

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
Facoltà di Ingegneria “Enzo Ferrari”

Dottorato di Ricerca in “Meccanica Avanzata e Tecnica del Veicolo”

XXV Ciclo



**MONITORAGGIO E ANALISI PER
L'OTTIMIZZAZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI
DELL'AZIENDA OSPEDALIERO-UNIVERSITARIA
POLICLINICO DI MODENA**

Relatore

Chiar.mo Prof. Ing. Giovanni S. Barozzi

Candidato

Dr. Ing. Fabio Ferrari

Correlatori

Chiar.mo Prof. Ing. Paolo Tartarini

Prof. Ing. Mauro A. Corticelli

Coordinatore della Scuola di Dottorato

Chiar.mo Prof. Ing. Paolo Tartarini

Anno Accademico 2011/2012

A Elena, Franco e Laura

Indice

INDICE.....	5
INDICE DELLE FIGURE.....	7
INDICE DELLE TABELLE	11
SOMMARIO.....	13
ABSTRACT	18
I FASE – MONITORAGGIO DEL POLICLINICO	19
CAPITOLO 1: IL “SISTEMA ENERGETICO” OSPEDALIERO	19
1.1 INTRODUZIONE	19
1.2 FABBISOGNI ENERGETICI.....	21
1.3 IMPIANTI TERMICI	25
1.4 IMPIANTI ELETTRICI	33
CAPITOLO 2: LA GESTIONE DELL’ENERGIA NELLE STRUTTURE OSPEDALIERE	37
2.1 INTRODUZIONE	37
2.2 GESTIONE DELL’ENERGIA	38
2.3 CONSUMI DI ENERGIA	40
CAPITOLO 3: L’AZIENDA OSPEDALIERO – UNIVERSITARIA POLICLINICO DI MODENA	44
3.1 INTRODUZIONE	44
3.2 INQUADRAMENTO	49
3.2.1 <i>Edifici</i>	49
3.2.2 <i>Reti di alimentazione delle struttura</i>	51
3.2.3 <i>Centrale termica</i>	52
3.2.4 <i>Centrale frigo</i>	53
3.2.5 <i>Rete elettrica</i>	54
3.3 CONSUMI ENERGETICI.....	58
3.3.1 <i>Energia elettrica</i>	59
3.3.2 <i>Gas metano</i>	60
CAPITOLO 4: MONITORAGGIO DEI CONSUMI ENERGETICI DEL POLICLINICO DI MODENA	63
4.1 INTRODUZIONE	63
4.2 IL SISTEMA DI MONITORAGGIO	63
4.3 ARCHITETTURA DEL SOFTWARE.....	67

CAPITOLO 5: ANALISI E OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA	71
5.1 INTRODUZIONE	71
5.2 LA METODOLOGIA	71
5.3 ANALISI IN CAMPO.....	82
5.4 INTERVENTI PROPOSTI	86
5.4.1 Stazioni di pompaggio	87
5.4.2 Unità di trattamento aria.....	90
5.4.3 Luci artificiali.....	92
5.4.4 Gestione dei carichi del Poliambulatorio.....	95
5.4.5 Ottimizzazione contratto energia elettrica e gas	99
5.5 CONCLUSIONI.....	102
II FASE – MODELLO COM.....	103
CAPITOLO 6: SIMULAZIONE IN REGIME DINAMICO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEL C.O.M.....	103
6.1 INTRODUZIONE	103
6.2 METODOLOGIA DI ANALISI	120
6.2.1 Audit energetico.....	120
6.2.1.1 Inquadramento strutturale.....	121
6.2.1.2 Inquadramento impiantistico - sistema termico	126
6.2.1.3 Inquadramento impiantistico – Telegestione	129
6.2.1.4 Inquadramento impiantistico - sistema elettrico	131
6.2.1.5 Profili di utilizzo.....	133
6.2.1.6 Potenze Installate.....	135
6.2.1.7 Stima Energia Assorbita.....	137
6.2.1.8 Report di resoconto attività raccolta dati e audit energetico	142
6.2.2 Monitoraggio energetico	147
6.2.2.1 Energia elettrica.....	147
6.2.2.2 Gas metano	148
6.2.3 Modello energetico	151
6.2.3.1 Dati meteo	151
6.2.3.2 Software di simulazione in regime dinamico - EnergyPlus	154
6.2.3.3 Software DesignBuilder	163
6.2.3.4 Modellazione del “sistema edificio-impianto” del COM – “Modello Base”	169
6.2.4 Firma energetica	171
6.2.4.1 Costruzione della firma energetica.....	173
6.2.4.2 L’interpretazione della firma energetica	176
6.2.4.3 Conclusioni.....	178
6.2.4.4 La Firma Reale di riferimento	178
6.2.4.5 La Firma Virtuale - Modello base	184
6.2.5 Valutazione dei modelli	187
6.2.5.1 Introduzione.....	187
6.2.5.2 Differenza tra dati simulati e misurati sperimentalmente	188
6.2.5.3 Grafico valori stimati.....	190
6.2.5.4 Il grafico valori stimati e misurati vs. il tempo	191
6.2.5.5 Indici numerici per la valutazione della calibrazione dei modelli.....	191
6.2.5.6 La validazione del modello	194

CAPITOLO 7: CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE DEL MODELLO COM.....	197
7.1 INTRODUZIONE	197
7.2 CONFRONTO FIRMA ENERGETICA REALE - FIRMA MODELLO BASE	200
7.3 CALIBRAZIONE DEL MODELLO	203
7.3.1 <i>Analisi dei “parametri incogniti”</i>	204
7.3.2 <i>Manuale di calibrazione</i>	205
7.3.2.1 <i>Manuale 1 – Set-Point riscaldamento</i>	205
7.3.2.2 <i>Manuale 2 – Infiltrazioni</i>	208
7.3.2.3 <i>Manuale 3 – Apporti interni</i>	211
7.3.2.4 <i>Manuale 4 – Trasmittanza parete esterna</i>	214
7.3.2.5 <i>Manuale 5 – Trasmittanza vetro finestre esterne</i>	217
7.3.2.6 <i>Analisi risultati manuale</i>	220
7.3.3 <i>Calibrazione modello</i>	221
7.3.4 <i>Validazione modello</i>	223
CONCLUSIONI	225
BIBLIOGRAFIA	227
RINGRAZIAMENTI	238

Indice delle figure

<i>Figura 1.1: Ripartizione percentuale dei consumi di energia totale in un ospedale italiano</i> (Fonte: elaborazione dati Enea [17]).....	23
<i>Figura 2.1: Consumi specifici aziende ospedaliere italiane (Fonte: [17]).....</i>	43
<i>Figura 3.1: Inquadramento generale degli edifici che costituiscono il comparto ospedaliero</i> <i>dell’Azienda Ospedaliero – Universitaria Policlinico di Modena (Fonte: Google Maps).....</i>	49
<i>Figura 3.2: Consumo mensile di energia elettrica per il Policlinico.....</i>	59
<i>Figura 3.3: Consumo percentuale di energia elettrica per il Policlinico.</i>	60
<i>Figura.3.4: Consumo mensile di gas naturale per il Policlinico. (Fonte: elaborazione dati SATP)....</i>	61
<i>Figura.3.5: Consumo di Energia Primaria Policlinico 2012. (Fonte: elaborazione dati SATP).....</i>	62
<i>Figura 4.1:Architettura della piattaforma di monitoraggio.).....</i>	63
<i>Figura 4.2:Architettura della piattaforma di Monitoraggio (Fonte: [33])</i>	65
<i>Figura 4.3:Struttura logica della piattaforma di Monitoraggio (Fonte: Elaborazione Nextep)</i>	68
<i>Figura 4.4:Esempio di grafico a 15 minuti fornito dalla piattaforma di Monitoraggio.....</i>	69

<i>Figura 5.1: Andamento dei consumi al quarto d'ora per l'anno 2012 del totale delle sette cabine del Policlinico, (Fonte:Nextep).....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5.2: Andamento dei consumi globali delle cabine suddiviso per settimana, dal 4 al 10 luglio (Fonte: elaborazione dati Nextep)</i>	<i>75</i>
<i>Figura 5.3: Andamento dei consumi globali delle cabine suddiviso per settimana, dal 11 al 17 luglio (Fonte: elaborazione dati Nextep)</i>	<i>76</i>
<i>Figura 5.4: Andamento dei consumi globali delle cabine suddiviso per settimana, dal 18 al 24 luglio (Fonte: elaborazione dati Nextep)</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5.5: Andamento dei consumi globali delle cabine suddiviso per settimana, dal 25 al 31 luglio (Fonte: elaborazione dati Nextep)</i>	<i>78</i>
<i>Figura 5.6: Esempio di suddivisione delle aree di competenza delle cabine a servizio del monoblocco. (Fonte: elaborazione dati SATP)</i>	<i>81</i>
<i>Figura 5.7: Metodologia di Energy Audit. (Fonte: ISO50001).....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 5.8: Immagini del Poliambulatorio.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 6.1: Flow Chart metodologia di calibrazione.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 6.2: Calibrazione del modello energetico con l'ausilio della performance line.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 6.3: Metodologia di Energy Audit.</i>	<i>114</i>
<i>Figura 6.4: Metodologia di Energy Audit.</i>	<i>115</i>
<i>Figura 6.5: Metodologia di Energy Audit preliminare e benchmarking.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 6.6: Metodologie di Energy Audit approfondito per la calibrazione e la predizione dei risultati di retrofit.</i>	<i>117</i>
<i>Figura 6.7: Contenuti funzionali del Centro Oncologico Modenese (Fonte: Google)</i>	<i>121</i>
<i>Figura 6.8: Pacchetti strutturali COM (Fonte: SATP)</i>	<i>123</i>
<i>Figura 6.9: UTA aria primaria COM (Fonte: SATP).....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 6.10: Contenuti funzionali del Centro Oncologico Modenese (Fonte: SATP).....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 6.11: Centro Oncologico Modenese (Fonte: internet).....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 6.12:Pianta Piano Terra Zone Riscaldare Centro Oncologico Modenese: colore viola – fan-coil e radiatori a colonna e colore arancione - UTA (Fonte: SATP)</i>	<i>127</i>
<i>Figura 6.13:Pianta Piano Primo Zone Riscaldare Centro Oncologico Modenese: colore viola – fan-coil e radiatori a colonna e colore arancione - UTA (Fonte: SATP)</i>	<i>127</i>
<i>Figura 6.14:Gestione delle temperature ambiente tramite Excel Honeywell (Fonte: SATP).....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 6.15: Gestione dei parametri delle UTA tramite Excel Honeywell (Fonte: SATP).....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 6.16: Distribuzione dei quadri elettrici all'interno del COM (Fonte: elaborazione piante SATP)</i>	<i>132</i>
<i>Figura 6.17: Potenze installate al COM (Fonte: elaborazione dati SATP).....</i>	<i>136</i>

<i>Figura 6.18: Potenze utilizzata al COM (Fonte: elaborazione dati SATP).....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 6.19: Profilo di potenza attiva (kW), con time step di 1ora, relativo al Power Center del COM (Fonte: Nextep).....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 6.20: Profilo di potenza attiva (kW) dei principali carichi presenti, con time step di 1ora, relativo al Power Center del COM (Fonte: Nextep).....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 6.21: Consumo orario di energia elettrica profilo “settimana tipo” invernale e “settimana tipo” estiva del COM per l’anno 2012 (Fonte: Nextep).....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 6.22: Consumo orario di energia elettrica del COM per l’anno 2012 (Fonte: Nextep).....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 6.23: Consumo mensile di energia elettrica del COM per l’anno 2012 (Fonte: Nextep).....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 6.24: Consumo orario energia elettrica del COM per l’anno 2012 (Fonte: Nextep).....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 6.25: Consumo orario energia termica del COM per l’anno 2012 (Fonte: Elaborazione Nextep).....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 6.26: Consumo mensile di energia termica del COM per l’anno 2012 (Fonte:Elaborazione Nextep).....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 6.27: Andamento orario della temperatura anno 2012 (Fonte: Osservatorio Geofisico dell’Università di Modena e Reggio Emilia).....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 6.28: Schema logico dell’architettura del software EnergyPlus (Fonte: Manuale di EnergyPlus).....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 6.29: Rappresentazione della parte nell’analogia elettrica derivante dal modello a parametri concentrati (Fonte: Manuale di EnergyPlus).....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 6.30: Contributi allo scambio attraverso alle pareti, lato interno (Fonte: Manuale di EnergyPlus).....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 6.31: Contributi allo scambio attraverso alle pareti, lato esterno (Fonte: Manuale di EnergyPlus).....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 6.32: Flow Chart costruzione modello (Fonte: DesignBuilder [134])......</i>	<i>164</i>
<i>Figura 6.33: Scheda attività (Fonte: DesignBuilder).....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 6.34: Scheda illuminazione (Fonte: DesignBuilder).....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 6.35: Scheda HVAC (Fonte: DesignBuilder).....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 6.36: Scheda dettaglio consumi del COM per i mesi di febbraio – aprile 2012.....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 6.37: Scheda consumi totali del COM per i mesi di febbraio – aprile 2012.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 6.38: Fasi della modellazione dell’involucro del COM.....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 6.39: Modello dettagliato delle UTA a servizio del COM.</i>	<i>170</i>
<i>Figura 6.40: Consumi giornalieri di energia elettrica e gas Modello Base COM per l’anno 2012. .</i>	<i>170</i>
<i>Figura 6.41: Consumi mensili di energia elettrica e gas del COM per l’anno 2012 (Fonte: DesignBuilder).....</i>	<i>171</i>

Figura 6.42: Costruzione della Firma Energetica (Fonte: Soccavo [138]).	173
Figura 6.43: Esempio di firma energetica dei consumi settimanali di energia termica ed elettrica in funzione della temperatura esterna (Fonte: Laurent Socal [137], [139]).	174
Figura 6.44: Firma Energetica (Fonte: UNI EN 15603:2008).	175
Figura 6.45: Parametri caratteristici della Firma Energetica.	177
Figura 6.46: Andamento della temperatura media oraria per l'anno 2012.	179
Figura 6.47: Andamento dei consumi reali medi giornalieri per l'anno 2012.	179
Figura 6.48: Firma energetica gas reale giornaliera.	180
Figura 6.49: Firma energetica gas reale settimanale.	180
Figura 6.50: Firma energetica gas reale mensile.	181
Figura 6.51: Andamento della temperatura media oraria per l'anno 2012.	181
Figura 6.52: : Andamento dei consumi reali medi orari per l'anno 2012 (Fonte: Elaborazione Nextep)	182
Figura 6.53: Firma energetica Energia Elettrica reale giornaliera.	182
Figura 6.54: Firma energetica Energia Elettrica reale settimanale.	182
Figura 6.55: Firma energetica Energia Elettrica reale mensile.	183
Figura 6.56: Andamento della temperatura media oraria per l'anno 2012.	184
Figura 6.57: Andamento dei consumi simulati medi giornalieri per l'anno 2012 – Modello Base..	184
Figura 6.58: Firma energetica Modello Base Gas simulata giornaliera.	185
Figura 6.59: Firma energetica Modello Base Gas simulata settimanale.	185
Figura 6.60: : Andamento dei consumi simulati medi orari per l'anno 2012 del Modello Base.....	186
Figura 6.61: Firma energetica Modello Base Energia Elettrica simulata.	186
Figura 6.62: Flow chart analisi modelli.	187
Figura 6.63: Distribuzione set di valori sul piano cartesiano.	196
Figura 6.64: Differenti polinomi di regressione.	196
Figura 7.1: Confronto tra la Firma Energetica Reale e la Firma Energetica “Modello Base”.	200
Figura 7.2: Andamento dei consumi reali e simulati rispetto al tempo.	200
Figura 7.3: Andamento dello scostamento dei dati reali e simulati rispetto al valore medio reale. ..	201
Figura 7.4: Andamento dei residui rispetto al tempo.....	201
Figura 7.5: Confronto tra la Firma Energetica Reale e la Firma Energetica “Modello Base”.	202
Figura 7.6: Firme Energetiche Manuale 1 – Variazione valore di set-pointi riscaldamento.	206
Figura 7.7: Firme Energetiche Manuale 1 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello Base.	207
Figura 7.8: Firme Energetiche Manuale 2 – Variazione valore Infiltrazioni.	209

<i>Figura 7.9: Firme Energetiche Manuale 2 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello</i>	
<i>Base.....</i>	210
<i>Figura 7.10: Firme Energetiche Manuale 3 – Variazione valore apporti interni.</i>	212
<i>Figura 7.11: Firme Energetiche Manuale 3 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello</i>	
<i>Base.....</i>	213
<i>Figura 7.12: Firme Energetiche Manuale 4 – Variazione valore trasmittanza parete esterna.....</i>	215
<i>Figura 7.13: Firme Energetiche Manuale 4 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello</i>	
<i>Base.....</i>	216
<i>Figura 7.14: Firme Energetiche Manuale 5– Variazione valore trasmittanza vetro finestra esterna.218</i>	
<i>Figura 7.15: Firme Energetiche Manuale 5 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello</i>	
<i>Base.....</i>	219
<i>Figura 7.16: Firme Energetiche da Manuale 1_2 -12.5% Set-Point.....</i>	222
<i>Figura 7.17: Firme Energetiche da Manuale 2_4 +25% infiltrazione.....</i>	222
<i>Figura 7.18: confronto Firme Energetiche Modello Finale e Reale.</i>	222
<i>Figura 7.19: confronto Firme Energetiche Modello Finale e Reale.</i>	223

Indice delle tabelle

<i>Tabella 1.1: Valori igrometrici dei principali locali operatori (Fonte: elaborazione dati [18]).....</i>	30
<i>Tabella 2.1: Consumi totali annui e numero di posti letto delle strutture sanitarie provviste di</i>	42
<i>Tabella 4.1: Codici e collocazione dei punti di monitoraggio (Fonte: SATP)</i>	66
<i>Tabella 5.1: Analisi del contratto GAS 2012 per il Policlinico.</i>	101
<i>Tabella 5.2: Analisi del contratto Energia Elettrica 2012 per il Policlinico.....</i>	101
<i>Tabella 6.1: Errori accettati per la calibrazione di modelli energetici.</i>	119
<i>Tabella 6.2: Potenze installate COM.....</i>	136
<i>Tabella 6.3: Potenze utilizzate e stima assorbimento COM.....</i>	138
<i>Tabella 6.4: Utenze alimentate dal quadro elettrico Power Center, del COM</i>	
<i>(Fonte: SATP).....</i>	139
<i>Tabella 6.5: Consumo mensile di energia elettrica del COM per l’anno 2012 (Fonte: Nextep).....</i>	148
<i>Tabella 6.6: Consumo mensile di energia termica del COM per l’anno 2012 (Fonte: Nextep).....</i>	150

