre 2017	750.0	669.0	684.0	685.5	684.0	688.5	735.0	858.0	973.5	1027.5	1056.0	1155.0	1123.5	1134.0	1146.0	1030.5	996.0	1002.0	924.0	880.5	822.0	741.0	724.5	693.0
sabato 7 ottobre 2017	673.5	664.5	672.0	673.5	664.5	676.5	696.0	729.0	732.0	736.5	748.5	822.0	790.5	775.5	777.0	774.0	766.5	831.0	793.5	768.0	723.0	702.0	676.5	676.5
domenica 8 ottobre 2017	669.0	669.0	660.0	663.0	660.0	670.5	694.5	716.0	703.5	706.5	711.0	804.0	759.0	751.5	765.0	768.0	777.0	847.5	799.5	771.0	729.0	712.5	694.5	673.5
lunedì 9 ottobre 2017	676.5	670.5	675.0	681.5	670.5	686.0	720.0	862.5	984.0	1032.0	1039.5	1078.5	1084.5	1075.5	1026.0	991.5	937.5	954.0	891.0	822.0	774.0	732.0	714.0	702.0
martedì 10 ottobre 2017	694.5	682.5	694.5	679.0	681.0	684.0	744.0	859.5	1003.5	1045.5	1105.5	1108.5	1051.5	1030.5	1006.5	951.0	913.5	939.0	933.0	861.0	789.0	751.5	727.5	705.0
mercoledì 11 ottobre 2017	690.0	682.5	688.5	705.0	729.0	729.0	778.5	907.5	1026.0	1072.5	1096.5	1132.5	1099.5	1074.0	1021.5	976.5	943.5	939.0	898.5	841.5	769.5	738.0	717.0	705.0
giovedì 12 ottobre 2017	690.0	682.5	684.0	697.5	724.5	729.0	778.5	900.0	1024.5	1060.5	1060.5	1113.0	1090.5	1050.0	1017.0	988.5	949.5	972.0	928.5	843.0	792.0	738.0	715.5	702.0
venerdì 13 ottobre 2017	696.0	693.0	690.0	696.0	705.0	708.0	753.0	882.0	1000.5	1012.5	1029.0	1087.5	1069.5	1053.0	1026.0	969.0	927.0	973.5	907.5	847.5	778.5	748.5	705.0	693.0
sabato 14 ottobre 2017	687.0	673.5	687.0	690.0	715.5	717.0	747.0	762.0	771.0	745.5	750.0	808.5	778.5	793.5	804.0	805.5	808.5	882.0	835.5	820.5	768.0	748.5	715.5	699.0
domenica 15 ottobre 2017	690.0	684.0	678.0	693.0	706.5	712.5	733.5	754.5	747.0	730.5	730.5	801.0	774.0	790.0	808.5	820.5	831.5	960.0	865.5	847.5	822.0	778.5	754.5	679.5
lunedì 16 ottobre 2017	687.0	678.0	675.0	685.5	706.5	712.5	733.5	710.5	1029.0	1044.0	1059.0	1101.0	1111.5	1101.0	1056.0	1066.5	1056.0	1078.5	993.0	898.5	856.5	807.0	736.5	785.0
martedì 17 ottobre 2017	709.5	727.5	735.0	736.5	774.0	747.0	811.5	892.5	1023.0	1003.5	1104.0	1099.5	1125.0	1074.0	1065.0	1018.5	996.0	1023.0	952.5	885.0	792.0	801.0	717.0	757.5
mercoledì 18 ottobre 2017	693.0	688.5	681.0	687.0	688.5	693.0	741.0	871.5	981.0	1012.5	1041.0	1083.0	1048.5	1015.0	996.0	946.5	903.0	955.5	915.0	840.0	769.5	727.5	715.5	699.0
giovedì 19 ottobre 2017	697.5	684.0	682.5	687.0	688.5	697.5	742.5	870.0	985.0	1011.0	1033.5	1060.5	1062.0	1011.0	981.0	937.5	912.0	958.5	898.5	835.5	787.5	729.0	717.0	703.0
venerdì 20 ottobre 2017	702.0	690.0	697.5	694.5	693.0	699.0	744.0	876.0	1005.0	1030.5	1066.5	1083.0	1068.0	1047.0	993.0	918.0	877.5	888.0	858.0	790.5	745.5	714.0	705.0	690.5
sabato 21 ottobre 2017	681.0	673.5	684.5	711.0	715.5	721.5	739.5	765.0	792.0	787.5	798.0	840.0	784.5	757.5	724.5	727.5	721.5	802.5	766.5	756.0	738.0	717.0	702.0	688.5
domenica 22 ottobre 2017	685.5	682.5	682.5	696.0	715.5	721.5	733.5	748.5	766.5	764.5	753.0	805.5	744.0	730.5	736.0	741.0	762.0	825.0	772.5	766.5	742.5	718.5	696.0	691.5
lunedì 23 ottobre 2017	688.5	679.5	675.0	700.5	723.0	720.0	763.5	900.0	1032.0	1060.5	1093.5	1120.5	1099.5	1059.0	1060.5	1033.5	976.5	997.5	957.0	868.5	808.5	751.5	741.0	715.5
martedì 24 ottobre 2017	693.5	697.5	721.5	756.0	766.5	774.0	825.0	894.0	1030.5	1012.5	1161.0	1128.0	1119.0	1098.0	1081.5	1054.5	1015.5	1048.0	1000.5	924.0	829.5	757.5	751.5	730.5
mercoledì 25 ottobre 2017	723.0	712.5	718.5	744.0	763.5	765.0	814.5	930.0	1062.0	1077.0	1108.5	1105.5	1107.0	1072.5	1051.5	1024.5	985.5	1011.0	964.5	891.0	826.5	772.5	754.5	738.0