<i>Tabella 6.7: Esempio dati meteo mensili - gennaio 2012 -registrati Fonte: Osservatorio Geofisico dell'Università di Modena e Reggio Emilia).....</i>	<i>153</i>
<i>Tabella 6.8: Parametri “incogniti” del modello COM.....</i>	<i>171</i>
<i>Tabella 6.9: Errori accettati per la calibrazione di modelli energetici.</i>	<i>193</i>
<i>Tabella 6.10: Tolleranze per gli usi finali di energia (Fonte: Kaplan [122])......</i>	<i>193</i>
<i>Tabella 7.1: Errori accettati per la calibrazione di modelli energetici.</i>	<i>199</i>
<i>Tabella 7.2: Confronto tra errore Modello Base e Valori Accettati.</i>	<i>202</i>
<i>Tabella 7.3: Confronto tra errore Modello Base e Valori Accettati.</i>	<i>202</i>
<i>Tabella 7.4: Parametri “incogniti” del modello COM.....</i>	<i>203</i>
<i>Tabella 7.5: Variazione dei parametri “incogniti” del Modello Base.....</i>	<i>204</i>
<i>Tabella 7.6: Firme Energetiche Manuale 1 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.....</i>	<i>207</i>
<i>Tabella 7.6: Firme Energetiche Manuale 2 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.....</i>	<i>210</i>
<i>Tabella 7.8: Firme Energetiche Manuale 3 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.....</i>	<i>213</i>
<i>Tabella 7.9: Firme Energetiche Manuale 4 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.....</i>	<i>216</i>
<i>Tabella 7.10: Firme Energetiche Manuale 5 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.....</i>	<i>219</i>
<i>Tabella 7.11: Variazioni percentuali da applicare ai coefficienti m e q della Firma Energetica del Modello Base.....</i>	<i>220</i>
<i>Tabella 7.12: Modifiche da apportare ai parametri incogniti del Modello Base.</i>	<i>221</i>
<i>Tabella 7.13: Modifiche da apportare ai coefficienti della retta di regressione lineare del Modello Base.</i>	<i>221</i>
<i>Tabella 7.14: Modifiche da apportare ai coefficienti della retta di regressione lineare del Modello Finale.</i>	<i>223</i>
<i>Tabella 7.15: Confronto tra errore Modello Modificato e Valori Accettati.</i>	<i>223</i>
<i>Tabella 7.16: Confronto tra errore Modello Modificato e Valori Accettati.</i>	<i>224</i>
<i>Tabella 7.17: Modifiche da apportare ai coefficienti della retta di regressione lineare del Modello Validato.....</i>	<i>224</i>

Sommario

La recente *Legge di stabilità* [1] prevede una diminuzione delle risorse destinate alle strutture ospedaliere di 600 milioni di euro nel 2013 che saliranno a 1 miliardo nel 2014. La Regione Emilia Romagna, in particolare, nonostante i bilanci positivi della Sanità locale, subirà una riduzione delle risorse di 170 mln nel 2013. Se si considera che circa un sesto del costo del Servizio Sanitario italiano è attribuibile all'approvvigionamento energetico e che il costo delle componenti formanti il prezzo dei vettori energetici è in continua crescita [2] [3], è necessario che le strutture ospedaliere perseguano l'obiettivo di individuare i costi occulti, contenere i consumi ed eliminare gli sprechi. Questo tipo di atteggiamento porterebbe a risparmi immediati e sarebbe un esempio virtuoso per i cittadini, alla luce anche del ruolo “educativo” che deve avere una struttura pubblica, come richiesto nella recente direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica [4].

Non sarebbe né etico né logico attuare le prescrizioni della spending review e della Legge di stabilità andando a ridurre posti letto o servizi all'ammalato, se prima non si fossero ridotti gli attuali costi di gestione delle strutture ospedaliere. Pertanto, prima di attuare tale programma imposto di “lean management sanitario”, risulta prioritario individuare ed eliminare tutti gli sprechi, a partire dai costi energetici, ottimizzando i contratti di acquisto e razionalizzando i consumi finali di elettricità e gas.

I complessi ospedalieri sono caratterizzati da strutture articolate, di grande volumetria e finalizzate a garantire cure e assistenza terapeutica in condizioni di massimo comfort e sicurezza. Le esigenze di mantenimento di particolari condizioni termoigrometriche e di fornitura di servizi in continuità e in sicurezza (24 ore giornaliere per 365 giorni l'anno), associate a elevati consumi energetici, fanno sì che le strutture ospedaliere presentino ampi margini di intervento sul “sistema edificio-impianto” per razionalizzare i consumi e migliorare l'efficienza energetica.

La Regione Emilia Romagna, a fronte di questo scenario, ha deciso di operare, nell’ambito delle proprie competenze, per affermare un progetto di sviluppo sostenibile della politica energetica regionale. In particolare, nel 2007, ha dato avvio al *Piano Energetico Regionale (PER)* [5], che, in primo luogo, si è posto l’obiettivo di “*offrire il contributo per il raggiungimento dei più importanti obiettivi di sostenibilità energetica posti all’Italia a livello internazionale, per la quota parte spettante all’Emilia Romagna*”.

Per raggiungere gli obiettivi avanzati nel PER, la Regione ha deciso di intervenire, con maggior chiarezza e vigore, sulla Pubblica Amministrazione; gli edifici pubblici, infatti, sono costituiti da consumi energetici molto elevati, che comportano spesso elevate spese economiche e, talvolta, notevoli sprechi che potrebbero essere facilmente eliminati grazie ad un uso più razionale dell’energia disponibile. L’intento è quello di portare gli edifici pubblici al rispetto degli standard prestazionali di legge in occasione di importanti ristrutturazioni che possano promuovere l’applicazione di tecnologie e sistemi in grado di assicurare consumi ridotti di combustibili convenzionali e di energia elettrica. Tali interventi potrebbero altresì valere da progetti “pilota”, a carattere dimostrativo, al fine di sensibilizzare e guidare il cittadino privato a compiere le stesse azioni sulle proprie abitazioni.

Considerata la rilevanza sociale ed anche sanitaria (l’uso razionale dell’energia è sempre più correlabile alla prevenzione primaria della salute avendo anche l’effetto di contenere le emissioni di gas inquinanti), e preso atto del Piano Energetico Regionale, la Regione ha attivato, sempre nel 2007, il programma “*Il servizio sanitario regionale per lo sviluppo sostenibile*” [6], a cui partecipano tutte le aziende sanitarie del territorio. Il programma si articola in due principali progetti: il primo mirato alla qualificazione dei consumi energetici e all’innovazione tecnologica; il secondo al miglioramento del processo di gestione ambientale.

Per rispondere alle indicazioni dettate dal contesto socio-economico, per aderire alle linee guida regionali e, soprattutto, per ottenere notevoli risparmi energetici e quindi economici, l’Azienda Ospedaliero–Universitaria Policlinico di Modena ha deciso di stipulare la convenzione “*Monitoraggio, analisi e ottimizzazione dei consumi energetici della struttura Policlinico di Modena 2011 – 2012*” con la Facoltà di Ingegneria “Enzo Ferrari”

dell’Università di Modena. Questa convenzione, della durata di due anni (2011-2013), si è posta, nello specifico, i seguenti scopi:

- fotografare lo stato dell’arte dei consumi energetici della struttura ospedaliera attraverso la caratterizzazione delle reti di alimentazione (elettrica e termica);
- implementare un sistema di monitoraggio dei consumi in real-time tramite l’installazione di un applicativo di analisi dedicato;
- individuare consumi reali e inefficienze energetiche di tipo elettrico del Policlinico;
- correggere inefficienze ed ottimizzare i consumi elettrici e termici di un edificio “modello”, valutando i costi di investimento, i risparmi ottenibili e le modifiche apportate al “servizio” a seguito dell’applicazione di interventi di efficienza energetica.

La presente tesi di dottorato descrive un progetto nato e sviluppatosi parallelamente allo svolgimento delle attività previste dalla convenzione stipulata tra il Policlinico di Modena e la Facoltà di Ingegneria “Enzo Ferrari”.

Scopo di questo progetto è individuare una metodologia semplice, attendibile ed efficace per l’indagine e la cura dei consumi energetici delle strutture ospedaliere. Tale metodologia deve poter fotografare il comportamento del “sistema edificio-impianto”, proporre eventuali azioni di miglioramento e quantificare i potenziali risparmi energetici ed economici ottenibili da tali correzioni. Si è applicata su una singola struttura significativa (caso studio), per poter poi essere ricalibrata e applicata, nel tempo, ai diversi corpi edilizi che compongono l’Azienda Ospedaliera.

Per le strutture sanitarie, caratterizzate da particolari profili d’uso e articolate gestioni dei flussi energetici [7], risulta di fondamentale importanza poter simulare e valutare, prima di realizzare gli interventi, le variazioni ottenibili sui consumi e sui principali fattori ambientali dell’edificio, per evitare di andare ad alterare, con gli interventi di ottimizzazione energetica, la prioritaria qualità del servizio offerto.

Per realizzare questo lavoro di screening e cura non invasiva è possibile utilizzare appositi applicativi software per la modellazione del “sistema edificio-impianto” [8], che però richiedono un uso attento e accurato per poter generare dati attendibili. Pertanto, risulta di

fondamentale importanza validare i risultati ottenuti dal modello virtuale con i valori rilevati dall'edificio reale analizzato.

Per non ricadere in una modellazione astratta e per ottenere dalle simulazioni risultati attendibili, risulta di fondamentale importanza calibrare tale strumento predittivo, andando a modificare i vari parametri di input influenti sul calcolo energetico, per allineare, sempre di più, il comportamento dei due edifici, quello reale e quello simulato.

La metodologia di analisi energetica proposta è stata applicata ad un edificio “modello”, un caso studio, che fosse energeticamente autonomo e allo stesso tempo rappresentativo di tutte le differenti e sensibili realtà presenti in una struttura ospedaliera. A tal fine è stato individuato il Centro Oncologico Modenese (C.O.M.). Essendo un edificio “isola” sia come corpo edilizio che come corpo impiantistico, con poche apparecchiature elettriche significative installate e con una vocazione all'assistenza prioritaria del malato, è risultato un caso significativo per sperimentare e affinare le valutazioni avanzate.

Le procedure di calibrazione proposte in letteratura presentano serie difficoltà nella reperibilità dei dati richiesti per il confronto, nella necessità di utilizzare ampie disponibilità computazionali e nei metodi iterativi lunghi e complessi, che ne limitano la possibilità di essere facilmente applicabili in strutture complesse da modellare e analizzare.

Nello specifico, questa tesi di dottorato si pone l'obiettivo di trovare un sistema di calibrazione da applicare a un dettagliato modello di simulazione energetica in regime dinamico, basato sul confronto tra i dati di output della simulazione e i valori reali di consumo, con l'obiettivo di essere facilmente replicabile ed affidabile. La metodologia proposta viene applicata al “sistema C.O.M.” e si sviluppa secondo le azioni elencate a seguire.

1. Dai dati ambientali e dai dati dei consumi raccolti in real-time (Temperature, Elettricità, Gas) dal sistema di monitoraggio implementato, tramite l'applicativo Nextep [9], si costruisce la “firma energetica di riferimento” [10] della struttura oggetto di analisi, un semplice e immediato strumento grafico di rappresentazione delle principali caratteristiche energetiche del “sistema edificio-impianto”.

2. A seguito di un preciso *audit* sul campo, si crea un dettagliato modello dell’edificio con il supporto del software EnergyPlus [11]. I consumi ricavati come output dal modello, considerando le reali condizioni ambientali al contorno, vengono utilizzati per costruire la “firma energetica virtuale”.
3. Tramite il confronto della “firma energetica di riferimento” con la “firma energetica virtuale” si valuta l’errore esistente tra i dati ottenuti dal modello e quelli reali. Nel caso in cui l’errore risulti superiore ai valori indicati dai principali riferimenti accettati in letteratura, si procede alla calibrazione del modello:
 - a. variando a modello i singoli “parametri forti”, che influenzano maggiormente i consumi di una struttura ospedaliera, viene creata una sorta di “manuale dell’errore”, il quale correla una “firma energetica caratteristica” per ogni variazione di parametro apportata a modello;
 - b. con l’ausilio del “manuale dell’errore”, viene interpretata e corretta la firma energetica virtuale, individuando e modificando i parametri influenti del modello per ottenere la calibrazione. La calibrazione viene ritenuta raggiunta, quando l’errore tra la firma energetica di riferimento e quella virtuale risulta in accordo con standard e linee guida che trattano il tema della calibrazione dei modelli energetici simulati a software (ASHRAE Guidelines 14-2006: Measurement of Energy and Demand Saving [12]; M&V Guidelines: Measurement and Verification of Federal Energy Projects (FEMP) [13], International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) [14]).
4. Realizzata la calibrazione delle firme energetiche e quindi la validazione del modello, è possibile applicare, simulare e valutare gli interventi di ottimizzazione energetica applicabili alla struttura oggetto di analisi.

Tramite questa semplice metodologia di calibrazione proposta, attraverso l’interpretazione e lo studio delle firme energetiche, è possibile analizzare e valutare le differenti reazioni del “sistema ospedaliero” a fronte delle azioni di ottimizzazione energetica proposte, simulate e calcolate sul modello a software, individuando così gli interventi di efficientamento che rappresentano la miglior soluzione per l’edificio oggetto di analisi.

Abstract

The calibration of detailed Building Energy Simulation (BES) models is of highest importance for a correct building energy analysis and prediction. Several methodologies have been applied in literature, however there is no accepted standard approach. These methodologies are often time-consuming, computationally expensive and require detailed energy monitoring data.

This paper outlines a simply and fast methodology for calibrating detailed Building Energy Simulation (BES) models to energy meters readings based on Energy Signature. This method is described and it is applied to a case study, the University Hospital of Modena. The Hospital building has significant yearly energy consumption (around 20 GWh of electricity and 3 mil m³ of gas).

Starting from a detailed site survey to verify and identify the geometry and the input parameters, the initial detailed BES model has been developed using EnergyPlus simulation program. Considering the specific use of the building, several influential input parameters have been identified. Subsequently, several runs of the BES model have been carried out by changing the influential parameters and the variations of the energy signature have been identified and categorized.

Therefore, by matching the observed and the initial designed signature, errors in the input parameters have been identified, based on the previously categorized variations.

The error analysis illustrates that the error is within the acceptable tolerances specified by the literature and guidelines and the calibrated model has been used for the evaluation of energy saving measures for feasibility and cost effectiveness.

The proposed methodology allows detailed BES models calibration in a cost-effective manner. The methodology has the advantage of requiring only data that are easy to obtain without a dedicated data acquisition system: consumption data and outdoor average daily temperatures.

I FASE – Monitoraggio del Policlinico

Capitolo 1: Il “Sistema Energetico” Ospedaliero

1.1 Introduzione

Le Aziende Sanitarie Locali distribuite sul territorio nazionale sono circa 163. Al vasto patrimonio immobiliare ospedaliero da esse gestito, vanno aggiunte tutte le strutture di ricovero private, le quali forniscono un 25% aggiuntivo di posti letto, per un totale di circa 250.000 posti letto, distribuiti in oltre 1.569 strutture [3]. L’edilizia ospedaliera è particolarmente variegata, con fabbricati di epoche differenti e destinazioni sanitarie diversificate. La richiesta di energia in questo settore è estremamente elevata e il fabbisogno deve essere assolutamente garantito da impianti termici ed elettrici generalmente attivi 24 ore su 24, 365 giorni l’anno. In particolare l’energia è utilizzata per:

- il riscaldamento, il raffrescamento estivo e la ventilazione;
- l’illuminazione degli ambienti;
- la preparazione di acqua calda sanitaria;
- la produzione di vapore per sterilizzazione e umidificazione;
- le cucine, le lavanderie;
- i trasporti interni, i calcolatori, i dispositivi diagnostici e terapeutici, etc.

L’incremento della complessità delle apparecchiature impiegate e l’adeguamento alle normative in termini di temperature, umidità e ricambi d’aria imposti porta inoltre ad ulteriori aumenti dei consumi e ad una maggiore difficoltà nella gestione degli impianti.

Negli ultimi cinquant’anni, l’evoluzione delle terapie e della diagnostica ha introdotto nell’ospedale una componente tecnologica, costituita da apparecchiature elettromedicali e impiantistica di servizio, la cui incidenza economica è oggi paragonabile agli investimenti necessari per realizzare la struttura dell’ospedale, intesa come edilizia e impiantistica.

Tuttavia, proprio per il continuo sviluppo della medicina e delle tecnologie ad essa associate, risulta piuttosto complesso e superfluo fornire una lista dettagliata delle apparecchiature presenti in un ospedale; appare invece più interessante realizzare una descrizione dell’impiantistica ospedaliera, così come riportata nei principali manuali di progettazione per questo settore [15], [16], al fine di comprendere al meglio la logica strutturale che accompagna la realizzazione di un ospedale. A partire dagli impianti presenti, funzionanti 8600 ore all’anno, è possibile effettuare una prima stima dei consumi, che può poi essere implementata andando ad analizzare, nel dettaglio, le principali apparecchiature installate in una determinata zona dell’ospedale stesso.

In generale, il progetto impiantistico è fortemente legato e influenzato dalle scelte architettoniche sulle quali è impostato l’ospedale. A sua volta, però, l’architettura può essere pesantemente condizionata dai vincoli che gli impianti impongono, sia nella fase di realizzazione che nella successiva fase di esercizio, in termini di spazi, manutenzione, gestione.

Si deve infatti sempre tenere presente che l’ospedale è un organismo caratterizzato da una continua evoluzione legata sia allo sviluppo della tecnologia medica che alle possibili variazioni delle esigenze dell’utenza.

Questo comporta che all’interno dell’ospedale si abbia un frequente adeguamento delle destinazioni d’uso degli spazi interni e conseguentemente delle dotazioni impiantistiche. Inoltre, essendo un organismo in continua attività, assume notevole importanza la facilità di intervento sugli impianti, per modifiche e soprattutto per manutenzione, e la possibilità di ridurre al minimo le interferenze con l’attività medica.

Sulla base di recenti studi, relativi alle principali tipologie edilizie degli ospedali italiani, si è riscontrato che, generalmente, si tendono ad utilizzare due soluzioni distinte, affiancate tra loro:

- a) Tipologia monoblocco, costituita da un unico edificio pluripiano, a sviluppo verticale, in cui i percorsi per le reti impiantistiche sono realizzati all’interno di appositi cavedi

verticali che consentono da un lato di ridurre le perdite energetiche di distribuzione e dall'altro una semplice accessibilità agli impianti da parte dei tecnici.

- b) Tipologia a blocchi separati, costituita da una serie di edifici separati tra loro e, se possibile, collegati da un percorso principale indipendente. In questo modo, è possibile identificare in modo univoco i diversi padiglioni, specializzando le dotazioni impiantistiche, ma è necessaria una spesa più elevata per il trasporto dei fluidi.

1.2 Fabbisogni energetici

Le strutture sanitarie si qualificano quali sistemi fortemente energivori, caratterizzati da un elevato fabbisogno di energia e da un'ampia diversificazione negli usi finali della stessa. Ciò in ragione soprattutto delle peculiarità del servizio reso. Infatti, è proprio della mission delle strutture ospedaliere assicurare la priorità continuità delle prestazioni mediche agli utenti, garantendo al contempo elevati livelli di comfort e la salubrità degli ambienti.

Una simile configurazione del servizio offerto evidenzia le forti potenzialità di razionalizzazione dei consumi di energia attraverso la realizzazione di investimenti volti al miglioramento dell'efficienza delle strutture, degli impianti e dei macchinari e al contenimento degli sprechi energetici; obiettivi di razionalizzazione che, specie nel settore sanitario, devono poter essere conseguiti a parità di servizio fornito o con miglioramento dello stesso [7], [17].

In genere, i fabbisogni di energia delle strutture ospedaliere rispondono tanto ad esigenze tecnologiche quanto funzionali, e vengono soddisfatti ricorrendo all'impiego di energia termica ed elettrica.

L'energia termica è impiegata prevalentemente per rispondere alle necessità di riscaldamento e climatizzazione degli ambienti. Inoltre, viene utilizzata per la produzione di acqua sanitaria, per la sterilizzazione, per i servizi di lavanderia e cucina.

L'energia elettrica viene invece impiegata per l'illuminazione (interna ed esterna), il condizionamento estivo, la comunicazione tra ambienti, il trattamento dell'aria, per l'alimentazione di apparecchiature medicali, diagnostiche e di monitoraggio, per la conservazione e per il funzionamento di sistemi computerizzati e di sicurezza. L'utilizzo di energia termica è quello che maggiormente si presta ad interventi di razionalizzazione, poiché ha un'elevata incidenza sui consumi energetici totali degli ospedali e quindi può essere foriero di risparmi maggiormente significativi. Inoltre, essa è usata soprattutto per finalità di

riscaldamento degli ambienti; tale impiego ammette qualche temporanea interruzione del servizio necessaria alla realizzazione degli interventi stessi.

Ciò non è possibile, invece, per l'energia elettrica, in quanto il suo impiego in molte funzioni di primaria importanza non permette interruzioni nell'erogazione. In ogni caso, la realizzazione di interventi di razionalizzazione anche in questo campo è ovviamente possibile, oltre che auspicabile, tenendo conto delle necessarie misure atte ad evitare simili interruzioni.

I consumi energetici degli ospedali, in generale, e quelli relativi a sistemi, impianti o apparecchiature, in particolare, possono presentare una significativa variabilità da struttura a struttura, come conseguenza diretta dei numerosi fattori in grado di influenzarne le performance energetiche.

Anche l'anno di costruzione delle strutture ospedaliere costituisce un ulteriore elemento di variabilità dei consumi energetici assoluti e specifici. Basti pensare all'entrata in vigore, da un certo momento in poi, di norme sul contenimento energetico in grado di influenzare le tecniche e i materiali utilizzati per la costruzione.

Pertanto si evince che la determinazione delle performance energetiche di un ospedale richieda un'analisi dettagliata nel tempo degli impieghi energetici assoluti e specifici, proprio per l'ampiezza dello spettro dei possibili fattori in grado di influenzarne la struttura.

L'impostazione e le scelte progettuali, nella definizione delle dotazioni impiantistiche, in particolare quelle legate alla climatizzazione, non possono prescindere da una analisi dei consumi energetici che ne conseguono.

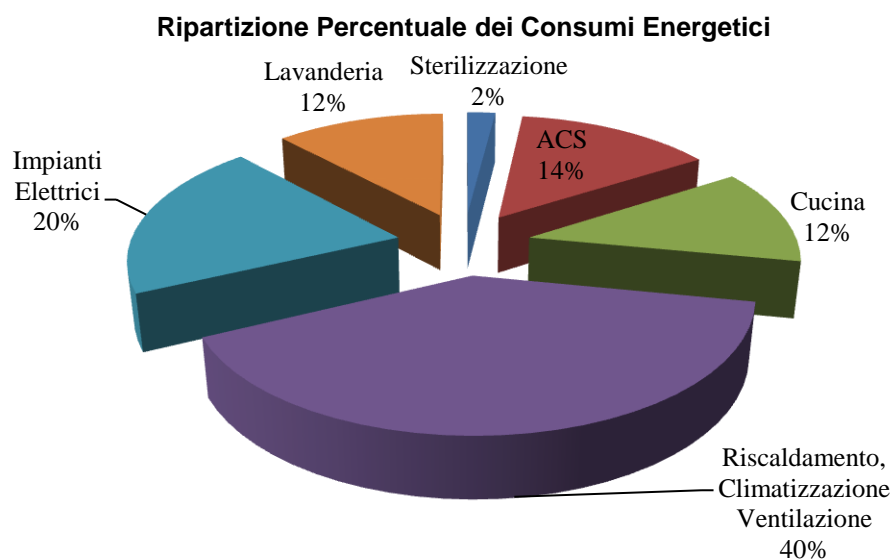
L'energia è l'elemento essenziale per la funzionalità delle strutture ospedaliere e per questo deve essere costantemente misurata e tenuta sotto controllo nei suoi principali aspetti tecnici, manutentivi, economico – finanziari e amministrativi. L'ospedale, infatti, è caratterizzato da un funzionamento continuo e da elevati consumi specifici, legati alla presenza di degenti all'interno, che oltre al mantenimento delle condizioni microclimatiche, richiedono tutti i servizi legati alla loro permanenza e all'assistenza medica.

L'ospedale utilizza sostanzialmente due forme di energia, con una ripartizione percentuale che può essere approssimativamente schematizzata in questo modo:

- Energia elettrica: 15-20%
- Energia termica: 80-85%

La complessità delle diverse forme di energia usate in una struttura ospedaliera viene determinata in base alle necessità di approvvigionamento delle singole unità operative e, pertanto, può essere molto diversa da ospedale a ospedale.

In linea del tutto generale, i consumi energetici all'interno di un ospedale possono essere schematizzati come segue:



*Figura 1.1: Ripartizione percentuale dei consumi di energia totale in un ospedale italiano
(Fonte: elaborazione dati Enea [17])*

Come si può notare, i maggiori consumi energetici di una struttura ospedaliera sono imputabili al calore a bassa temperatura (inferiore a 100°C), necessario per il riscaldamento di ambienti e per compensare le perdite di calore derivanti dalle necessità di ventilazione.

Anche i grandi impianti di cucina e lavanderia sono da annoverare tra i consumi energetici maggiori degli ospedali, sebbene vi sia negli ultimi anni la tendenza a dare in appalto a ditte esterne la fornitura di tali servizi.

Un altro settore che consuma calore, ma questa volta a temperature più elevate, è quello della disinfezione e sterilizzazione. Mentre il riscaldamento ed il condizionamento d'aria si approvvigionano dall'impianto di riscaldamento, utilizzando come vettore termico acqua calda, per le altre utenze occorrono di norma più alti livelli di temperatura. Per questa ragione molti ospedali sono dotati di caldaie a vapore a media o alta pressione, e con potenza nominale a volte sovradimensionata rispetto alle reali necessità.

Rilevanti consumi di freddo derivano dagli impianti di condizionamento d’aria e simili, quali ad esempio gli ambienti di refrigerazione tipici dei reparti di Patologia e le celle frigorifere per l’immagazzinamento di farmaci e generi alimentari. In genere, per la produzione del freddo vengono utilizzate gruppi frigoriferi a compressione azionati elettricamente, i quali a causa del loro elevato fabbisogno elettrico, contribuiscono notevolmente al carico di punta dell’ospedale, che a sua volta incide sul costo della bolletta elettrica.

Per la determinazione del fabbisogno totale di energia in una struttura ospedaliera non basta considerare soltanto le dimensioni della struttura ed il numero dei posti letto (quindi il grado di occupazione, come invece potrebbe risultare per una civile abitazione), ma è necessario tenere presente anche altri fattori, quali:

- l’involucro dell’edificio ospedaliero, quindi l’anno di realizzazione, il tipo di costruzione, i materiali, anche se, generalmente su edifici esistenti e di apprezzabili dimensioni come una struttura ospedaliera, gli interventi sull’involucro risultano particolarmente costosi e caratterizzati da notevoli tempi di ritorno dell’investimento;
- condizioni climatiche, quindi il territorio e la zona in cui si trova la struttura che si vuole analizzare;
- vettori energetici impiegati;
- funzioni, specializzazioni, tipologie ed intensità delle prestazioni mediche fornite dalla struttura, nonché il grado di occupazione dei posti letto;
- dotazioni tecnologiche della struttura, sia in termini di apparecchiature prettamente mediche e diagnostiche che in termini di attrezzature meccaniche, quali pompe, compressori...
- livello di qualità della manutenzione dell’impiantistica.

Per queste ragioni il fabbisogno di calore e di elettricità di un ospedale può essere predetto e stimato solo approssimativamente, se non si dispone di strumenti di monitoraggio realizzati appositamente per individuare i carichi associati alla struttura e di software di simulazione del comportamento del “sistema edificio-impianto”.

1.3 Impianti termici

Le numerose attività che si svolgono all'interno di un ospedale fanno sì che quasi tutte le tipologie degli impianti di climatizzazione trovino la loro applicazione, se si considera che solitamente, a fianco di reparti specialistici (quali sale operatorie o reparti infettivi) dove sono richiesti i sistemi più sofisticati, si hanno magazzini o le cucine, che richiedono condizioni di ventilazione differenti.

Nella scelta del tipo di impianto devono quindi essere individuati attentamente i requisiti delle aree servite e i vincoli normativi [18]; inoltre devono essere valutati gli oneri gestionali legati alle varie soluzioni possibili, per consentire il raggiungimento di un'ottimizzazione tecnico – economica. Questo obiettivo può essere raggiunto limitando, ad esempio, il condizionamento estivo allo stretto necessario o garantendo il massimo contributo dell'aerazione naturale agli ambienti dove è accettabile un non completo controllo della qualità dell'aria.

I sistemi di climatizzazione, a differenza della maggior parte delle dotazioni impiantistiche dell'ospedale, sono largamente influenzati dalle caratteristiche morfologiche dell'edificio e dall'ubicazione geografica dell'ospedale: se infatti per reparti e ambienti specialistici non è accettabile rinunciare al completo controllo delle condizioni ambientali interne, ovunque si trovi l'ospedale, per altri ambienti, quali atri, corridoi e locali tecnici è possibile realizzare un trattamento diverso a seconda di dove si trova l'ospedale, in termini di condizioni climatiche, e delle soluzioni architettoniche adottate (ad esempio, notevole incidenza sulla climatizzazione è data dalla presenza di ampie superfici vetrate e dall'orientazione dell'ospedale stesso).

Come detto, le condizioni climatiche interne variano in funzione delle destinazioni d'uso dei locali e dei reparti; i parametri che intervengono a definire la “qualità ambientale” in ambito ospedaliero sono identificabili in:

- temperatura;
- qualità dell'aria di rinnovo;
- umidità relativa;
- grado di purezza dell'aria, quindi filtrazione;
- velocità dell'aria immessa negli ambienti;
- livello di pressione tra i diversi locali;

- capacità radiante delle pareti (parametro che però non può essere controllato mediante gli impianti termici).

In Italia non esiste uno specifico corpus normativo - legislativo direttamente cogente in materia di climatizzazione di ospedali; per realizzare un quadro in materia di climatizzazione e parametri termoigrometrici occorre riferirsi a: Circolare Ministeriale LL.PP. n° 13011 del 22 novembre 1974, recante “Requisiti fisico – tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione” [15] e alla Norma UNI 10339 “Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti” [19].

Tuttavia, la normativa nazionale in materia, contenuta nella Circolare Ministeriale 13011/1974, risulta particolarmente carente, poiché riporta solamente le indicazioni relative a temperatura, umidità relativa e portate di ventilazione di degenze e “altri locali”, senza definire esattamente di quali ambienti ospedalieri si tratti; in particolare si citano le seguenti condizioni:

- Temperatura:
 - $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$: per i reparti di degenza, mentre non è fornita alcuna indicazione specifica per gli altri locali.
- Umidità relativa:
 - $40\% \pm 5\%$: per le degenze, e anche in questo caso non vengono fornite indicazioni specifiche per gli altri locali ospedalieri.
- Ventilazione, in termini di ricambi d’aria orari:
 - 2 ÷ 3 ricambi orari per le degenze
 - 6 ricambi orari per i reparti di diagnostica e speciali, come le sale operatorie, le aree di rianimazione.
 - 12 ricambi orari per i reparti di isolamento, che trattano quindi pazienti infettivi.
 - 10 ricambi all’ora per i servizi.

La circolare esclude poi qualsiasi tipo di ricircolo d’aria nei reparti speciali, di diagnostica e infettivi, mentre per le degenze non viene esplicitamente riportata l’esclusione, ma la buona pratica ospedaliera ha evidenziato un orientamento in tale senso anche per le degenze. Viene infine richiesto che la ventilazione sia di tipo forzato, con opportuni filtraggi d’aria.

Indicazioni complementari a quelle appena citate, sono contenute nella norma UNI 10339, soprattutto riguardo alle portate d’aria esterna di ventilazione e alla relativa filtrazione e alla velocità dell’aria all’interno dei locali.

Tali indicazioni, pur essendo un riferimento normativo ben preciso, risultano essere molto carenti, in quanto non forniscono alcuna indicazione relativamente ai valori massimi di temperatura e di umidità relativa da considerare ottimali per i diversi locali all’interno del reparto.

Ad esempio, la temperatura interna di 20°C riportata dalla Circolare Ministeriale n° 13011 non può essere applicata a tutti gli spazi: può sicuramente essere interpretata come un “minimo” di temperatura da garantire, ma in alcuni reparti, che trattano pazienti con determinate patologie mediche, sono richieste temperature ben superiori, fino a 24°C -26°C. Lo stesso si può dire per il valore di umidità relativa stimato al 40%: può risultare valido per i reparti di degenza nel periodo invernale, ma in estate risulta sicuramente basso e in alcuni reparti, che trattano pazienti con patologie specifiche, come ad esempio gli ustionati, non è un valore accettabile con la terapia.

La strada da seguire per ottenere un quadro completo sulla qualità, non solo termo – igrometrica, in ospedale, prevede di analizzare, da un lato, quanto riportato nelle principali normative internazionali, come ad esempio la normativa tecnica tedesca *DIN 1946/87* e le normative/raccomandazioni americane *ASHRAE*, dall’altro quanto contenuto all’interno della normativa vigente in termini di accreditamento delle strutture sanitarie.

Nello specifico, il [20] ha stabilito i requisiti minimi che gli erogatori di cure, pubblici o privati devono possedere, e ha dato indicazioni alle Regioni affinché individuino i requisiti ulteriori per l’accreditamento.

Il percorso per l’accreditamento - così come è stato interpretato nella regione Emilia Romagna a partire dalla Legge Regionale n° 34 del 12 ottobre 1998, che ha recepito il DPR sopra citato e ha definito la materia in merito ad autorizzazione e accreditamento delle strutture sanitarie, socio-sanitarie e socio-assistenziali - ha comportato l’assunzione di una serie di provvedimenti da parte della Giunta Regionale.

In particolare, la norma regionale di più ampio interesse in materia di accreditamento e quindi di qualità del servizio sanitario offerto è la Delibera della Giunta Regionale n° 327, del 23 febbraio 2004 “*Applicazione della L.R. 34/98 in materia di autorizzazione e di*

accreditamento istituzionale delle strutture sanitarie e dei professionisti alla luce dell'evoluzione del quadro normativo nazionale” [21]; in allegato a questa norma sono riportati i “*Requisiti generali e specifici per l'autorizzazione al funzionamento delle strutture sanitarie*” suddivisi per locali ospedalieri.

Per ciascun ambiente vengono forniti requisiti strutturali, requisiti impiantistici, requisiti tecnologici e requisiti organizzativi.

Si procede ora con una descrizione più dettagliata dei principali reparti che si individuano all'interno di un ospedale di tipo policlinico, facendo particolare riferimento all'impiantistica termica installata, secondo quanto descritto all'interno del manuale “*Gli impianti Ospedalieri. Guida alla progettazione integrata*”, G. Martinazzoli [18].

- Degenze

Le camere di degenza rappresentano, all'interno dell'ospedale, l'area con maggior fattore di utilizzo.

Dal punto di vista dei requisiti impiantistici, si può distinguere tra degenze normali, cui fanno riferimento la maggior parte dei reparti, e degenze particolari rappresentate essenzialmente da malattie infettive, geriatria, psichiatria e pediatria – neonatologia.

- Degenze normali:

tradizionalmente l'impianto di climatizzazione si limitava al solo mantenimento delle condizioni interne di temperatura invernale; in seguito, i requisiti di igiene hanno imposto un ricambio di aria esterna con sistemi meccanici, che ha spinto ad adottare soluzioni con impianti di termoventilazione o di condizionamento.

Le caratteristiche generali che deve avere l'impianto sono quindi:

- Garantire una temperatura interna con valori tra $21 \div 23^{\circ}\text{C}$ in inverno e $27 \div 28^{\circ}\text{C}$ in estate e il controllo dell'umidità relativa tra 40% e 50%.¹
- Consentire un ricambio d'aria minimo necessario al mantenimento delle condizioni igieniche (2vol/h) con un'adeguata filtrazione;
- Consentire la regolazione della temperatura per zone omogenee, in base alle esigenze del reparto;
- Eliminare gli odori provenienti dalle camere e dai servizi, mediante appositi impianti di estrazione.

¹ È stato verificato, su un campione di degenti, che l'80% di essi trova normalmente soddisfacente una temperatura interna, in estate, di 27°C con umidità relativa al 50%.

A ciò si aggiungono alcune prescrizioni di carattere generale, che assumono notevole importanza in questi reparti di degenza, ossia l'economicità di esercizio, in relazione all'incidenza in termini volumetrici delle degenze sull'intera infrastruttura e in termini di continuità del servizio svolto, la bassa rumorosità dell'impianto stesso e la presenza di terminali che limitino l'accumularsi di polvere e batteri.

- **Reparto infettivi**

L'impianto di climatizzazione deve garantire, oltre ad un adeguato ricambio d'aria, un corretto flusso dello stesso, mantenendo diversi livelli di pressione interna; in relazione al tipo di degente si può avere una prima classificazione di base, in:

- Malati immunodepressi, che devono essere protetti e preservati dall'ambiente esterno;
- Malati contagiosi, da cui è necessario proteggere l'ambiente esterno.

In base a questa distinzione deve essere garantito un diverso livello di pressione tra la camera di degenza e l'area esterna; posto che comunque la camera di degenza per infettivi deve essere comunque separata dal corridoio da una zona filtro. Gli impianti di climatizzazione, inoltre, devono rispondere ai seguenti requisiti:

- Deve essere effettuata una filtrazione sia sull'aria di immissione che su quella di estrazione;
- Non è ammesso alcun ricircolo d'aria, nemmeno dopo la filtrazione;
- Devono essere differenziati gli impianti a servizio delle camere di degenza che sono caratterizzati da un funzionamento continuo 24 ore su 24 da quelli a servizio degli altri reparti, sempre infettivi, ma che hanno funzionamento per sole 12 ore (Day Hospital, studi medici...).

- **Reparto pediatrico neonatale**

La C.M. 13011/1974 indica un ricambio pari a 3 vol/h, che aumenta a 10 vol/h per il reparto di nursery; i valori ottimali di temperatura e umidità relativa sono pari a 25 °C e 50% di umidità relativa, sia in estate che in inverno.

Occorre inoltre considerare che la zona nursery è caratterizzata da un'elevata concentrazione di apparecchiature, in particolare incubatrici e lampade per

fototerapia, che rappresentano un carico termico interno di cui è necessario tener conto nel dimensionamento dell’impianto e nella sua regolazione. Inoltre, in questo reparto, l’incidenza delle vetrate è molto più elevata, per favorire l’illuminamento naturale che si ritiene avere effetti positivi sui bambini.