giovedì 26 ottobre 2017	729.0	721.5	736.5	751.5	768.0	765.0	808.5	934.5	1053.0	1066.5	1063.5	1102.5	1089.0	1056.0	1032.0	1012.5	973.5	999.0	958.5	909.0	792.0	750.0	717.0	708.0
venerdì 27 ottobre 2017	709.5	691.5	706.5	712.5	729.0	729.0	778.5	903.0	1060.5	1083.0	1066.5	1123.5	1080.0	1041.0	1030.5	978.0	955.5	1011.0	954.0	895.5	850.5	744.0	741.0	726.0
sabato 28 ottobre 2017	715.5	709.5	730.5	741.0	742.5	750.0	763.5	799.5	804.0	787.5	799.0	819.0	760.5	774.0	802.5	802.5	808.5	864.0	847.5	834.0	783.0	733.5	703.5	735.0
domenica 29 ottobre 2017	721.5	709.5	730.5	741.0	742.5	750.0	763.5	799.5	804.0	787.5	799.0	819.0	760.5	774.0	802.5	802.5	808.5	864.0	847.5	834.0	783.0	733.5	703.5	735.0
lunedì 30 ottobre 2017	697.5	690.0	706.5	708.0	729.0	732.0	781.5	898.5	1041.0	1076.5	1074.0	1110.0	1093.5	1048.5	1014.0	946.5	901.5	984.0	927.0	885.0	820.5	769.5	724.5	727.5
martedì 31 ottobre 2017	709.5	692.5	691.5	760.5	738.0	753.0	810.0	912.0	1023.0	1039.5	1059.0	1077.0	1056.0	1030.5	991.5	916.5	906.0	940.5	931.5	859.0	802.5	760.5	733.5	712.5
mercoledì 1 novembre 2017	709.5	696.0	696.0	721.5	738.0	756.0	769.5	772.5	780.0	756.0	763.0	807.0	756.0	750.0	727.5	729.0	738.0	864.0	835.5	815.5	772.0	748.5	703.5	703.5
giovedì 2 novembre 2017	696.0	684.0	687.0	708.0	727.5	738.0	786.0	901.5	1048.5	1053.0	1081.5	1095.0	1063.5	1029.0	1017.0	949.5	909.0	984.0	907.5	861.0	832.5	759.0	717.0	708.0
venerdì 3 novembre 2017	708.0	699.0	696.0	718.5	742.5	763.5	799.5	900.0	1039.5	1056.0	1066.0	1075.5	1024.5	1047.0	946.5	930.0	883.5	970.0	903.0	856.0	793.5	745.5	718.5	709.5
sabato 4 novembre 2017	705.0	712.5	730.5	729.0	732.0	738.0	763.5	781.5	805.5	819.0	831.0	861.0	829.5	820.5	787.5	792.0	793.5	871.5	828.0	801.0	780.0	742.5	712.5	705.5
domenica 5 novembre 2017	694.5	706.5	709.5	715.5	730.5	736.5	763.5	777.0	799.5	793.5	811.5	859.5	802.5	796.0	783.0	778.5	792.0	877.5	814.5	796.5	777.0	733.5	699.0	687.0
lunedì 6 novembre 2017	693.0	682.5	700.5	711.0	714.0	729.0	787.5	906.0	1068.0	1105.5	1137.0	1146.0	1129.5	1096.5	1062.0	1021.5	966.0	1003.5	912.0	841.5	819.0	751.5	720.0	721.5
martedì 7 novembre 2017	703.5	696.0	712.5	732.0	742.5	748.5	796.5	922.5	1033.5	1084.5	1102.5	1101.0	1074.0	1077.0	1015.5	972.0	948.0	988.5	922.5	859.0	790.0	747.0	720.0	714.0
mercoledì 8 novembre 2017	691.5	699.0	693.0	720.0	736.5	744.0	790.0	907.5	1048.5	1087.5	1150.5	1173.0	1156.5	1117.5	1084.5	1020.0	970.5	976.5	928.5	861.0	793.5	747.0	717.0	709.5
giovedì 9 novembre 2017	694.5	692.0	700.5	718.5	744.0	751.5	786.0	913.5	1069.0	1116.0	1129.5	1185.0	1143.0	1101.0	1066.5	1018.5	954.0	994.5	928.5	873.0	817.5	774.0	709.5	706.5
venerdì 10 novembre 2017	702.0	692.0	708.0	736.5	750.0	757.5	799.5	906.0	1002.0	1005.0	1057.5	1095.0	1078.5	1039.0	1021.5	960.0	919.5	964.0	900.0	826.5	793.0	729.0	699.0	685.5
sabato 11 novembre 2017	673.5	688.5	714.0	724.5	724.5	738.0	753.0	786.0	769.5	771.0	813.0	838.5	786.0	762.0	754.5	748.5	753.0	861.0	808.5	793.5	760.0	711.0	699.0	682.0
domenica 12 novembre 2017	664.5	675.0	682.5	694.5	708.0	709.5	730.5	760.0	769.5	754.5	768.0	816.0	780.0	746.5	741.0	757.5	758.0	838.5	781.5	780.0	766.5	720.0	678.0	669.0
lunedì 13 novembre 2017	669.0	684.0	687.0	703.5	712.5	729.0	756.0	903.0	1032.0	1080.0	1123.5	1150.5	1125.0	1087.5	1036.5	1002.0	969.0	981.0	945.0	853.0	807.0	745.5	718.5	703.5
martedì 14 novembre 2017	703.5	694.5	715.5	720.0	733.5	738.0	784.5	907.5	1036.5	1047.0	1087.5	1140.0	1080.0	1032.0	981.0	982.5	906.0	999.0	924.0	868.5	805.5	738.0	705.0	702.0
mercoledì 15 novembre 2017	690.0	696.0	697.5	727.5	730.0	726.0	778.5	894.0	1026.0	1045.0	1077.0	1144.5	1060.5	1045.5	1009.5	952.5	906.0	952.5	886.5					

Appendice B

La presente Appendice è riferita al calcolo del canone del Multiservizio Tecnologico Integrato per l'ospedale di Vercelli. È quindi dapprima presentata la tabella con i consumi energetici di riferimento, i prezzi unitari e gli importi annui relativi alla componente "energia" del canone. Successivamente sono riportate le tabelle che descrivono la consistenza impiantistica, con annessa suddivisione tra le sedi Ospedale, Piastra e Uffici, ai fini del calcolo della componente "manutenzione" del canone. Infine sono segnalati i prezzi unitari per componente e gli importi annui suddivisi per sede, tipologia di componente e tipo di servizio erogato.

E_{CI}	Consumo J_{pk}	[kWh]	13,962,622
	Prezzo unitario $PU_{CI,EI}$	[€/kWh]	0.03664
	Componente energia del k-esimo sistema E_{CIk}	[€/anno]	511,590.47
E_{ACV}	Consumo CE_{ACV}	[kWh]	2,272,258
	Prezzo unitario $PU_{ACV,EI}$	[€/kWh]	0.04520
	Componente energia del k-esimo sistema E_{ACVk}	[€/anno]	102,706.08
I_{CI}	Quantità combustibile annua $Q_{IMPOSTA,CI,EI}$	[mc/anno]	1,342,242
	Prezzo Unitario $PU_{IMPOSTA,CI,EI}$	[€/mc]	0.00127
	Imposta annua del servizio CI I_{CI}	[€/anno]	1,704.65
I_{ACV}	Quantità combustibile annua $Q_{IMPOSTA,ACV,EI}$	[mc/anno]	236,866
	Prezzo Unitario $PU_{IMPOSTA,CI,EI}$	[€/mc]	0.00127
	Imposta annua del servizio ACV I_{ACV}	[€/anno]	300.82

Componente "energia" e imposte dei servizi $A.1_{CI}$ e $A.1_{ACV}$.