▪ Reparto operatorio

Il reparto operatorio, e in particolare le sale operatorie, rappresentano uno dei nuclei tecnologicamente più avanzati all’interno dell’ospedale; i parametri ambientali sui quali deve essere effettuato un controllo sono la temperatura, l’umidità relativa, il grado di concentrazione dell’aria e la velocità di immissione del flusso d’aria negli ambienti. Nella tabella di seguito sono riportati i principali parametri igrometrici delle principali aree operatorie presenti in un ospedale policlinico:

Tabella 1.1: Valori igrometrici dei principali locali operatori (Fonte: elaborazione dati [18])

<i>Locale</i>	<i>Temperatura di bulbo secco (°C)</i>	<i>Umidità relativa (%)</i>	<i>Portata d’aria esterna (vol/h)</i>	<i>Pressione</i>	<i>Filtrazione</i>
Sala operatoria	21 ÷ 25 regolabile	55 ÷ 60	20	Positiva	Assoluta
Preparazione chirurghi	23 ÷ 25	50	8	Positiva	Alta efficienza
Preparazione pazienti	23 ÷ 25	50	10	Neutra	Alta efficienza
Risveglio	23 ÷ 25	40	10		Alta efficienza
Sterilizzazione	26 ÷ 28	50	12	Negativa	Alta efficienza

La tecnologia attualmente più utilizzata per la climatizzazione dei reparti operatori è quella delle camere bianche², dove accanto a una elevata filtrazione dell’aria viene garantito un elevato numero di ricambi con immissione dell’aria a bassa velocità. Questo viene fatto per garantire, oltre al controllo della temperatura e dell’umidità, anche l’abbattimento dei contaminanti mediante filtrazione e riduzione della loro concentrazione, grazie alle elevate portate in gioco.

² Si definisce camera bianca un ambiente dove è garantito un volume d’aria di ricambio a contaminazione controllata; sono classificate secondo le norme American Federal Standard 209D in base al massimo numero di particelle contaminanti di dimensione pari a 0.5µm/ft³.

Le sale operatorie devono essere mantenute in sovrappressione rispetto alle aree limitrofe, in particolare rispetto agli ambienti di servizio del blocco operatorio, che però devono essere a loro volta in sovrappressione rispetto alle altre aree dell'ospedale, quali i corridoi di accesso al reparto. Infine, nel dimensionamento e nella regolazione dell'impianto è opportuno tenere presente la presenza di elevati carichi interni dovuti alle apparecchiature e agli occupanti.

▪ Terapie intensive

I reparti di terapia intensiva, sebbene possano presentare notevoli differenze dal punto di vista della configurazione interna, hanno diversi requisiti comuni:

- Necessità di un elevato numero di ricambi d'aria esterna;
- Controllo della temperatura e dell'umidità relativa nel periodo invernale e estivo;
- Elevati carichi interni dovuti alle apparecchiature elettromedicali;
- Notevole incidenza dell'illuminazione sui carichi interni, in quanto è sempre più frequente la collocazione di tali reparti all'interno dei cosiddetti *piani piastra*, in aree cioè dove l'illuminazione naturale è molto ridotta; inoltre la mancanza di finestre rende indispensabile l'impianto di ventilazione meccanica;
- Elevato livello di flessibilità negli impianti, in quanto in questo reparto, più che in altri, sono richiesti ampi spazi per la movimentazione delle apparecchiature.

Inoltre, all'interno delle aree intensive è possibile individuare aree omogenee dal punto di vista del funzionamento dell'impianto di climatizzazione, ossia zone in cui il paziente si sottopone a terapie per poi rientrare nel reparto di degenza competente, come ad esempio il reparto di emodialisi e di medicina nucleare; altre aree, quali la rianimazione o il reparto grandi ustionati sono utilizzati 24 ore su 24, con la costante presenza sia del paziente che del personale medico. È quindi necessario che l'impianti di condizionamento sia almeno suddiviso in due unità, distinte in base agli orari di funzionamento dei reparti.

Dovrà inoltre essere garantita un'elevata filtrazione dell'aria e un controllo molto rigoroso del microclima, prevedendo anche una pressione positiva rispetto alle aree limitrofe.

▪ Laboratori

I laboratori richiedono un elevato ricambio di aria (il valore minimo di ricambi d'aria imposto dalla normativa, pari a 6 vol/h, che il valore consigliato, pari a 12 vol/h), con pressione negativa rispetto agli ambienti circostanti, oltre al controllo delle condizioni interne di temperatura e umidità relativa, sia nel periodo estivo che invernale.

Un aspetto molto particolare dei laboratori è legato alla presenza delle cappe aspiranti, caratterizzate da elevate portate d'aria, dell'ordine di $300 \div 500 \text{ m}^3/\text{h}$ ciascuna, e da un funzionamento altamente discontinuo.

La loro presenza all'interno del laboratorio e il loro funzionamento possono portare a una variazione del bilancio dell'aria all'interno del locale: si deve quindi porre particolare attenzione nel dimensionamento degli impianti sia di condizionamento che di estrazione, che devono essere coordinati con il funzionamento delle cappe.

▪ Uffici e studi medici

Gli ambienti destinati a uffici e gli studi medici sono normalmente dotati di impianto di condizionamento estivo e invernale. La soluzione più idonea è quella con impianto ad aria primaria e fancoils, poiché consente di ottenere una regolazione per singolo locale accompagnata da una minimizzazione dei costi di impianto.

▪ Cucina

Gli ambienti destinati a cucina hanno essenzialmente esigenze di ventilazione e di smaltimento del calore sviluppato dalle attrezzature; è quindi necessario installare un sistema di condizionamento o per lo meno di raffrescamento degli ambienti.

Inoltre è opportuno che l'area cucina sia mantenuta in depressione rispetto agli ambienti circostanti per evitare la fuoriuscita di odori, prevedendo un layout tale da inviare l'aria dalle zone pulite, di preparazione dei cibi, alle aree sporche (come ad esempio il lavaggio delle stoviglie).

Il ricambio d'aria, mediamente pari a $5 \div 8 \text{ vol/h}$, deve avvenire con aria esterna, al fine di consentire l'abbattimento dell'umidità relativa; nella zona di preparazione e cottura dei cibi deve essere garantito un ricambio d'aria superiore alle altre zone, pari a $25 \div 50 \text{ vol/h}$, realizzato mediante cappe di aspirazione.

1.4 Impianti elettrici

L'attività medica è sempre coadiuvata da strumentazione alimentata con energia elettrica; in generale, il criterio di dimensionamento e le caratteristiche degli impianti elettrici è ampiamente definito dalle norme CEI [22], [23] che, in ambito ospedaliero, forniscono notevoli informazioni relative alla sicurezza e alla funzionalità elettrica.

L'impianto elettrico dell'ospedale, inteso come illuminazione e distribuzione della forza motrice deve garantire i requisiti di affidabilità, continuità e flessibilità.

Si rende quindi necessario effettuare una classificazione delle utenze in base alla priorità di continuità del servizio, si possono individuare due tipologie di alimentazione principale:

- Utenze normali, costituite dall'illuminazione normale e da tutte le apparecchiature, elettromedicali e non, per le quali l'interruzione del funzionamento non ha conseguenze vitali;
- Utenze privilegiate, ossia quelle legate alla sicurezza e quelle³ per cui l'interruzione dell'alimentazione può portare seri danni per i pazienti, il personale, nonché la perdita di dati importanti (ad esempio: luci di emergenza, impianti di allarme, apparecchiature di terapia e monitoraggio...)

All'interno delle utenze privilegiate, è necessario distinguere quelle per cui è richiesta la continuità assoluta, come luci di sicurezza e macchinari elettromedicali di importanza vitale, realizzata con gruppi statici di continuità, da quelle per le quali è ammissibile una interruzione di alcuni secondi necessari all'intervento del gruppo elettrogeno.

Dal punto di vista distributivo, l'impianto elettrico di un ospedale è normalmente costituito da:

- Una o più cabine di trasformazione da media tensione e bassa tensione, alimentate dalla rete esterna, solitamente collegate tra loro secondo un anello in media tensione di tipo aperto per consentire interventi di manutenzione;
- Diversi impianti di autoproduzione (gruppi elettrogeni) per le situazioni di emergenza;
- Quadri di bassa tensione;

³ La maggior parte delle utenze riesce ad accettare microinterruzioni dell'alimentazione elettrica e consente quindi la commutazione da rete normale a rete di emergenze (gruppo elettrogeno).

- Rete primaria di distribuzione, suddivisa tra energia normale e energia privilegiata, che collega i quadri generali di cabina ai quadri di zona;
- Quadri di zona o di reparto;
- Rete di distribuzione secondaria, all'interno del reparto interessato, solitamente suddivisa tra percorsi luce e percorsi forza motrice.

Più interessante e dettagliato è quanto prescritto a livello normativo relativamente all'illuminazione in ambito ospedaliero. La luce nell'ospedale, in tutti i diversi ambienti che lo compongono, quindi sia nello studio medico, che nei locali di attesa e di sosta, deve soddisfare due esigenze diverse: quelle del personale addetto, che richiede un'illuminazione ottimale per il lavoro quotidiano, e quella dei pazienti, che desiderano un tipo di illuminazione “piacevole”, che non incrementi le patologie in atto. Inoltre, non devono essere dimenticate neppure le esigenze di gestione, secondo cui l'illuminazione deve garantire sicurezza e comfort per utenti e visitatori.

In ambito normativo, è opportuno fare riferimento alle disposizioni fornite da:

- Circolare Ministeriale n°13011 del 22 novembre 1974 “*Requisiti fisico tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere: proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione*” [24], la stessa citata nel precedente paragrafo relativamente al microclima ospedaliero.
- Norma UNI 10380:1994 e aggiornamento A1 “*Illuminotecnica - Illuminazione di interni con luce artificiale*” [25].
- Legge Regionale dell'Emilia Romagna 27/03/2000 n°17, RC 3.6.1 e 3.6.2 [26] che stabilisce il valore di luce media diurna da rispettare nei diversi ambienti in relazione ai differenti compiti visivi che vi si svolgono:
 - * Ambienti di degenza, diagnostica, laboratori: 3% di FLDm⁴ consigliati
 - * Sale di attesa, locali accessori: 1% di FLDm consigliati
 - * Uffici: 2% di FLDm consigliati

La circolare ministeriale si occupa specificatamente di definire l'impiego di luce naturale in ambito ospedaliero, relativamente all'uso corretto di luce naturale nei locali, mentre il

⁴ FLDm, fattore di luce diurna medio, è definito come rapporto in percentuale, fra l'illuminamento medio dello spazio chiuso e l'illuminamento esterno ricevuto, nelle identiche condizioni di tempo e di luogo, dall'intera volta celeste su una superficie orizzontale esposta all'aperto, senza irraggiamento diretto del sole.

requisito cogente della Regione Emilia Romagna definisce i limiti generici da rispettare nel caso di impiego di luce naturale in specifiche condizioni spaziali del locale in esame.

La Norma UNI 10380 fissa, per i vari tipi di locali di edifici di cura, i requisiti illuminotecnici più importanti secondo cui calibrare gli impianti di illuminazione artificiale, i valori limite con i quali è possibile confrontare i valori raggiunti con il solo contributo di luce naturale, in modo tale da rendere piacevole e confortevole la transizione tra gli apporti variabili di luce naturale e artificiale, quando quest’ultima viene impiegata.

Di seguito si descrivono le caratteristiche che devono possedere i principali locali ospedalieri, sia in termini di illuminazione che di forza motrice, al fine di fornire un quadro più dettagliato.

* Degenza

Il primo requisito che deve essere garantito nelle camere di degenza è l’illuminazione naturale, la più elevata possibile per consentire, oltre un buon livello luminoso, anche che il paziente abbia una buona vista sull’ambiente esterno. L’illuminazione artificiale deve essere suddivisa tra:

- Illuminazione generale di media intensità;
- Illuminazione ad alta intensità;
- Illuminazione di lettura, per singolo letto;
- Illuminazione notturna.

* Maternità, pediatria

In relazione alle specifiche attività esistono alcuni requisiti che differenziano l’impianto di illuminazione da quelli di altri reparti. In particolare è opportuno che nel nido si abbia un’illuminazione con spettro il più possibile vicino a quello naturale, per consentire il rapido riscontro di eventuali segni di malessere.

* Terapie intensive e camere operatorie

In questo reparto, così come in tutti gli altri dove il paziente è sottoposto a controlli e monitoraggi continui, si ha un’elevata quantità di strumenti elettromedicali, generalmente di tipo portatile o semifisso. È quindi necessario avere molta accortezza nel posizionamento delle prese, che devono essere alimentate con energia privilegiata di sicurezza, quindi sotto gruppo di continuità.

Capitolo 2: La Gestione dell’Energia nelle Strutture Ospedaliere

2.1 Introduzione

Il problema dell’energia rende indispensabile e indifferibile lo studio e la messa in atto di misure finalizzate alla razionale utilizzazione e al risparmio delle energie ad oggi disponibili; per *risparmio energetico* si intende quella operazione tecnologica che si ripromette l’obiettivo di ottenere la stessa produzione di beni e servizi (ovvero lo stesso beneficio) con minor consumo di energia, ed eventualmente a fronte di maggiori oneri di altra natura [27].

Sulla base della legislazione europea e nazionale attualmente vigente, il risparmio energetico riguarda tutte le categorie di utilizzi finali, ma è stato ampiamente incentivato nel settore residenziale e civile, privato e pubblico; in particolare, gli edifici pubblici, o comunque ospitanti pubbliche amministrazioni, devono svolgere un ruolo di guida nei confronti del resto della cittadinanza, diventando essi stessi più sensibili al problema e mostrando il loro interesse nei confronti di un tema così sentito in questi ultimi anni.

È a partire da questi concetti che, negli ultimi anni, si sono iniziate a sviluppare politiche di sensibilizzazione delle pubbliche amministrazioni, che hanno avviato, in molte realtà italiane e non solo, processi di monitoraggio e contabilizzazione dell’energia utilizzata.

La regione Emilia Romagna, da sempre molto sensibile e attiva nei confronti della sostenibilità energetica, ha visto fiorire, negli ultimi anni, diversi progetti finalizzati al risparmio nelle pubbliche amministrazioni e in particolar modo negli ospedali.

Considerata la rilevanza sociale ed anche sanitaria, in termini di prevenzione primaria, delle politiche ambientali ed energetiche e preso atto del Piano Energetico Regionale [5], il Servizio Sanitario Regionale dell’Emilia Romagna ha attivato, nel 2007, il programma denominato “Il Sistema Sanitario Regionale per uno sviluppo sostenibile” [28]. Esso prevede essenzialmente lo sviluppo di due progetti, continuativi nel tempo:

- miglioramento continuo del processo di gestione ambientale, in particolare in materia di trattamento dei rifiuti sanitari con riduzione delle quantità prodotte;
- qualificazione dei consumi energetici ed innovazione tecnologica nelle Aziende Sanitarie.

Nella fattispecie le azioni che le Aziende sanitarie devono intraprendere per il perseguimento degli obiettivi in campo energetico ed ambientale sono :

- avviare percorsi per la diagnosi e la certificazione energetica degli edifici;
- avviare un Sistema di Gestione Ambientale (SGA) nell'ottica della certificazione ambientale delle Aziende;
- rendere disponibili, a livello regionale, i dati informativi relativi alla gestione ambientale, con particolare riferimento agli aspetti riguardanti energia elettrica e termica;
- rendere disponibili immobili ed impianti per eventuali e condivise sperimentazioni di innovazione tecnologica, per la qualificazione dell'uso dell'energia e/o la riduzione dell'impatto ambientale
- informare, orientare e sensibilizzare gli operatori sanitari in materia di energia d ambiente per uno sviluppo sostenibile.

Ovviamente, tutte queste attività devono essere elaborate mantenendo inalterata l'assoluta e prioritaria garanzia della sicurezza e della continuità delle prestazioni sanitarie, che rappresentano l'obiettivo primario e imprescindibile di una Azienda Ospedaliera.

2.2 *Gestione dell'energia*

Le misure di risparmio energetico negli ospedali devono coniugare l'obiettivo di risparmio energetico e di difesa ambientale con la convenienza economica e con le specifiche esigenze operative della singola struttura ospedaliera in questione, in particolare per quanto concerne la qualità e l'affidabilità dell'approvvigionamento energetico.

Pertanto risulta particolarmente complesso elaborare e stilare una lista delle principali tecniche di risparmio da mettere in atto in ciascun ospedale. Tutto ciò che è ragionevole e praticabile nel singolo caso dipende dalla situazione del rispettivo ospedale.

Inoltre, parallelamente alle misure tecniche da realizzare per rendere efficienti gli impianti e gli involucri edilizi, vi sono anche modifiche puramente organizzative, miranti ai comportamenti di consumo, che possono avere un’incidenza non indifferente sul fabbisogno energetico. La valutazione delle opportunità di risparmio energetico scaturisce solitamente da una diagnosi energetica che evidenzia i consumi dell'organizzazione e individua le più rilevanti possibilità di conseguire interventi di recupero di efficienza energetica. Le diagnosi dovrebbero per quanto possibile essere eseguite secondo le indicazioni della norma UNI CEI/TR 11428:2011 [29].

In particolare, in un programma di risparmio energetico ospedaliero, si possono individuare 3 fasi principali:

- a) Fase 1, quasi immediata, che consiste nel portare le strutture esistenti, senza interventi di modifica, nelle condizioni di esercizio ottimale, eliminando guasti e malfunzionamenti, effettuando le regolazioni e le manutenzioni previste dal progetto;
- b) Fase 2, a medio termine, in cui si effettuano modifiche, migliorie ed ammodernamenti prevalentemente impiantistici;
- c) Fase 3, che comprende sostanziali migliorie (riqualificazioni energetiche) nelle strutture edili e conseguenti adeguamenti/ridimensionamenti nell’impianto termico ed elettrico.

Sulla base di quanto detto precedentemente, si possono distinguere diverse tipologie di interventi di risparmio energetico: interventi a costo zero, interventi gestionali, interventi strutturali.

I tipici interventi a costo zero consistono nella revisione dei contratti di fornitura di energia elettrica o di gas metano oppure nel miglioramento del rendimento di combustione attraverso operazioni di ordinaria manutenzione.

Gli interventi gestionali possono riguardare l’organizzazione della produzione oppure i programmi di manutenzione dei macchinari, al fine di riscontrare eventuali anomalie di funzionamento.

Occorre valutare, in particolare, se i vincoli costruttivi e impiantistici consentano di intervenire senza costi aggiuntivi per la risoluzione di incompatibilità fisiche, se i tempi di

recupero di eventuali investimenti siano troppo lunghi rispetto a quelli dei programmi di settore o degli esercizi nonché se le necessità finanziarie siano compatibili con le disponibilità e con le opportunità offerte da leggi di finanziamento o dal mercato.

I benefici sono proporzionali ai risparmi energetici, per cui risulta importante la quantificazione dei consumi prima e dopo l’investimento.

Si riporta di seguito una lista sintetica di quelle che possono essere ritenute le principali operazioni di risparmio, sia di tipo strutturale che di tipo impiantistico, tenendo conto, come si diceva, sia il tempo di ritorno dell’investimento che l’effettivo costo di realizzazione richiesto, facendo soprattutto riferimento a quanto riportato nelle *“Linee Guida per l’efficienza energetica del sistema ospedaliero ligure”* [30]:

- Coibentazione dell’involucro edilizio;
- Verifica dei dimensionamenti degli impianti;
- Manutenzione degli impianti esistenti;
- Cogenerazione e trigenerazione;
- Sostituzione dei vettori energetici (interventi di “Fuel Switch”);
- Illuminazione artificiale;
- Automazione impianti;
- Approvvigionamento elettrico;
- Ottimizzazione dei costi di gestione: realizzazione di un sistema decisionale.