				Ospedale	Piastra	Uffici	TOTALE
Superficie netta totale			[m ²]	53,371	4,782	4,035	62,188
A.1c	CI.M1	Centrale/sottocentrale termica	[-]	9	1	0	10
	CI.M2	Generatori di calore con potenza superiore a 350 kW	[-]	7	0	0	7
	CI.M3	Generatori di calore con potenza compresa tra 35 e 350 kW	[-]	0	0	0	0
	CI.M4	Generatori di calore con potenza inferiore a 35 kW	[-]	0	0	0	0
	CI.M5	Extraprezzo per generatori di calore ad olio diatermico	[-]	0	0	0	0
	CI.M6	Serbatoi per combustibile liquido	[-]	0	0	0	0
	CI.M7	Rete di distribuzione del gas	[-]	1	0	0	1
	CI.M8	Bruciatori (non incorporati nella caldaia) con potenza superiore a 35 kW	[-]	7	0	0	7
	CI.M9	Condotti di fumo	[-]	7	0	0	7
	CI.M10	Vaso di espansione aperto	[-]	0	0	0	0
	CI.M11	Vaso di espansione chiuso	[-]	48	13	1	62
	CI.M12	Gruppo organi di sicurezza, di protezione ed indicatori	[-]	29	40	12	81
	CI.M13	Pompe, circolatori ed acceleratori	[-]	117	15	1	133
	CI.M14	Ventilatori	[-]	54	4	2	60
	CI.M15	Motori elettrici (esclusi quelli che fanno corpo unico con le giranti)	[-]	86	31	3	120
	CI.M16	Apparecchiature elettriche a servizio dell'impianto di climatizzazione invernale	[-]	151	11	0	162
	CI.M17	Apparecchiature di regolazione automatica a due posizioni	[-]	41	0	0	41
	CI.M18	Apparecchiature di regolazione automatica con valvole servocomandate a movimento rotativo / rettilineo	[-]	110	11	0	121
	CI.M19	Apparecchiature di regolazione automatica a riaccensione proporzionale	[-]	0	0	0	0
	CI.M20	Scambiatori di calore e riscaldatori	[-]	10	3	1	14
	CI.M21	Valvolame > 2"	[-]	663	182	10	855
	CI.M22	Impianto di trattamento dell'acqua (addolcitore - demineralizzatore)	[-]	4	1	0	5
	CI.M23	Sottocentrale di Teleriscaldamento	[-]	0	0	0	0
	CI.M24	Quadri elettrici a servizio dell'impianto di climatizzazione invernale	[-]	14	1	0	15
	CI.M25	Cogeneratore fino a 115 kW _t	[-]	0	0	0	0
	CI.M26	Cogeneratore da 115 a 500 kW _t	[-]	0	0	0	0
	CI.M27	Cogeneratore oltre 500 kW _t	[-]	0	0	0	0

Consistenza impiantistica per il servizio A.1cI dell'Ospedale di Vercelli.

				Ospedale	Piastra	Uffici	TOTALE
A.1 _{ACV}	ACV.M28	Centrale idrica	[-]	1	1	0	2
	ACV.M29	Impianto di adduzione acqua	[-]	18	2	1	21
	ACV.M30	Impianto di addolcimento	[-]	1	1	0	2
	ACV.M31	Tubazioni rete primaria	[m ²]	53,371	4,782	4,035	62,188
	ACV.M32	Utenze terminali impianto idrico-sanitario	[-]				
	ACV.M33	Rete fognaria acque bianche e nere	[-]				
	ACV.M34	Impianti di sollevamento	[-]				
A.2 _{CE}	CE.M1	Centrale Frigorifera	[-]	2	0	1	3
	CE.M2	Gruppo frigorifero/Pompa di calore con compressore a vite	[-]	2	0	0	2
	CE.M3	Gruppo frigorifero/Pompa di calore centrifugo	[-]	9	0	1	10
	CE.M4	Gruppo frigorifero/Pompa di calore ad assorbimento	[-]	0	0	0	0
	CE.M5	Torri evaporative e condensatori evaporativi	[-]	0	0	0	0
	CE.M6	Centrali di trattamento aria	[-]	30	2	2	34
	CE.M7	Quadri elettrici di bordo macchina	[-]	37	2	3	42
	CE.M8	Unità di Trattamento Aria	[-]	34	2	2	38
	CE.M9	Circuiti aeraulici	[m ²]	52,564	4,782	790	58,136
	CE.M10	Circuiti idronici	[m ²]	52,564	4,782	0	57,346
	CE.M11	Ventilcovettori	[m ²]	52,564	4,782	1310	58,656
	CE.M12	Unità autonome (Split-Multisplit)	[-]	230	0	15	245

Consistenza impiantistica per i servizi A.1_{ACV} e A.2_{CE} dell'Ospedale di Vercelli.

A.1 _{CI}	CI.M1	Centrale/sottocentrale termica	[€/centrale/anno]	19.167
	CI.M2	Generatori di calore con potenza superiore a 350 kW	[€/generatore/anno]	97.080
	CI.M3	Generatori di calore con potenza compresa tra 35 e 350 kW	[€/generatore/anno]	76.170
	CI.M4	Generatori di calore con potenza inferiore a 35 kW	[€/generatore/anno]	32.361
	CI.M5	Extraprezzo per generatori di calore ad olio diatermico	[€/generatore/anno]	29.871
	CI.M6	Serbatoi per combustibile liquido	[€/serbatoio/anno]	62.034
	CI.M7	Rete di distribuzione del gas	[€/centrale/anno]	14.934
	CI.M8	Bruciatori (non incorporati nella caldaia) con potenza superiore a 35 kW	[€/bruciatore/anno]	262.860
	CI.M9	Condotti di fumo	[€/condotto/anno]	59.742
	CI.M10	Vaso di espansione aperto	[€/vaso/anno]	37.338
	CI.M11	Vaso di espansione chiuso	[€/vaso/anno]	44.805
	CI.M12	Gruppo organi di sicurezza, di protezione ed indicatori	[€/gruppo/anno]	36.093
	CI.M13	Pompe, circolatori ed acceleratori	[€/elemento/anno]	87.993
	CI.M14	Ventilatori	[€/ventilatori/anno]	42.066
	CI.M15	Motori elettrici (esclusi quelli che fanno corpo unico con le giranti)	[€/motore/anno]	25.638
	CI.M16	Apparecchiature elettriche a servizio dell'impianto di climatizzazione invernale	[€/apparecchiatura/anno]	13.941
	CI.M17	Apparecchiature di regolazione automatica a due posizioni	[€/apparecchiatura/anno]	58.500
	CI.M18	Apparecchiature di regolazione automatica con valvole servocomandate a movimento rotativo / rettilineo	[€/apparecchiatura/anno]	63.474
	CI.M19	Apparecchiature di regolazione automatica a riaccensione proporzionale	[€/apparecchiatura/anno]	62.229
	CI.M20	Scambiatori di calore e riscaldatori	[€/scambiatore/anno]	29.871
	CI.M21	Valvolame > 2"	[€/valvola/anno]	6.222
	CI.M22	Impianto di trattamento dell'acqua (addolcitore - demineralizzatore)	[€/impianto/anno]	62.727
	CI.M23	Sottocentrale di Teleriscaldamento	[€/sottocentrale/anno]	69.600
	CI.M24	Quadri elettrici a servizio dell'impianto di climatizzazione invernale	[€/quadro/anno]	46.050
	CI.M25	Cogeneratore fino a 115 kW _t	[€/ora/anno]	1.602
	CI.M26	Cogeneratore da 115 a 500 kW _t	[€/ora/anno]	2.220
	CI.M27	Cogeneratore oltre 500 kW _t	[€/ora/anno]	2.970

Prezzi unitari per la componente "manutenzione" del servizio A.1_{CI}.