2.3 Consumi di energia

Per affrontare un’analisi dettagliata della spesa energetica degli ospedali è fondamentale cercare di delineare un quadro nazionale dei consumi in questo settore. Purtroppo dati disaggregati sono di difficile reperibilità, principalmente perché i soggetti che li hanno raccolti, generalmente tramite affidamento di specifici incarichi contrattuali, non intendono divulgarli oppure sono tenuti a mantenere il segreto statistico. Un’ulteriore difficoltà nella raccolta d’informazioni dalle aziende sanitarie è dovuta allo scarso interesse che la dirigenza solitamente mostra nei confronti del problema del consumo energetico. Infatti, alla luce della bassa incidenza di questa spesa all’interno dell’economia complessiva di un’azienda sanitaria, essa può risultare poco propensa a interventi migliorativi. In particolare, nel bilancio complessivo del Sistema Sanitario Nazionale (99 miliardi di euro nel 2006)

l’approvvigionamento di combustibile (escluso quello per il trasporto a motore) e il rifornimento di energia elettrica incidono per circa il 2%. Queste due spese infatti corrispondono, rispettivamente, al 5% e al 2.2% della quota di bilancio relativa a beni e servizi, la quale, a sua volta, è pari al 27% della spesa totale [31]. A livello regionale questi valori si discostano di poco. Abbiamo dunque a che fare con una spesa per l’energia bassa in senso relativo, ma decisamente significativa in senso assoluto per il Paese, poiché corrispondente a quasi 2 miliardi di euro annui. Non va inoltre dimenticato che un miglioramento dell’efficienza energetica non deve per forza tradursi soltanto in un vantaggio economico rilevabile in bolletta, ma può essere anche impiegato per incrementare il benessere termoigrometrico e la salubrità degli ambienti, a maggior ragione visto il fine stesso degli edifici in esame e la particolare condizione in cui si trovano i suoi utenti.

Fortunatamente la nomina dell’Energy Manager (responsabile per l’uso razionale dell’energia) è obbligatoria per tutte le aziende ospedaliere pubbliche o private che superino 1000 TEP annue di consumo energetico. Ogni anno, nel modulo di nomina del dirigente da parte della struttura sanitaria, viene comunicato il consumo totale che giustifichi l’adempimento alla legge. Queste informazioni sono raccolte dalla FIRE per conto del Ministero dello Sviluppo Economico. In assenza di una vera e propria anagrafe dei consumi, essi rappresentano i dati disaggregati più numerosi e maggiormente distribuiti sul territorio nazionale. D’altro canto, in questi conteggi sono escluse tutte le aziende che, nonostante l’obbligo di legge, non hanno ancora provveduto alla nomina dell’Energy Manager, oltre alle innumerevoli realtà ospedaliere medio-piccole, con consumi inferiori al limite della kTEP annua. Dei suddetti dati, la FIRE ci ha gentilmente fornito i valori aggregati per regione e per somma di consumi elettrici e termici, relativi all’anno 2007 (vedi Tabella 7 e Figura 1). In Tabella 7 sono stati inoltre sommati, per ogni regione, i posti letto degli ospedali provvisti di Energy Manager. Il numero di posti letto del singolo ospedale, quando non fornito direttamente dal Ministero della Salute, è stato richiesto direttamente alle strutture sanitarie. I posti letto totali considerati sono circa un terzo dei posti letto disponibili in Italia in strutture pubbliche o private, per acuti e no.

Tabella 2.1: Consumi totali annui e numero di posti letto delle strutture sanitarie provviste di Energy Manager, divisi per regione (Fonte: elaborazione dati [18])

Regione	Consumi Totali TEP	Numero di Posti Letto	Consumi Specifici TEP/p.l.
Abruzzo	10.889,91	2283	4,77
Basilicata	82.182,80	1372	59,90
Calabria	5.559,72	642	8,66
Campania	9.354,37	1259	7,43
Emilia Romagna	59.472,80	8746	6,80
Friuli	14.990,43	2261	6,63
Lazio	59.650,60	5906	10,10
Liguria	17.708,28	2559	6,92
Lombardia	486.031,00	19838	24,50
Marche	41.143,20	948	43,40
Molise	10.007,49	1843	5,43
Piemonte	94.401,60	6648	14,20
Puglia	49.675,84	5858	8,48
Sardegna	9.367,00	2465	3,80
Sicilia	39.382,71	7473	5,27
Toscana	44.110,17	6903	6,39
Trentino	18.312,00	840	21,80
Valle d'Aosta	3.569,28	416	8,58
Veneto	70.125,72	10772	6,51

Due valori in Tabella 7 appaiono anomali: il consumo troppo elevato della regione Basilicata e il numero troppo basso di posti letto rilevati per la regione Marche. In ogni caso, anche escludendo queste 2 regioni dall'analisi, il consumo specifico, inteso come TEP per posto letto, oscilla notevolmente, da 3.8 TEP/p.l. della Sardegna a 24.5 TEP/p.l. della Lombardia. Questo fattore d'altra parte non può tener conto delle condizioni climatiche, che in parte giustificerebbero i bassi valori di consumo delle regioni insulari e quelli alti di regioni montane come il Trentino. Soprattutto l'indicatore di consumo per posto letto perde di significato se si considera il diverso livello di organizzazione delle strutture sanitarie, sulla strada del crescente utilizzo ambulatoriale e della diminuzione delle degenze, specialmente per le malattie croniche.

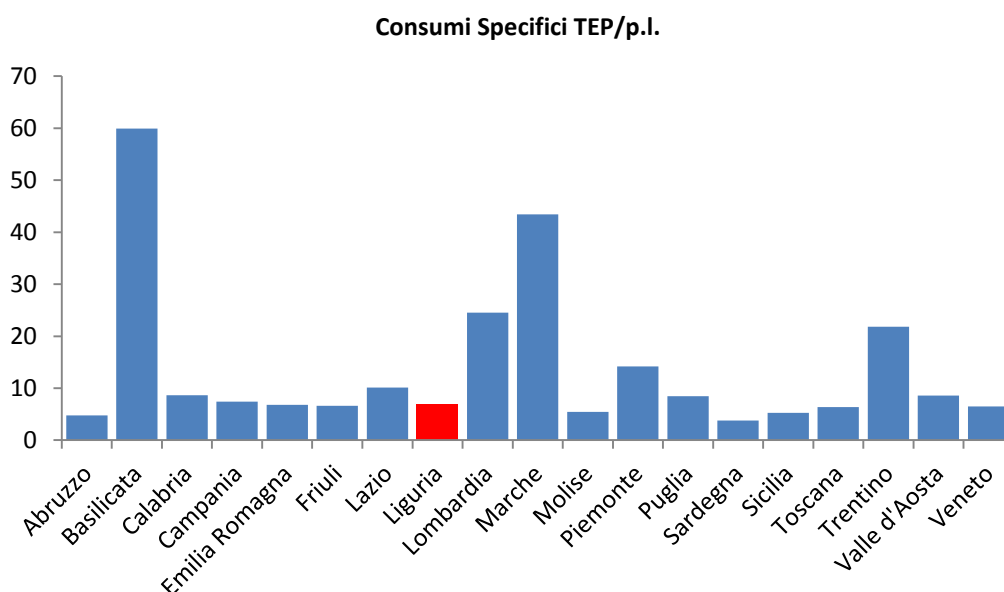


Figura 2.1: Consumi specifici aziende ospedaliere italiane (Fonte: [17])

In un diverso studio relativo alla sola regione Emilia Romagna e riferito a 22 aziende ospedaliere, si passa dalle 5.6 alle 34.6 TEP/p.l., a conferma della scarsa attendibilità di questo parametro. In conclusione si può affermare che, sebbene di facile reperibilità, il posto letto non risulta idoneo come indicatore di consumi specifici per la valutazione dell'efficienza energetica di un edificio ospedaliero. D'altra parte, anche indicatori apparentemente più adatti come il volume riscaldato e la superficie in pianta presentano limiti notevoli, non affrontando il problema di un'attenta caratterizzazione della destinazione d'uso dei singoli locali costituenti il complesso edilizio e del loro specifico contributo al consumo complessivo di energia.

Capitolo 3: L’Azienda Ospedaliero – Universitaria Policlinico di Modena

3.1 Introduzione

Sulla base di quanto stabilito a livello di Regione Emilia Romagna, all’interno del Piano Energetico Regionale, e alla luce di quanto contenuto nel programma “Il Sistema Sanitario Regionale per uno sviluppo sostenibile”, l’Azienda Ospedaliero – Universitaria Policlinico di Modena ha deciso di realizzare importante progetto di monitoraggio dei consumi energetici delle proprie strutture, al fine di contribuire attivamente alle normative regionali e soprattutto di poter ottenere notevoli risparmi energetici e, di conseguenza, finanziari.

Per realizzare questo progetto, l’Azienda Ospedaliero – Universitaria Policlinico di Modena si è affidata alla Facoltà di Ingegneria “Enzo Ferrari” dell’Università di Modena, con lo scopo di creare una collaborazione diretta tra i tecnici dell’Azienda Ospedaliera e i collaboratori universitari inseriti nel piano.

L’aumentata consapevolezza delle problematiche connesse con l’ambiente ha portato, negli ultimi anni, ad un’elevata attenzione, a livello globale, per il settore energetico.

A questo scopo, la Regione Emilia Romagna ha delineato una serie di provvedimenti finalizzati al risparmio energetico e alla razionalizzazione dei consumi, sia in campo privato, che, soprattutto, negli ambienti pubblici, nonché adibiti alle Pubbliche Amministrazioni.

Nello specifico, nel 2007, è nato l’importante progetto di monitoraggio e razionalizzazione dei consumi energetici per le strutture ospedaliere della regione, caratterizzate, in generale, da consumi molto elevati, non sempre gestiti in modo ottimale.

Alla luce di questi progetti, si è sviluppata un’importante convenzione tra l’Azienda Ospedaliero – Universitaria Policlinico di Modena e la Facoltà di Ingegneria “Enzo Ferrari” di Modena, al fine di caratterizzare e ottimizzare i consumi energetici della struttura ospedaliera Policlinico, con conseguente risparmio energetico ed economico.

Il presente lavoro di tesi è nato con lo scopo principale di proporre una metodologia semplice, efficace ed affidabile per raggiungere gli obiettivi di risparmio suddetti.

Al fine di individuare una metodologia realmente funzionante, si è proceduto dapprima con un inquadramento generale della struttura oggetto di indagine, sia in termini di edifici di cui è composta che, soprattutto a livello di impianti che la gestiscono. Le attività si sono sviluppate procedendo su due fronti distinti e ugualmente fondamentali:

1. Da un lato si è deciso di analizzare i consumi energetici, inizialmente elettrici, della struttura ospedaliera nel suo complesso, dotandosi di un importante strumento di monitoraggio che esprime, in tempo reale e con time step di 15 minuti, l'andamento dei consumi elettrici di una determinata zona posta sotto osservazione. Questa fase è stata propedeutica per individuare inefficienze, malfunzionamenti e sprechi presenti nella gestione energetica della struttura. A seguito di analisi realizzate sui dati di consumo, così ricavati, sono stati proposti vari interventi di efficientamento energetico del sistema elettrico del policlinico.
2. Dall'altro lato si è messa in atto una metodologia di indagine più specifica e di dettaglio per un edificio singolo situato all'interno complesso ospedaliero, al fine di realizzare un modello concettuale che potesse essere esportato e ampliato per il monitoraggio di tutte le altre strutture che compongono l'ospedale. Questa seconda fase ha previsto la realizzazione di sopralluoghi e di interviste al personale tecnico e medico che opera all'interno della struttura scelta, con lo scopo di individuare i reali profili di funzionamento e di utilizzo. Alla luce di queste informazioni si sono poi ipotizzati alcuni importanti risultati, che, se confermati da analisi più specifiche che saranno realizzate nei mesi futuri, permetteranno da un lato di ottenere risparmi energetici ed economici, dall'altro lato di convalidare la metodologia proposta che potrà quindi essere esportata, con maggiore sicurezza, agli altri comparti. Questa seconda fase rappresenta il lavoro scientifico illustrato in questa tesi.

Nello specifico, lo scopo di questa convenzione, della durata di due anni (2011-2013), è quello di effettuare il monitoraggio, l'analisi e l'ottimizzazione dei consumi energetici della struttura Policlinico, dapprima a partire dai carichi elettrici, che, in aziende di tali dimensioni, rivestono sicuramente un ruolo importante e soprattutto di più immediato risparmio, e successivamente, sulla parte termica, anch'essa decisamente importante per ottenere risparmi

(energetici e finanziari) significativi, ma che richiede modellizzazioni più complesse (analisi in regime dinamico) e di conseguenza tempi di analisi molto più lunghi.

Il progetto, sicuramente di lunga durata viste le dimensioni e la complessità interna che caratterizza una struttura ospedaliera, si articola in diverse fasi, ognuna con propri obiettivi specifici:

- fotografare lo stato dell’arte dei consumi energetici della struttura ospedaliera attraverso la caratterizzazione delle reti di alimentazione (elettrica e termica);
- implementare un sistema di monitoraggio dei consumi in real-time tramite l’installazione di un applicativo di analisi dedicato;
- individuare consumi reali e inefficienze energetiche di tipo elettrico del Policlinico;
- correggere inefficienze e ottimizzare i consumi elettrici e termici di un edificio “modello”, valutando i costi di investimento, i risparmi ottenibili e le modifiche apportate al “servizio” a seguito dell’applicazione di interventi di efficienza energetica.

Per poter sviluppare queste fasi si è messa in atto una metodologia di lavoro caratterizzata da diversi strumenti di indagine; per quel che riguarda la prima fase ci si è affidati alle Diagnosi Energetiche, per tutte le strutture dell’area ospedaliera. È a partire da questi documenti che si è potuto realizzare un importante inquadramento che ha permesso di comprendere la complessità (strutturale e organizzativa) di una Azienda Ospedaliera di notevoli dimensioni e importanza per il territorio modenese.

Per quel che riguarda le fasi di analisi e ottimizzazione dei consumi energetici, e in particolar modo elettrici, ci si è affidati ad un sistema di monitoraggio del carico elettrico in tempo reale, che rileva i dati di consumo energetico con un time step di 15 minuti e permette la creazione di grafici di energia e potenza elettrica in gioco, avvalendosi del software Nextep.

Lo scopo di questo lavoro di tesi, nella sua parte sperimentale, risulta quindi essere duplice:

1. Comprendere il funzionamento del software di monitoraggio implementato all’interno dell’azienda Policlinico, al fine di comprendere al meglio le sue potenzialità, da applicare all’analisi dei consumi, individuando eventuali sprechi, malfunzionamenti o

inefficienze per proporre soluzioni che possano contenere i consumi e i costi di approvvigionamento dei vettori energetici;

2. Individuare la migliore procedura di analisi, al fine di ottimizzare gli studi specifici che proseguiranno per il biennio di validità della Convenzione. La metodologia di analisi energetica proposta, prende origine dall'individuazione di un edificio “modello”, caso studio, che possa essere energeticamente autonoma e allo stesso tempo rappresentante di tutte le differenti e sensibili realtà presenti in una struttura ospedaliera. Essendo il Centro Oncologico Modenese (C.O.M.) un edificio in “isola” dal punto di vista edificio-impianto, con poche apparecchiature elettriche significative installate e con una vocazione all'assistenza prioritaria del malato, è risultato un ottimo “modello” dove sperimentare e affinare le valutazioni avanzate. Le procedure di calibrazione proposte in letteratura, presentano serie difficoltà nella reperibilità dei dati richiesti per il confronto, nella necessità di utilizzare ampie disponibilità computazionali e nei metodi iterativi lunghi e complessi, che ne limitano la possibilità di essere facilmente applicabili in strutture complesse da modellare e analizzare.

Questa tesi di dottorato si pone l'obiettivo di trovare un sistema di calibrazione, da applicare a un dettagliato modello di simulazione energetica in regime dinamico, basato sul confronto tra i dati di output della simulazione e i valori reali di consumo, con l'obiettivo di essere facilmente replicabile ed affidabile. La metodologia proposta viene applicata al “sistema C.O.M.” e si sviluppa secondo le seguenti azioni:

1. Dai dati ambientali e di consumi raccolti in real-time (Temperature, Elettricità, Gas), dal sistema di monitoraggio implementato, tramite l'applicativo Nextep [9], si costruisce la firma energetica [10], detta “firma energetica di riferimento”, della struttura oggetto di analisi, semplice e immediato strumento grafico di rappresentazione delle principali caratteristiche energetiche del “sistema edificio-impianto”;
2. A seguito di un preciso audit in campo, si crea un dettagliato modello dell'edificio con il supporto del software EnergyPlus [11]. I consumi ricavati come output dal modello, considerando le reali condizioni ambientali al contorno, vengono utilizzati per costruire la “firma energetica virtuale”;

3. Tramite il confronto della “firma energetica di riferimento” con la “firma energetica virtuale”, si valuta l’errore esistente tra i dati ottenuti dal modello e quelli reali. Nel caso in cui l’errore risulti superiore ai valori indicati dai principali riferimenti accettati in letteratura, si procede alla calibrazione del modello:
 - a. Variando a modello i singoli “parametri forti”, che influenzano maggiormente i consumi di una struttura ospedaliera, viene creata una sorta di “manuale dell’errore”, il quale correla una “firma energetica caratteristica” per ogni variazione di parametro apportata a modello;
 - b. Con l’ausilio del “manuale dell’errore”, viene interpretata e corretta la firma energetica virtuale, individuando e modificando i parametri influenti del modello per ottenere la calibrazione. La calibrazione viene ritenuta raggiunta, quando l’errore tra la firma energetica di riferimento e quella virtuale, risulta in accordo con standard e linee guida che trattano il tema della calibrazione dei modelli energetici simulati a software (ASHRAE Guidelines 14-2006: Measurement of Energy and Demand Saving [12]; M&V Guidelines: Measurement and Verification of Federal Energy Projects (FEMP) [13], International Performance Measurement and Verification Protocol [14]).
4. Realizzata la validazione del modello e quindi la calibrazione delle firme energetiche, è possibile applicare, simulare e valutare gli interventi di ottimizzazione energetica applicabili alla struttura oggetto di analisi.

Tramite questa semplice metodologia di calibrazione proposta, attraverso l’interpretazione e lo studio delle firme energetiche, è possibile analizzare e valutare le differenti reazioni del “sistema ospedaliero” a fronte delle azioni di ottimizzazione energetica proposte, simulate e calcolate sul modello a software, individuando così gli interventi di efficientamento che rappresentano la miglior soluzione per l’edificio oggetto di analisi.

Prima di procedere con la descrizione del software di monitoraggio e della metodologia di analisi, appare importante riportare, nei paragrafi successivi, la descrizione strutturale e impiantistica dell’Azienda Ospedaliera Policlinico di Modena, al fine di fornire al lettore tutte le informazioni necessarie per comprendere i passi che hanno portato allo sviluppo della metodologia di indagine e soprattutto per spiegare al meglio la reale complessità della struttura oggetto di analisi.

3.2 *Inquadramento*

3.2.1 *Edifici*

L'Azienda Ospedaliero - Universitaria Policlinico di Modena è un ospedale di insegnamento, sede della Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Modena e Reggio Emilia.

Si tratta di una serie di edifici, realizzati in epoche storiche differenti, a partire dagli Anni '30, situati in un'area circoscritta nella zona centrale della città di Modena, su una superficie coperta di 170'000 m² con un'area verde di 211'884 m².

Il Policlinico ospita complessivamente 980 posti letti per degenza ordinaria e day hospital, suddivisi per 31 discipline specialistiche.

Mediamente ogni anno, vengono trattati nei diversi reparti del Policlinico di Modena circa 780'000 pazienti, fornendo, ogni anno, 170'000 prestazioni di diagnostica e oltre 4 milioni di prestazioni di laboratorio, oltre che 22'000 interventi chirurgici e 50'000 ricoveri.

Da questa breve descrizione, si comprende facilmente come il complesso ospedaliero in oggetto sia particolarmente articolato, sia in termini di edifici che in termini di utenze aziendali.

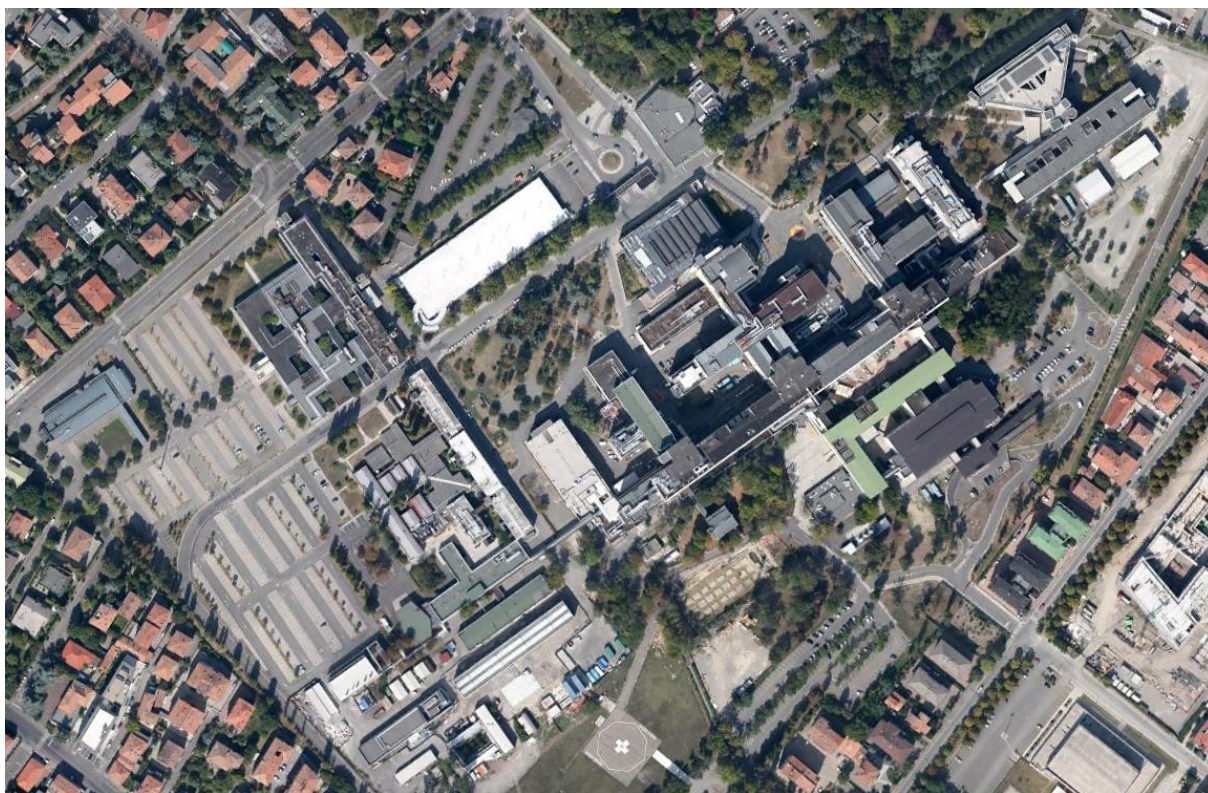


Figura 3.1: Inquadramento generale degli edifici che costituiscono il comparto ospedaliero dell'Azienda Ospedaliero – Universitaria Policlinico di Modena (Fonte: Google Maps)

Nello specifico, il Policlinico di Modena comprende al suo interno 25 edifici, di seguito elencati gli stabili principali, rappresentati nell’immagine sopra riportata:

- Monoblocco, composto a sua volta da diversi corpi di fabbrica, non necessariamente collegati a un preciso reparto medico;
- Palazzina Malattie Infettive;
- Centro Oncologico Modenese;
- Pneumologia;
- Nuovo Blocco Tecnologico;
- Poliambulatorio (Proprietà AUSL);
- Camere Ardenti;
- Modena Soccorso;
- Centro Servizi Università (Proprietà Università di Modena e Reggio Emilia);
- Istituti Anatomici (Proprietà Università di Modena e Reggio Emilia).

Come si può notare, si tratta di una struttura ospedaliera particolarmente complessa, che necessita di analisi più dettagliate. In particolare, avvalendosi dei dati estratti dalle Diagnosi Energetiche dei diversi blocchi che compongono il Policlinico, si è deciso di realizzare, per alcuni dei blocchi principali che compongono il Policlinico di Modena e che saranno sede di monitoraggio energetico, una scheda contenente le principali informazioni su questi edifici.

Di seguito si riporta una breve descrizione di quanto contenuto all’interno delle suddette schede in termini di dimensioni e reparti; in allegato al presente lavoro di tesi si riportano tutte le altre tabelle, analoghe a questa in termini di contenuti.

Per ciascun edificio del complesso ospedaliero preso in considerazione nelle Diagnosi Energetiche, si riportano le seguenti informazioni:

- Localizzazione dell’edificio all’interno del perimetro ospedaliero: si è riportata una foto aerea della zona del Policlinico, in cui si è messa in evidenza l’area specifica dell’edificio considerato, sotto la quale si è inserita una breve descrizione. Oltre all’informazione prettamente visiva, si riportano anche i dati climatici di progetto dell’area, le caratteristiche strutturali sia delle murature che degli elementi vetrati e la tipologia di ricambi d’aria.

- Caratteristiche dell’impianto termico: si riportano, oltre ai giorni di accensione dell’impianto di riscaldamento, peculiarità dell’impianto in termini di generazione, distribuzione, emissione e regolazione, nonché, ove presente, le modalità di produzione dell’acqua calda sanitaria.
- Caratteristiche dell’impianto elettrico: si descrive, in modo analogo per tutti gli edifici considerati, il sistema elettrico che alimenta l’edificio, senza addentrarsi nel dettaglio dei singoli quadri elettrici e delle utenze da essi alimentate; individuare le utenze ospedaliere, infatti, risulta piuttosto problematico perché esse tendono a modificarsi nel tempo.
- Analisi energetica: si riportano i principali indicatori energetici estratti dalle Certificazioni Energetiche dell’edificio (anch’esse realizzate dalla ditta CPL Concordia nel 2010) in termini di fabbisogno annuo di energia primaria. Per maggiore chiarezza si è riportata anche la classe energetica così come schematizzata nel DGR n° 1362/2010, al fine di individuare, graficamente, in che classe si va ad inserire l’edificio. Si tratta chiaramente di valori indicativi e poco utili ai fini del monitoraggio che si intende portare avanti, poiché esso richiede, almeno preliminarmente, un’analisi più dettagliata dei carichi presenti all’interno degli edifici e dei fattori di utilizzo.

3.2.2 Reti di alimentazione delle strutture

Dal punto di vista della distribuzione, all’interno del presidio ospedaliero si possono individuare tre linee distinte:

- Linea di circolazione del fluido freddo, che parte dalla centrale frigorifera (J3) e raggiunge tutti gli edifici che compongono l’ospedale, mantenendo la temperatura il più possibile costante (alcuni studi hanno rilevato che l’acqua parte dalla centrale frigorifera a una temperatura di circa 6°C e raggiunge l’edificio più lontano, il C.O.M., con una temperatura di circa 6,2°C).

In particolare quasi tutti gli edifici, ad esclusione di alcuni, sono dotati di sottocentrali frigorifere di scambio (uno scambiatore di calore e un bypass di manutenzione), da cui parte la distribuzione interna all’edificio stesso.

- Linea interrata di circolazione del fluido caldo, che serve principalmente gli edifici più nuovi del comparto ospedaliero.

- Linea fuori terra di circolazione del fluido caldo, che serve il Monoblocco e gli edifici più datati.

Entrambe le linee di distribuzione del termico raggiungono, in generale, le sottocentrali termiche degli edifici, in cui si ha lo scambio di calore (due scambiatori a piastre, uno in riserva all'altro) per il riscaldamento di tutto l'edificio.

3.2.3 Centrale termica

Dal punto di vista termico, l'intera area ospedaliera è servita da una centrale termica e da una centrale frigorifera, situate nella zona sud dell'area ospedaliera.

Si riporta una breve descrizione delle centrali e delle linee di distribuzione alle diverse sottocentrali termiche e frigorifere dislocate nei diversi edifici che compongono il Policlinico.

La centrale termica è costituita da cinque generatori di calore, alimentati principalmente a metano, ma dotati di un sistema a doppia alimentazione, ossia già predisposti per l'eventuale uso di gasolio, in caso di emergenza (mancata fornitura di gas metano su tutta la rete).

In generale si possono individuare tre caldaie adibite alla produzione di acqua calda per usi di riscaldamento invernale e due generatori di vapore ad olio diatermico, per la produzione di vapore.

Occorre notare che, in generale, la centrale termica è obsoleta, risale agli anni di costruzione della parte centrale del Policlinico, il Monoblocco (1963, anno di inaugurazione); la presenza di questi due grandi generatori di vapore è spiegabile proprio alla luce di questo aspetto. Infatti, nei primi anni di utilizzo dell'ospedale, il vapore era ampiamente utilizzato all'interno, per usi tecnologici, quali sterilizzazione, cucina e soprattutto per il servizio interno di lavanderia, nonché, in seguito alla normativa sulla legionellosi, per l'umidificazione dell'acqua.

Negli ultimi decenni, il servizio di lavanderia è stato affidato all'esterno e la sterilizzazione è diventata sempre meno dispendiosa, in termini di vapore.

Trovandosi quindi con due caldaie a vapore ampiamente sovradimensionate per i servizi necessari, si è deciso di utilizzare queste caldaie per produrre acqua calda da utilizzare per il riscaldamento, mediante l'installazione di scambiatori vapore – acqua.

Dai dati di targa dei cinque generatori, estratti dalle planimetrie disponibili al SATP e dai sopralluoghi effettuati in centrale termica, si evince che sono installate due caldaie Ferrioli,

rispettivamente di potenza utile 4.652 kW w 3.419 kW, e tre caldaie Biasi, di cui due di 4.651 kW e una di 2.325 kW. Tutte le caldaie presentano un rendimento di generazione dell'89%.

3.2.4 Centrale frigo

La centrale frigorifera del Policlinico di Modena è fondamentale per la produzione di acqua fredda utilizzata per tutti gli impianti di condizionamento estivo e per alcune necessità di tipo tecnologico.

Si hanno due gruppi frigoriferi di condensazione ad acqua, caratterizzati, ciascuno, da una potenza frigorifera di 3800kW e potenza elettrica di 650kW, dove d'acqua viene raffreddata mediante l'uso di due torri evaporative per raggiungere una temperatura di uscita dalla centrale di circa 6°C.

In più, si hanno tre gruppi frigoriferi raffreddati ad aria, posizionati sulla copertura della centrale stessa, utilizzati in inverno e nelle mezze stagioni per la produzione di freddo, lasciando spenti i gruppi ad acqua, e in estate, nei momenti di massima necessità, in ausilio ai gruppi ad acqua.

La centrale frigorifera, a differenza di quella termica, è di più recente costruzione (risale, indicativamente, agli anni '90); inizialmente non si richiedeva la necessità di raffrescare tutti gli ambienti ma si produceva acqua fredda a soli scopi tecnologici, mediante la presenza, nei punti dove era richiesta, di gruppi raffreddati ad aria.

Con l'introduzione delle normative sul comfort termoigrometrico in ospedale si è reso necessario produrre quantità di acqua fredda più elevate, con la conseguenza di realizzare la centrale frigorifera.

La differenza sostanziale tra centrale frigo e centrale termica, dal punto di vista idraulico, risiede nel sistema di pompaggio: nella centrale termica è predisposto un banco di pompe a cui fanno capo tutte le caldaie e da cui si dipartono le linee di distribuzione; nella centrale frigorifera, invece, vista la stretta necessità di avere una portata costante, si è usata la logica (superata ma al contempo necessaria) di avere una pompa a servizio di ogni gruppo.

3.2.5 Rete elettrica

La rete elettrica che alimenta l'intero perimetro del Policlinico è composta un'unica cabina di adduzione, in cui l'ente erogante fornisce l'energia elettrica, e da sette cabine di trasformazione media tensione MT / bassa tensione BT, collegate tra loro mediante uno schema ad anello aperto. In quasi tutti gli ospedali si preferisce optare per una distribuzione globale ad anello aperto, poiché fornisce una maggiore sicurezza in caso di guasto o manutenzione in un'area dell'anello. In questo modo, infatti, è presente un tratto di rete tra due sezionatori di due cabine distinte che risulta fuori tensione e può essere alimentato in caso di guasto/manutenzione all'interno di un altro tratto, evitando di lasciare aree scoperte in termini di corrente elettrica (che in quel caso dovrebbe essere fornita dai gruppi elettrogeni a disposizione di ogni cabina elettrica).

Come detto la fornitura di energia elettrica da parte dell'ente erogante (Hera Spa) avviene, per l'intero Policlinico, in un'unica cabina, detta APR (Adduzione Primaria Riserva), posizionata nella zona antistante l'edificio di Pneumologia (R); da questa cabina parte l'anello di media tensione che collega tutte le sette cabine di trasformazione MT/BT dislocate nell'area del Policlinico e che forniscono energia elettrica ai diversi comparti (si hanno sei cabine di trasformazione situate nell'area mentre la settima è contenuta all'interno della cabina di adduzione primaria).

In generale una cabina di media tensione è costituita da uno o più trasformatori in parallelo che consentono di trasformare la media tensione in arrivo dall'anello, in bassa tensione da inviare alle utenze. Nel caso specifico in esame, ciascuna cabina di trasformazione invia la corrente elettrica in bassa tensione alle sottocentrali elettriche di diversi edifici, o porzioni di essi, dislocati all'interno dell'area del Policlinico.

Di seguito si fornisce una breve descrizione delle 7 cabine presenti nell'area ospedaliera, indicando, per ciascuna di essa, le principali utenze servite:

- **Cabina APR (Adduzione Primaria Riserva)**

All'interno della cabina si hanno tre trasformatori in parallelo (da 15kV e 500kVA) che permettono di alimentare la linea di bassa tensione che arriva alle sottostazioni elettriche di:

- Pneumologia
- Centro Oncologico Modenese

– 118 – Modena Soccorso

Nella cabina è presente un gruppo elettrogeno per l'alimentazione esterna della linea di bassa tensione (380V) con una potenza di 1000kVA.

• **Cabina 1**

Questa cabina è dotata di tre trasformatori in parallelo (15kV) che alimentano in bassa tensione diverse entità, quali:

- Diversi quadri dislocati nel perimetro del Policlinico, quali ad esempio i quadri di illuminazione dell'Eliporto, il quadro del Pozzo nero, il quadro dell'Officina interna...
- Stabile Dialisi, facente parte del Monoblocco
- Sottocentrale elettrica L
- Sistema di blindo sbarre, che alimentano a loro volta i quadri di piano di diversi reparti del Monoblocco, come Endocrinologia, Medicina, Cardiologia...

Il gruppo elettrogeno di questa cabina è più potente delle cabine precedenti: può erogare una potenza di 1000kVA

• **Cabina 2**

Questa cabina alimenta, mediante tre trasformatori in parallelo da 15kV, diversi sottoquadri elettrici, quali:

- Pronto Soccorso e O.B.I. (Osservazione Breve Intensiva)
- Cabina elettrica O, che alimenta in parte i quadri elettrici del Pronto Soccorso
- Cucina Centrale del Policlinico
- Sistema di blindosbarre, che alimentano diversi reparti del Monoblocco tra cui Rianimazione, Ortopedia, Centro Nascite...
- Sistema di blindosbarre, adibite all'alimentazione del Corpo G del Policlinico, utilizzato a fini universitari, contenente quindi studi medici e laboratori.

Questa cabina è supportata da due gruppi elettrogeni (chiamati 2 e 2A) che insieme erogano una potenza di 1280kVA

• **Cabina 3**

È la cabina direttamente collegata alla cabina di adduzione primaria che, mediante due trasformatori disposti in parallelo (sempre da 15kV e 500kVA) invia energia elettrica in bassa tensione a diverse entità, tra cui:

- Palazzina Malattie Infettive (ex AIDS)

- Sottostazione elettrica A, che a sua volta fornisce elettricità ad alcuni reparti del Monoblocco
- Sistema di blindosbarre da 1000A, che alimentano i quadri di altri reparti del Monoblocco, come ad esempio Radioterapia, Chirurgia, Ostetricia...
- Acceleratore lineare

Anche in questo caso è presente il gruppo elettrogeno sulla linea di bassa tensione, che eroga una potenza di 640kVA

- **Cabina 4**

È formata da due trasformatori da 15kV in parallelo che consentono di alimentare:

- Stabile R.M.N.-T.A.C. (Risonanza Magnetica)
- Centrale Frigorifera generale dell'intero comparto ospedaliero.

È presente un unico gruppo elettrogeno da 640kVA

- **Cabina 5**

E' configurata in modo analogo alla cabina 6, ossia è presente il congiuntore tra i trasformatori (in questo caso sono due da 15kV e 1000kVA), poiché alimenta quadri di comparti particolarmente energivori. In particolare alimenta il Nuovo Blocco Tecnologico (N.B.T) in cui sono presenti le sale operatorie del Policlinico (mediante due sistemi doppi di blindosbarre). A supporto della linea di bassa tensione è presente un gruppo elettrogeno da 1000kVA.

- **Cabina 6**

Si tratta della cabina direttamente collegata alla cabina 3, che alimenta, mediante tre trasformatori molto potenti (due da 1000kVA e uno da 2000kVA), diversi quadri elettrici, quali:

- Stabulario
- Centro Servizi (stabile universitario)
- Centrale termica (che a sua volta alimenta l'edificio delle Camere Ardent)

Analogamente alla cabina 3 si ha un gruppo elettrogeno, da 640kVA di potenza.