A.1 _{ACV}	ACV.M28	Centrale idrica	[€/centrale/anno]	116.496
	ACV.M29	Impianto di adduzione acqua	[€/impianto/anno]	29.871
	ACV.M30	Impianto di addolcimento	[€/impianto/anno]	19.914
	ACV.M31	Tubazioni rete primaria	[€/m ² sup. netta/anno]	0.036
	ACV.M32	Utenze terminali impianto idrico-sanitario	[€/m ² sup. netta servita/anno]	0.300
	ACV.M33	Rete fognaria acque bianche e nere	[€/pozzetto/anno]	14.934
	ACV.M34	Impianti di sollevamento	[€/gruppo di sollevamento/anno]	17.922
A.2 _{CE}	CE.M1	Centrale Frigorifera	[€/centrale/anno]	19.167
	CE.M2	Gruppo frigorifero/Pompa di calore con compressore a vite	[€/gruppo/anno]	322.350
	CE.M3	Gruppo frigorifero/Pompa di calore centrifugo	[€/gruppo/anno]	303.681
	CE.M4	Gruppo frigorifero/Pompa di calore ad assorbimento	[€/gruppo/anno]	722.526
	CE.M5	Torri evaporative e condensatori evaporativi	[€/torre/anno]	184.698
	CE.M6	Centrali di trattamento aria	[€/centrale/anno]	19.167
	CE.M7	Quadri elettrici di bordo macchina	[€/quadro/anno]	46.050
	CE.M8	Unità di Trattamento Aria	[€/UTA/anno]	432.747
	CE.M9	Circuiti aeraulici	[€/m ² sup. netta servita/anno]	0.648
	CE.M10	Circuiti idronici	[€/m ² sup. netta servita/anno]	0.300
	CE.M11	Ventilcovettori	[€/m ² sup. netta servita/anno]	0.687
	CE.M12	Unità autonome (Split-Multisplit)	[€/unità/anno]	44.058

Prezzi unitari per la componente “manutenzione” dei servizi A.1_{ACV} e A.2_{CE}

					Ospedale	Piastra	Uffici	TOTALE
A.1 _{CI}	CI.M1	Centrale/sottocentrale termica	[-]	[€/anno]	172.50	19.17	0.00	191.67
	CI.M2	Generatori di calore con potenza superiore a 350 kW	[-]	[€/anno]	679.56	0.00	0.00	679.56
	CI.M3	Generatori di calore con potenza compresa tra 35 e 350 kW	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CI.M4	Generatori di calore con potenza inferiore a 35 kW	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CI.M5	Extraprezzo per generatori di calore ad olio diatermico	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CI.M6	Serbatoi per combustibile liquido	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CI.M7	Rete di distribuzione del gas	[-]	[€/anno]	14.93	0.00	0.00	14.93
	CI.M8	Bruciatori (non incorporati nella caldaia) con potenza superiore a 35 kW	[-]	[€/anno]	1,840.02	0.00	0.00	1,840.02
	CI.M9	Condotti di fumo	[-]	[€/anno]	418.19	0.00	0.00	418.19
	CI.M10	Vaso di espansione aperto	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CI.M11	Vaso di espansione chiuso	[-]	[€/anno]	2,150.64	582.47	44.81	2,777.91
	CI.M12	Gruppo organi di sicurezza, di protezione ed indicatori	[-]	[€/anno]	1,046.70	1,443.72	433.12	2,923.53
	CI.M13	Pompe, circolatori ed acceleratori	[-]	[€/anno]	10,295.18	1,319.90	87.99	11,703.07
	CI.M14	Ventilatori	[-]	[€/anno]	2,271.56	168.26	84.13	2,523.96
	CI.M15	Motori elettrici (esclusi quelli che fanno corpo unico con le giranti)	[-]	[€/anno]	2,204.87	794.78	76.91	3,076.56
	CI.M16	Apparecchiature elettriche a servizio dell'impianto di climatizzazione invernale	[-]	[€/anno]	2,105.09	153.35	0.00	2,258.44
	CI.M17	Apparecchiature di regolazione automatica a due posizioni	[-]	[€/anno]	2,398.50	0.00	0.00	2,398.50
	CI.M18	Apparecchiature di regolazione automatica con valvole servocomandate a movimento rotativo / rettilineo	[-]	[€/anno]	6,982.14	698.21	0.00	7,680.35
	CI.M19	Apparecchiature di regolazione automatica a riaccensione proporzionale	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CI.M20	Scambiatori di calore e riscaldatori	[-]	[€/anno]	298.71	89.61	29.87	418.19
	CI.M21	Valvolame > 2"	[-]	[€/anno]	4,125.19	1,132.40	62.22	5,319.81
	CI.M22	Impianto di trattamento dell'acqua (addolcitore - demineralizzatore)	[-]	[€/anno]	250.91	62.73	0.00	313.64
	CI.M23	Sottocentrale di Teleriscaldamento	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CI.M24	Quadri elettrici a servizio dell'impianto di climatizzazione invernale	[-]	[€/anno]	644.70	46.05	0.00	690.75
	CI.M25	Cogeneratore fino a 115 kW _t	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CI.M26	Cogeneratore da 115 a 500 kW _t	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CI.M27	Cogeneratore oltre 500 kW _t	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00

Componente "manutenzione" del servizio A.1_{CI}.