Questa cabina, così come la cabina 5, ha una configurazione che si discosta dalle altre perché in questo caso i trasformatori presenti non sono collegati in parallelo, ma è presente un congiuntore, ossia ciascun trasformatore invia energia ad una sezione di quadro indipendente. Si adotta questa configurazione in queste due cabine perché in esse

sono presenti trasformatori molto potenti (devono asservire alla richiesta di utenze particolarmente energivore) e l’inserimento di un semplice interruttore richiederebbe una spesa molto elevata, poiché si dovrebbe inserire un interruttore molto potente. In questo modo, invece, si possono dividere i due trasformatori, facendo sì che alimentino ciascuno un proprio quadro indipendente; in caso di guasto o manutenzione di uno dei trasformatori si può chiudere l’interruttore del quadro momentaneamente fuori uso e si apre il congiuntore facendo sì che la rete alimentata dal trasformatore in manutenzione sia alimentata dall’altro.

Occorre notare che ogni cabina ha una predisposizione per il collegamento con un gruppo frigorifero, per sopperire all’eventuale inefficienza della Centrale Frigorifera generale del Policlinico.

Queste cabine alimentano la rete di bassa tensione che raggiunge le sottocentrali elettriche presenti nei singoli edifici serviti. In particolare la descrizione del sistema elettrico di ciascun edificio è riassunta all’interno delle schede realizzate per i singoli comparti del Policlinico.

Da questa breve descrizione dell’apparato elettrico generale, si comprende facilmente come il sistema sia particolarmente complesso e articolato: le cabine non alimentano edifici singoli e, soprattutto quelle che alimentano lo stabile del Monoblocco, non sono state realizzate in modo da suddividere l’edificio in parti omogenee (piani o reparti).

Risulta quindi particolarmente complesso riuscire ad attribuire i consumi elettrici ai singoli edifici semplicemente da un’analisi di quanta energia elettrica viene erogata dall’ente.

Sono necessari strumenti più raffinati e selezionati per i singoli edifici (o addirittura per porzioni di essi, in base all’uso, come nel caso del Monoblocco).

3.3 *Consumi energetici*

In linea con gli altri ospedali [32], il Policlinico di Modena è soggetto a grandi consumi energetici, sia di tipo elettrico che di tipo termico.

In particolare, i consumi elettrici riguardano principalmente:

- condizionamento estivo: nello specifico il comfort termico è fondamentale all'interno delle diverse aree ospedaliere e, sulla base della normativa regionale vigente è necessario mantenere le temperature richieste; in generale si devono garantire $23 \div 25$ °C nelle camere di degenze e indicativamente 23°C nelle zone operatorie;
- illuminazione sia degli ambienti interni che dell'esterno dell'ospedale, per garantire comfort e sicurezza. Anche in questo caso la normativa impone un certo grado di illuminazione obbligatoria all'intero dei locali che, nelle ore notturne, deve essere comunque garantita;
- assorbimento elettrico richiesto dalle apparecchiature medicali e di diagnosi, situate nei diversi reparti del Policlinico;
- ascensori;
- pompe di mandata per il circuito termico (sia del caldo che del freddo), per l'acqua calda sanitaria, nonché per i diversi fluidi medicali utilizzati all'interno dell'ospedale (ossigeno, azoto...).

Per quel che riguarda i consumi termici, ciò che più influenza i costi sono:

- riscaldamento invernale: come nel caso della climatizzazione estiva, anche in inverno è necessario mantenere un certo livello di comfort microclimatico; nel caso generale delle camere di degenza solitamente le temperature si assestano intorno ai $22 \div 23$ °C mentre, per le sale operatorie, la temperatura può superare i 24°C ;
- ventilazione e ricambi d'aria: si tratta di un processo fondamentale all'interno dell'ospedale, poiché è necessario assicurare una bassissima carica microbica all'interno dell'aria che viene utilizzata per la climatizzazione. Al fine di ridurre l'insorgenza di infezioni, è necessario evitare qualsiasi tipo di ricircolo dell'aria interna. Infatti tutte le Unità di Trattamento Aria del Policlinico di Modena eseguono un totale ricambio d'aria al loro interno. I costi legati ai ricambi sono sicuramente molto elevati, poiché, ad esempio, per garantire la salubrità della zona di degenza, si effettuano $2 \div 6$ volumi orari di ricambio, mentre per le sale operatorie il valore sale a $15 \div 20$ volumi orari;

- riscaldamento dell’acqua sanitaria, che deve essere portata ad una temperatura media di circa 45 °C;
- produzione di vapore per trattamenti di sterilizzazione, mediante l’uso di una caldaia dedicata.

3.3.1 Energia elettrica

Facendo riferimento ai dati relativi all’anno 2012, forniti dal Ufficio Servizi Attività Tecniche e Patrimoniali del Policlinico di Modena, il consumo di energia elettrica del solo Policlinico è risultato pari a 24.697.599 kWh, con una spesa annua pari a circa 4.569.056 €. Qui di seguito si riporta il grafico relativo ai consumi mensili di energia elettrica, sia suddivisi per fascia elettrica⁵ che il valore totale mensile.

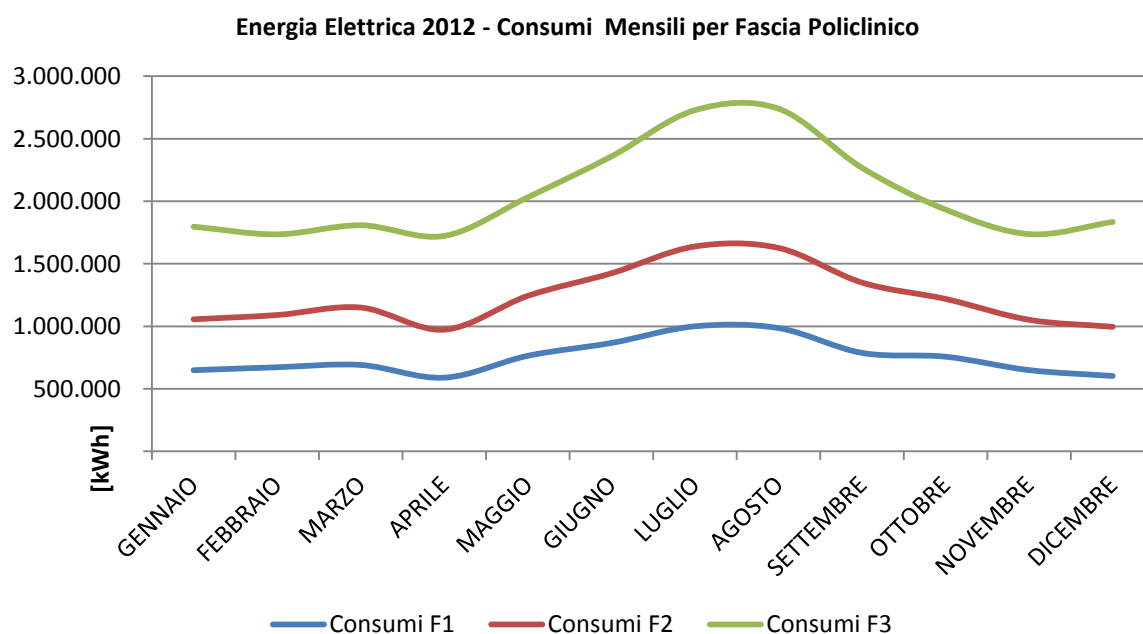


Figura 3.2: Consumo mensile di energia elettrica per il Policlinico.
(Fonte: elaborazione dati SATP)

⁵ Le fasce elettriche, ad oggi, sono tre e suddividono in prezzo dell’energia in base ad orari e giorni specifici nella settimana; esse sono:

- F1: ore di punta (peak), valida nei giorni dal lunedì al venerdì, dalle ore 8.00 alle ore 19.00;
- F2: ore intermedie (mid-level), valida dal lunedì al venerdì, dalle ore 7.00 alle ore 8.00 e dalle ore 19.00 alle ore 23.00 e nei giorni di sabato, dalle ore 7.00 alle ore 23.00;
- F3: ore fuori punta (off-peak), valida nei giorni dal lunedì al venerdì, dalle ore 23.00 alle ore 7.00 e nei giorni di domenica e festivi nazionali, nonché tutte le ore della giornata di domenica.

Dalla semplice analisi visiva dell’andamento dei consumi, si può notare come il picco di consumo di energia elettrica si abbia nel periodo estivo, tra i mesi di Giugno, Luglio e Agosto: si tratta ovviamente della necessità di condizionamento degli edifici, ad opera della Centrale Frigorifera del complesso ospedaliero, che produce acqua refrigerata da inviare alle diverse utenze, al fine di mantenere condizioni termo - igrometriche di comfort.

Inoltre, analizzando i dati suddivisi per fascia, si può notare che i consumi in fascia F1 e la fascia F3 tendono ad equivalersi, indicando come, effettivamente, un ospedale abbia un andamento continuativo in tutto l’arco della settimana.

Tramite la metodologia di audit energetico, di seguito illustrata nel paragrafo 5.3, è stato caratterizzato il consumo elettrico del Policlinico di Modena, che mette in luce il significativo dato di consumo energetico imputabile alle luci e al condizionamento.

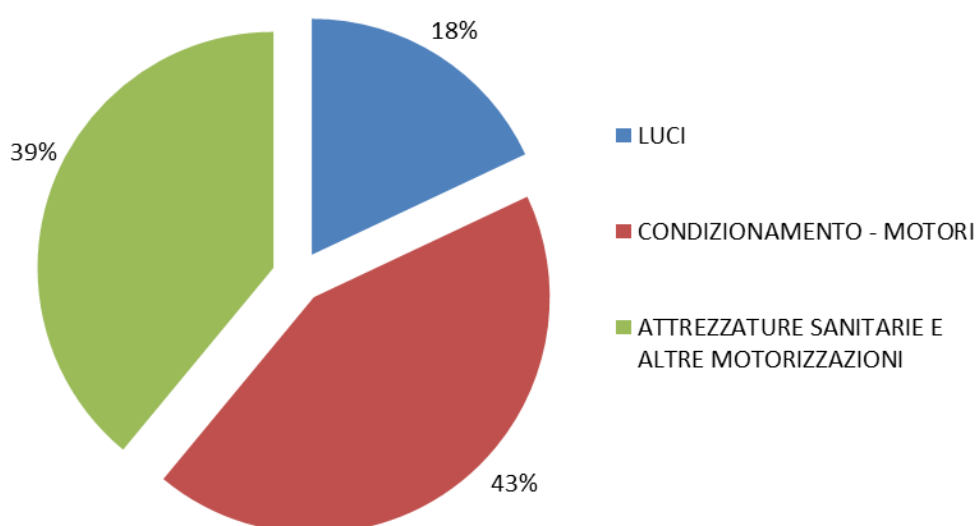


Figura 3.3: Consumo percentuale di energia elettrica per il Policlinico.

3.3.2 Gas metano

I consumi di gas del Policlinico sono composti in parte dal gas utilizzato all’interno del Policlinico stesso, e in parte da quello utilizzato in Centrale Termica, utilizzato per il riscaldamento invernale, per il condizionamento estivo e per la produzione di vapore per tutto il complesso, includendo quindi anche il Poliambulatorio. Facendo riferimento ai dati relativi all’anno 2012, forniti dal Ufficio Servizi Attività Tecniche e Patrimoniali del Policlinico e al Bilancio Energetico dell’Azienda Ospedaliera Policlinico di Modena si riportano i principali consumi energetici, in termini di energia elettrica, gas naturale e acqua.

Il consumo maggiore di gas, è sicuramente quello legato alla centrale termica, che, per il 2012, ha avuto un consumo totale pari a 2.706.020 Smc ⁶, corrispondenti a una spesa complessiva pari a circa 2.290.640 €.

Di seguito si riportano, in un grafico, i dati forniti dal SATP relativi ai consumi mensili del 2012 di gas naturale in Centrale Termica.

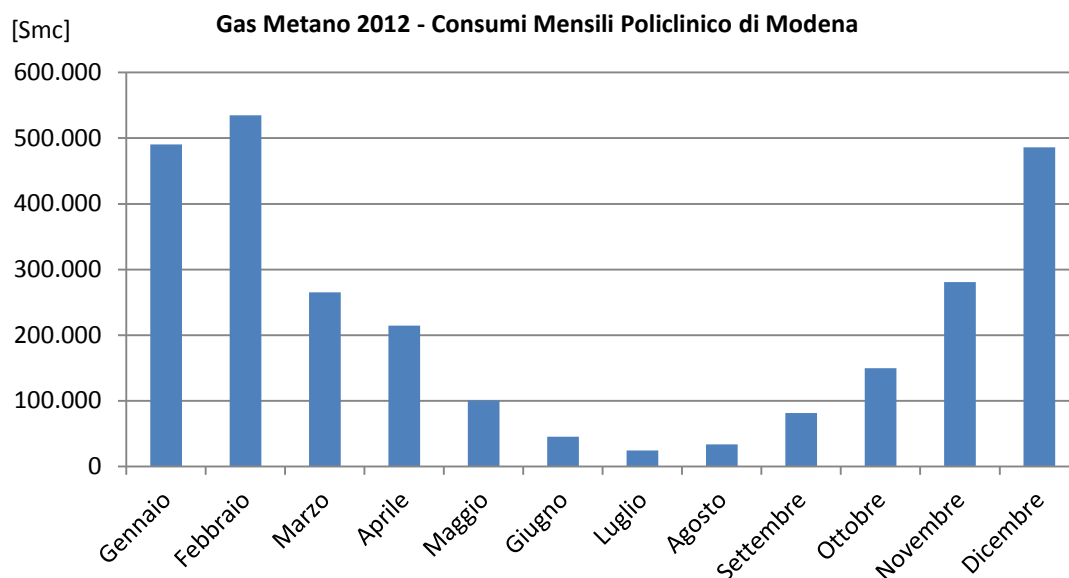


Figura.3.4: Consumo mensile di gas naturale per il Policlinico. (Fonte: elaborazione dati SATP)

Anche in questo caso, si può notare facilmente come i consumi di gas naturale, utilizzato principalmente per il riscaldamento, diminuiscano enormemente nei mesi estivi, ma non si annullano completamente poiché rimane sempre attiva la produzione di vapore per fini di sterilizzazione e per alimentare le batterie di post-riscaldamento delle UTA. Di seguito si riporta un grafico che mostra la ripartizione dei vettori energetici, per l'anno 2012 considerati in energia primaria⁷.

⁶ Smc: Standard metri cubi, unità di misura del volume, usata per i gas, riferita alle condizioni fisiche cosiddette “standard”, ossia alla pressione di 1.01325 bar (pressione atmosferica standard) ed alla temperatura di 15°C.

⁷ Il Dlgs 192/05 definisce l'energia primaria è definibile come il potenziale energetico presentato dai vettori e fonti energetiche non rinnovabili nella loro forma naturale.

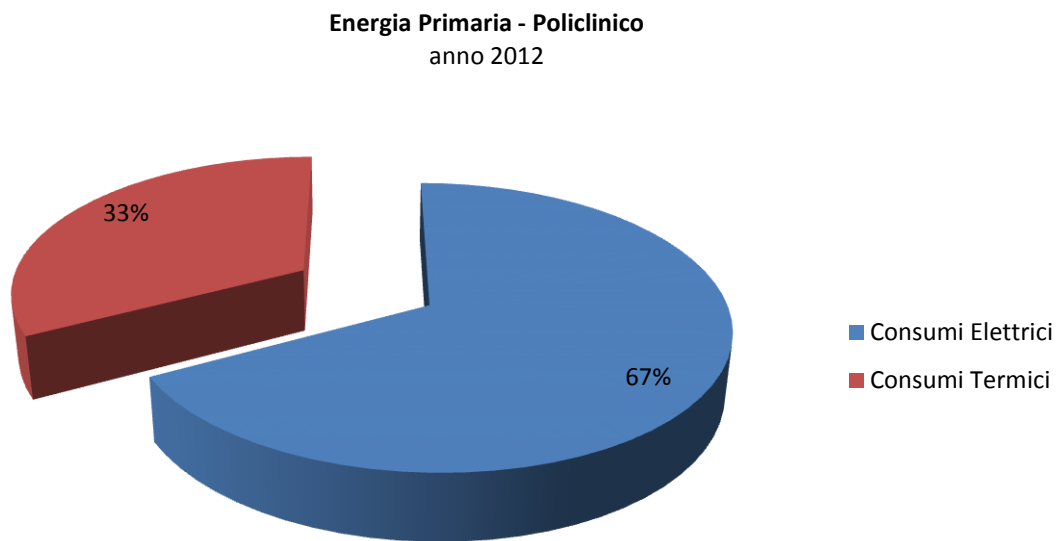


Figura.3.5: Consumo di Energia Primaria Policlinico 2012. (Fonte: elaborazione dati SATP)

Il policlinico presenta un consumo, per l’anno 2012, di 17,6 tep⁸/posto letto, dato che si scosta di molto in eccesso rispetto ai valori riportati in letteratura [32].

⁸ La Tonnellata Equivalente di Petrolio rappresenta la quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio grezzo e vale circa 42 GJ.

Capitolo 4: *Monitoraggio dei Consumi Energetici del Policlinico di Modena*

4.1 *Introduzione*

Nello specifico di questo progetto presso l’Azienda Ospedaliero – Universitaria Policlinico di Modena, si è fatto riferimento a un software di monitoraggio di origine francese, denominato Nextep ®, che consente di acquisire, analizzare e aggregare, in tempo reale, con un time step di 15 minuti, le curve di carico a livello di media tensione, con la possibilità di estendersi anche a livello di bassa tensione.

Nei paragrafi a seguire verrà brevemente descritto il sistema utilizzato, sia in termini di apparati utilizzati all’interno dell’Azienda Ospedaliera per realizzare l’installazione e la messa a punto della piattaforma di monitoraggio, che in termini di potenzialità del software.

4.2 *Il sistema di monitoraggio*

La piattaforma di monitoraggio, in generale, è un ambiente che permette di aggregare e monitorare i dati relativi ai consumi energetici in senso lato, trattasi quindi di consumi elettrici, termici, di acqua e ambientali.



Figura 4.1:Architettura della piattaforma di monitoraggio.)

A partire da questi dati, raccolti mediante misuratori specifici o grazie a contatori non fiscali, si riesce a realizzare un database che consente di assemblare e analizzare tali dati in curve specifiche atte ad effettuare stime per il risparmio energetico e la valutazione ottimale delle utenze considerate.

A partire da questo database è possibile effettuare diverse azioni, ciascuna con tempistiche proprie e con caratteristiche di analisi differenti:

- Possibilità di risparmio immediato, mediante una verifica della fatturazione, relazionata ai dati di consumo estratti dai misuratori elettronici con time step ravvicinato e una valutazione contrattuale, con la possibilità di effettuare modifiche che consentono un notevole risparmio economico nel breve periodo.
- Identificazione delle aree in cui risulta più conveniente agire, mediante analisi dei dati e verifica dei processi, e in cui si potrà effettuare un’analisi più di dettaglio che consentirà di ottimizzare maggiormente i consumi sul lungo periodo.

Quindi, più in generale, questo tipo di monitoraggio energetico si fonda su due pilastri fondamentali e tra loro concatenati:

- Il controllo in tempo reale si attua mediante l’ambiente di monitoraggio prima descritto, quindi con l’analisi dei consumi energetici, mediante un linguaggio che permette, a partire dal dato grezzo estratto, di realizzare grafici, formule e tabelle e che permette di individuare velocemente le anomalie nel sistema.
- Il controllo di gestione, invece, si attua mediante un controllo sul lungo periodo dei consumi mensili e degli indicatori energetici, al fine di ottimizzare i consumi nel tempo e non semplicemente finalizzati al risparmio immediato.