					Ospedale	Piastra	Uffici	TOTALE
A.1 _{ACV}	ACV.M28	Centrale idrica	[-]	[€/anno]	116.50	116.50	0.00	232.99
	ACV.M29	Impianto di adduzione acqua	[-]	[€/anno]	537.68	59.74	29.87	627.29
	ACV.M30	Impianto di addolcimento	[-]	[€/anno]	19.91	19.91	0.00	39.83
	ACV.M31	Tubazioni rete primaria	[m ²]	[€/anno]	1,921.36	172.15	145.26	2,238.77
	ACV.M32	Utenze terminali impianto idrico-sanitario	[-]	[€/anno]				
	ACV.M33	Rete fognaria acque bianche e nere	[-]	[€/anno]				
	ACV.M34	Impianti di sollevamento	[-]	[€/anno]				
A.2 _{CE}	CE.M1	Centrale Frigorifera	[-]	[€/anno]	38.33	0.00	19.17	57.50
	CE.M2	Gruppo frigorifero/Pompa di calore con compressore a vite	[-]	[€/anno]	644.70	0.00	0.00	644.70
	CE.M3	Gruppo frigorifero/Pompa di calore centrifugo	[-]	[€/anno]	2,733.13	0.00	303.68	3,036.81
	CE.M4	Gruppo frigorifero/Pompa di calore ad assorbimento	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CE.M5	Torri evaporative e condensatori evaporativi	[-]	[€/anno]	0.00	0.00	0.00	0.00
	CE.M6	Centrali di trattamento aria	[-]	[€/anno]	575.01	38.33	38.33	651.68
	CE.M7	Quadri elettrici di bordo macchina	[-]	[€/anno]	1,703.85	92.10	138.15	1,934.10
	CE.M8	Unità di Trattamento Aria	[-]	[€/anno]	14,713.40	865.49	865.49	16,444.39
	CE.M9	Circuiti aeraulici	[m ²]	[€/anno]	34,061.47	3,098.74	511.92	37,672.13
	CE.M10	Circuiti idronici	[m ²]	[€/anno]	15,769.20	1,434.60	0.00	17,203.80
	CE.M11	Ventilcovettori	[m ²]	[€/anno]	36,111.47	3,285.23	899.97	40,296.67
	CE.M12	Unità autonome (Split-Multisplit)	[-]	[€/anno]	10,133.34	0.00	660.87	10,794.21
A.1 _{CI}				[€/anno]	37,899.40	6,510.65	819.05	45,229.10
A.1 _{ACV}				[€/anno]	2,595.44	368.30	175.13	3,138.88
A.2 _{CE}				[€/anno]	116,483.90	8,814.50	3,437.59	128,735.99
TOTALE				[€/anno]	156,978.74	15,693.45	4,431.77	177,103.99

Componente “manutenzione” dei servizi A.1_{ACV} e A.2_{CE} e totali dei servizi A.1_{CI}, A.1_{ACV} e A.2_{CE}.

Ringraziamenti

Il presente progetto di tesi si è sviluppato in un periodo storico particolarmente difficile. Le stringenti norme sanitarie imposte a seguito della pandemia di Covid-19 hanno avuto un forte impatto sullo svolgimento del lavoro. È stato un percorso arduo sia professionalmente sia personalmente e, giunto alla sua conclusione, vorrei riservare una dedica a coloro i quali hanno avuto un ruolo importante nel raggiungimento di questo traguardo.

Ringrazio la società *Edison Facility Solution S.p.A.*, in particolare il Chief of Efficiency Management Unit *Pietro Canevari*, il Responsabile Control & Monitoring *Federico Zonco* e la Responsabile Risorse Umane *Giuseppina Cataldi*. Sono profondamente grato per essere stato scelto come vincitore della Borsa di studio “*Priori*”, la quale mi ha garantito un’esperienza altamente formativa in un ambiente dinamico e all’avanguardia sull’efficientamento energetico.

Ringrazio il *Professore Marco Badami* del Politecnico di Torino per avermi concesso la possibilità di svolgere sotto la Sua guida questo progetto di Tesi. La Sua disponibilità e la Sua conoscenza sono state fondamentali per approcciare proficuamente il tema in esame.

Ringrazio il *Professore Walter Zamboni* dell’Università degli Studi di Salerno. Sono a Lui profondamente grato per il progetto di Tesi triennale e soprattutto per il successivo lavoro che ne è derivato. Ha fortemente creduto in me ed è stato una fonte d’ispirazione.

Ringrazio la *Industrial Electronics Society* per la borsa di studio “*Industrial Electronics Society Student And Young Professional Travel Assistance*” che mi ha permesso di partecipare alla Conferenza internazionale IECON 2018 a Washington D.C. in qualità di autore. Esporre i risultati del proprio lavoro dinanzi a una platea altamente qualificata è stata un’esperienza estremamente gratificante. Inoltre ho avuto il piacere di conoscere studenti, dottorandi e professori provenienti da tutto il mondo.

Ringrazio i miei genitori *Stefano* e *Ornella* e mio fratello *Antonio* per essere stati un immenso sostegno durante tutta la mia vita e, in particolare, durante il mio percorso universitario. Sono immensamente grato per aver creduto in me e avermi concesso la possibilità di inseguire i miei sogni a Torino. Grazie a loro ho avuto modo di vivere due anni bellissimi in una splendida città.

Ringrazio *Donatella* per aver sopportato i miei momenti di follia e avermi supportato nei momenti impegnativi. Il suo aiuto incondizionato e il suo affetto sono stati preziosi per il superamento delle difficoltà di questo percorso. Ringrazio i miei amici *Serena, Martina, Karen, Eugenia, Riccardo, Alberto, Andrea,*

Enrico che mi hanno aiutato a superare le ostiche sfide del Politecnico. Se il mio percorso universitario è stato bello, è certamente dovuto alla loro presenza e, per questo, avranno sempre la mia gratitudine e il mio affetto.

Ringrazio *Angela, Tommaso, Juan* e nuovamente *Donatella* e *Riccardo* con cui ho condiviso la Challenge Smart Tower di *Terna S.p.A.* nel team Grape Up. Si tratta della prototipazione di una start-up presso il *Contamination Lab and Innovation Kitchen* del Politecnico di Torino sulla sinergia tra big data e protezione ambientale.

Ringrazio la mia “famiglia” a Torino: *Vincenzo, Marica, Raffaele, Luca, Giuseppe*. Le serate a Santa Giulia e i pranzi domenicali resteranno per sempre nella mia memoria. Ringrazio *Mario* per avermi accolto a Torino: il suo aiuto è stato importantissimo per superare l’impatto con una nuova realtà. Ringrazio il gruppo di “*Unisa al Poli*”, *Raffaella, Carla, Eva, Francesca, Giuseppe* per avermi fatto sentire a casa.

Ringrazio i miei “amiconi” *Antonio, Michele, Gianluca, Andrea, Raffaele* con i quali ho condiviso il percorso di Laurea triennale. Sono stati fondamentali durante quei tre anni e lo sono tuttora per l’amicizia che ci lega, nonostante le nostre ambizioni ci abbiano sparsi per l’Italia. Ringrazio *Federica* per la sua spinta a credere in me stesso e a intraprendere il mio percorso a Torino.

Ringrazio *Alberto, Antonio, Leonardo, Piero, Salvatore, Simone, Vincenzo, Luigi, Donatella, Ilaria* e tutti gli altri amici che mi hanno accompagnato finora. Nonostante viva in un’altra città da qualche anno, è sempre bello rincontrarsi e condividere una birra.

Ringrazio il *Politecnico di Torino*, un ateneo d’eccellenza nel panorama italiano e mondiale in grado di assicurarmi una brillante preparazione scientifica e un efficace inserimento nel mondo del lavoro. Mi auguro che sia sempre soggetto ad un processo di continuo miglioramento e di crescente ascolto di pareri e bisogni degli studenti. Esso deve favorire un rapporto maturo tra professori e studenti, cambiando regole che non affinano la conoscenza ma rendono ostico il percorso.

Concludo esprimendo la mia soddisfazione per il traguardo appena raggiunto. La scelta di intraprendere questo percorso di studi è stata dettata dalla passione e da un obiettivo: l’intera umanità è chiamata ad affrontare nei prossimi anni un’urgente transizione energetica e voglio prestare il mio contributo. La sfida non sarà semplice, ma l’obiettivo è alla nostra portata, perché, come scrisse Foscolo, “*a egregie cose il forte animo accendono l’urne de’ forti*”.