L’architettura del sistema di monitoraggio può essere schematizzata come riportato nella figura sottostante, in cui si possono individuare:

1. Dispositivi di acquisizione dati, che convertono in tempo reale i dati grezzi, ricavati da un sistema SCADA⁹ già implementato e utilizzato, nel caso in questione, a fini di sorveglianza e sicurezza interna, in valori numerici significativi.

⁹ Sistema informatico distribuito per il monitoraggio elettronico di sistemi fisici.

2. Server centrale, che aggrega l'insieme dei dati ricevuti dai singoli dispositivi di acquisizione ed contiene la logica applicativa del sistema di monitoraggio.
3. Sistemi di visualizzazione dei dati aggregati da part e degli utilizzatori finali.

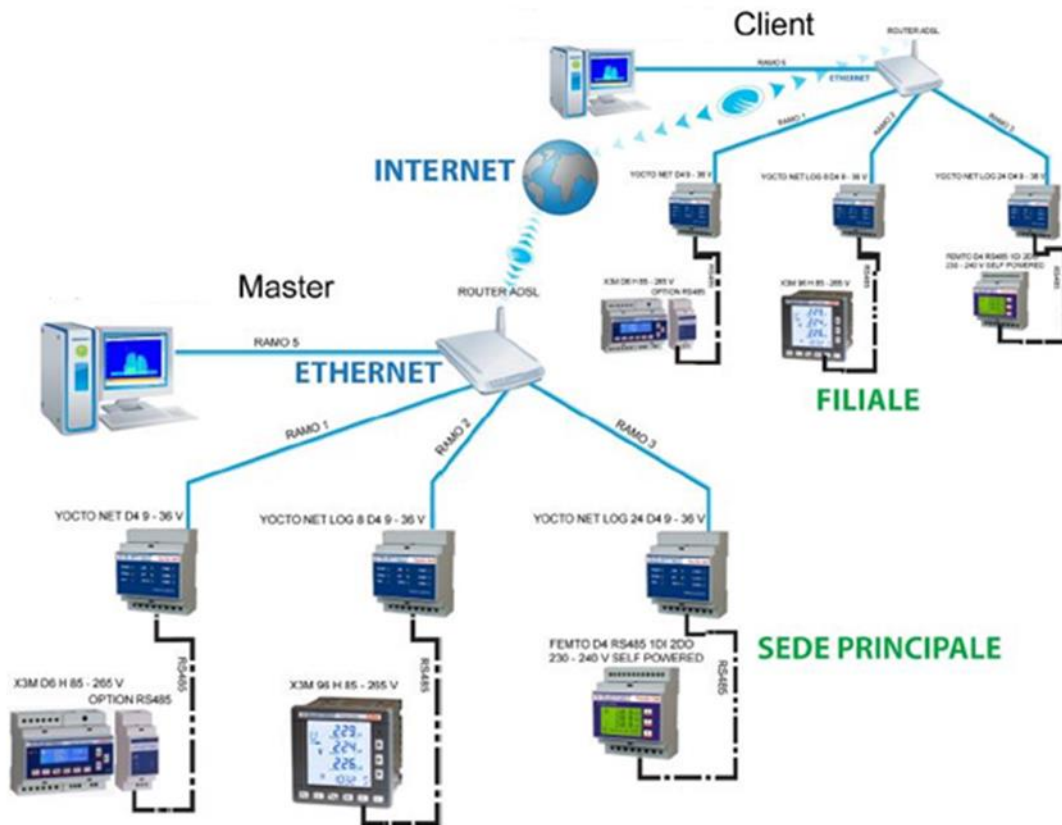


Figura 4.2: Architettura della piattaforma di Monitoraggio (Fonte: [33])

Nel caso specifico del progetto sviluppato all'interno dell'Azienda Ospedaliero – Universitaria Policlinico di Modena, sono stati implementati sistemi di raccolta dati per quel che riguarda:

- Misure elettriche, e in particolare i valori di energia attiva, energia capacitiva, energia induttiva e energia apparente, a partire da 52 punti di misura esistenti all'interno dell'area Policlinico, utilizzando quindi, come dispositivi di acquisizione, le Process Box del sistema SCADA interno al Policlinico, utilizzato come sistema di sorveglianza e controllo dei parametri elettrici.
- Misure di gas tramite un collegamento mediante fibre ottiche tra il contatore generale dell'ente distributore del gas all'azienda e il server dedicato al monitoraggio.

- Misure di acqua, mediante una semplice lettura, attualmente manuale, dei tre contatori dell’ente distributore, presenti nell’area del presidio ospedaliero.

I dati di energia necessari per il monitoraggio sono ricavati da strumenti già presenti all’interno del presidio ospedaliero, installati a fini di sorveglianza interna dei parametri energetici, e dislocati in maniera piuttosto varia all’interno del perimetro.

Per una corretta trasmissione dei dati dallo SCADA esistente al software dedicato, con time step ogni 15 minuti, è stato necessario realizzare un interfaccia tra i due sistemi, mediante la condivisione di file ASCII. La scelta è ricaduta su questa modalità di interfaccia perché, nonostante sia la più semplice possibile, è anche quella che permette di individuare il prima possibile eventuali errori di trasmissione.

Tabella 4.1: Codici e collocazione dei punti di monitoraggio (Fonte: SATP)

ID	Codice	Descrizione	Posizione
1	CAB1TR1	Cabina 1 Trasformatore 1	
4	CAB1TR2	Cabina 1 Trasformatore 2	
5	CAB1TR3	Cabina 1 Trasformatore 3	
6	CAB2TR1	Cabina 2 Trasformatore 1	
7	CAB2TR2	Cabina 2 Trasformatore 2	
8	CAB2TR3	Cabina 2 Trasformatore 3	
9	CAB3TR1	Cabina 3 Trasformatore 1	
53	CAB3TR2	Cabina 3 Trasformatore 2	
10	CAB4TR1	Cabina 4 Trasformatore 1	
11	CAB4TR2	Cabina 4 Trasformatore 2	
12	CAB5TR1	Cabina 5 Trasformatore 1	
13	CAB5TR2	Cabina 5 Trasformatore 2	
14	CAB6TR1	Cabina 6 Trasformatore 1	
15	CAB6TR2	Cabina 6 Trasformatore 2	
16	CAB6TR3	Cabina 6 Trasformatore 3	
17	CABAPRTR1	Cabina APR Trasformatore 1	
18	CABAPRTR2	Cabina APR Trasformatore 2	
19	CABAPRTR3	Cabina APR Trasformatore 3	
20	CAB1GE	Cabina 1 Gruppo Elettrogeno	Cabina 1
21	CAB2GE	Cabina 2 Gruppo Elettrogeno	Cabina 2
22	CAB3GE	Cabina 3 Gruppo Elettrogeno	Cabina 3
23	CAB4GE	Cabina 4 Gruppo Elettrogeno	Cabina 4
24	CAB5GE	Cabina 5 Gruppo Elettrogeno	Cabina 5
25	CABAPRGE	Cabina APR Gruppo Elettrogeno	Cabina APR
26	CENTTERM	Power Center Centrale Termica	Cabina 6
27	CENTTIS	Power Center Palazzina Pneumologia	Cabina APR

ID	Codice	Descrizione	Posizione
28	CENTCOM	Power Center Palazzina COM	Cabina APR
29	CENTAIDS	Power Center Palazzina AIDS (Linea Normale)	Cabina APR
30	CENTAIDSUPS	Power Center Palazzina AIDS (Linea UPS)	Cabina APR
31	CAB1APPA	Cabina 1 Quadro Appendice A	Cabina 1
32	CAB1APPB	Cabina 1 Quadro Appendice B	Cabina 1
33	CAB1QPAR	Cabina 1 Quadro Parcheggi	Cabina 1
34	CUCINA	Quadro Alimentazione Cucina	Cabina 2
35	CAB5QBLS	Cabina 5 Quadro Alimentazione Blindo Sanitaria	Cabina 5
36	CAB5BLDT	Cabina 5 Quadro Alimentazione Blindo Tecnologica	Cabina 5
37	CABAPRAMPL	Cabina APR Power Center Ampliamento	Cabina APR
38	CABAPRSERV	Cabina APR Quadro Servizi Ampliamento	Cabina APR
39	CABAPRHERA	Cabina APR Contatore Arrivo da Hera	Cabina APR
40	COMQSCPT	Centro Oncologico Quadro Commutazione Piano Terra	Cabina APR
41	COMBIONOR	Centro Oncologico Quadro Biobanca Cometa (Linea Normale)	Cabina APR
42	COMBIOUPS	Centro Oncologico Quadro Biobanca Cometa (Linea UPS)	Cabina APR
43	CEDQCOM	Stabile CED Quadro di Commutazione	Cabina APR
44	CEDQDIS	Stabile CED Quadro di Distribuzione	Cabina APR
45	CEDQCCTRIT	Stabile CED Quadro Commutazione Centrale Termica RITTAL	Cabina APR
46	CEDQCT	Stabile CED Quadro Centrale Termica	Cabina APR
47	QCOMPTB	Monoblocco Corpo B PT Quadro Comm Ambulatori Chirurgia della Mano	Cabina 3
48	QCOMM4H	Monoblocco Corpo H 4 Piano Quadro Commutazione Otorino	Cabina 2
49	QDIS4H	Monoblocco Corpo H 4 Piano Quadro Distribuzione Otorino	Cabina 2
50	QCOM4L	Monoblocco Corpo L 4 Piano Quadro Commutazione Cardiologia	Cabina 1
51	QDIS4L	Monoblocco Corpo L 4 Piano Quadro Distribuzione Cardiologia	Cabina 1
52	QGENDTI	Stabile D.T.I. Quadro Generale	Cabina APR

4.3 Architettura del software

Il software di monitoraggio utilizzato nel “Progetto di Monitoraggio del Policlinico di Modena” consente, a partire da dati grezzi ricavati direttamente dalle Process Box dedicate o da database esistenti, di creare grafici e tabelle contenenti informazioni utili relative ai consumi energetici dell’area che si sta analizzando.

Nello specifico, l’architettura del sistema parte proprio dai dati grezzi, quindi dai parametri energetici acquisiti e consente di creare, mediante formule di calcolo modificabili dall’utente, delle aggregazioni logico – funzionali da cui è possibile creare grafici di vario tipo, da cui iniziare ad effettuare l’analisi energetica.

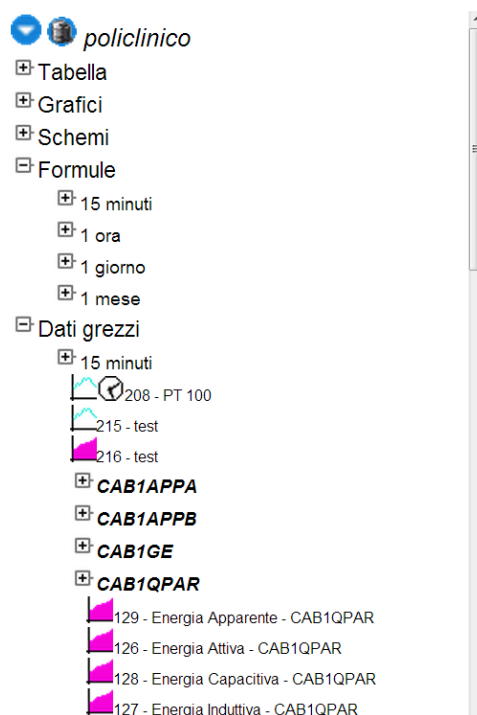


Figura 4.3: Struttura logica della piattaforma di Monitoraggio (Fonte: Elaborazione Nextep)

Per quel che riguarda i dati di energia, nello specifico dell'energia elettrica, si tratta di quattro valori (energia attiva, energia apparente, energia induttiva e energia capacitiva) di tipo incrementale a partire dalla data di installazione dello strumento espressi in Wh. Questi dati possono essere acquisiti con un intervallo temporale che varia da 1 minuto a 1 giorno.

Solitamente i dati di energia elettrica vengono acquisiti con un time step di 15 minuti, elaborati in tempo reale, facendo una semplice differenza tra due valori incrementali successivi, ed aggregati ad intervalli differenti, come ad esempio un'ora, un giorno, un mese per ottenere andamenti complessivi.

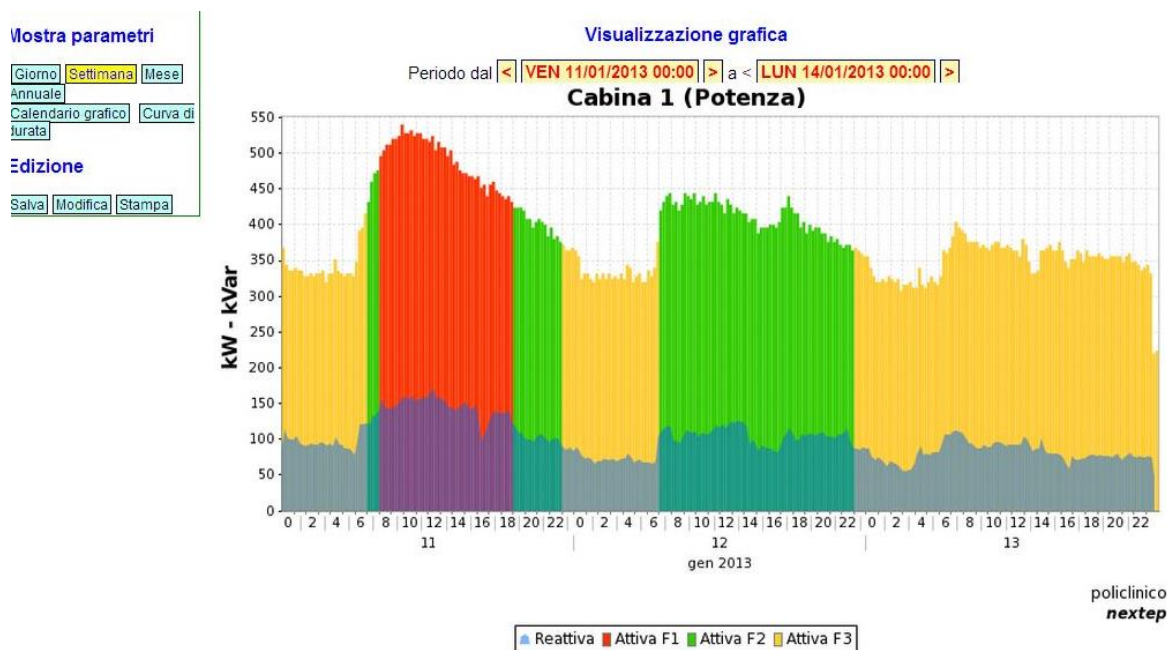


Figura 4.4: Esempio di grafico a 15 minuti fornito dalla piattaforma di Monitoraggio
(Fonte: Elaborazione Nextep)

Il software fornisce poi la possibilità di inserire i cosiddetti parametri esogeni, ossia dati di varia natura (economica, tariffaria, meteorologici, etc.) che consentono di effettuare ulteriori aggregazioni e visualizzazioni dei dati energetici.

Nel caso specifico in questione, i dati grezzi, rilevati dai 52 strumenti, forniscono le informazioni di energia richieste per creare, mediante le *formule*, i profili di energia attiva e di energia reattiva di alcune aree considerate di maggior interesse quanto meno per la valutazione iniziale del consumo energetico globale.

Gli andamenti, sia di energia che di potenza, sono ricreati anche per intervalli temporali più lunghi del quarto d'ora, al fine di consentire valutazioni più generiche: ad esempio si possono realizzare, sempre a partire dai dati grezzi con time step di 15 minuti, formule di energia e i relativi grafici di potenza con time step di 1 ora, 1 giorno e 1 mese, semplicemente come somma dei valori al quarto d'ora.

Dall'analisi di questi grafici si possono dedurre molte considerazioni relative all'andamento generale dei consumi elettrici e, conoscendo le potenze in gioco in una determinata zona sotto analisi, è possibile individuare eventuali anomalie di funzionamento, nonché tentare di spostare picchi di potenza da una fascia all'altra, in modo da garantire un notevole risparmio economico.

Il software può essere utilizzato sia per un controllo in tempo reale che per un controllo di gestione. Il software offre diverse potenzialità, tra cui:

- Possibilità di importare i file di testo esterni al database, per implementarlo o modificarlo; ad esempio è possibile riportare altri file in formato ASCII (tipico formato con cui l'ENEL distribuisce i dati agli utenti che ne fanno richiesta), al fine di effettuare un'analisi storica degli andamenti.
- Possibilità di creare curve di potenza relazionate ad altri parametri esogeni, come ad esempio la temperatura ambiente esterna, oppure rapportando i valori della settimana (o giorno, o mese) in corso con quelli della settimana (o giorno, o mese) precedente.
- Possibilità di applicare degli allarmi, che indicano all'utente eventuali superi di massimi reimpostati dall'utente, in modo da verificare e monitorare i picchi di potenza sulla rete.
- Possibilità di realizzare simulazioni sui consumi, ossia ipotizzare il consumo di determinate utenze e considerarne un andamento ottimale per valutare i risparmi energetici ed economici.

Quest'ultimo punto è sicuramente quello che caratterizza Nextep, che dà la possibilità all'utente di valutare graficamente e numericamente, le possibili soluzioni individuate e che è stato maggiormente utilizzato nelle prime analisi effettuate al Policlinico.

Capitolo 5: Analisi e Ottimizzazione Energetica

5.1 Introduzione

Innanzitutto si è deciso di realizzare un inquadramento generale del sistema di trasmissione dati, per comprendere l’incidenza dei consumi in gioco e per poter fare considerazioni di massima sull’andamento globale dei consumi elettrici dell’intera area ospedaliera.

A questo scopo si è effettuata una mappatura dettagliata della strumentazione a disposizione, che fornisce i dati al software Nextep, al fine di comprendere quali punti di acquisizione sono effettivamente significativi e quali, invece, risultano scorporati e minimali rispetto al totale, che quindi verranno presi in considerazione solamente in un secondo momento, quando l’analisi diventerà di dettaglio per le diverse zone del Policlinico.

5.2 La metodologia

Si è deciso di procedere impostando una metodologia di lavoro che permettesse di inquadrare e esplicitare al meglio la complessa realtà che si concretizza in questa struttura ospedaliera. La metodologia utilizzata per questa fase iniziale del progetto può essere schematizzata come segue:

- Fase 1: Mappatura dei 52 punti di misura all’interno del presidio ospedaliero, al fine di individuarne la corretta collocazione sia spaziale che relazionale, ossia la gerarchia strumentale che dovrà essere riportata all’interno del software di monitoraggio Nextep .
- Fase 2: Analisi globale dei consumi di tutte le cabine elettriche di media tensione dislocate all’interno dell’area ospedaliera, al fine di individuare il miglior punto da cui iniziare l’analisi per ottenere dei primi risultati concreti, sia in termini energetici che economici.

- Fase 3: Scelta della/e cabina/e di partenza del progetto, su cui affinare il metodo di monitoraggio e da cui poter ottenere i primi grandi risparmi.
Per questa scelta si sono considerati sia i consumi di potenza che, soprattutto, le funzionalità della cabina stessa.
- Fase 4: Mappatura del software Nextep, con la realizzazione di tutte le aggregazioni di dati, alla luce dell’inquadramento effettuato alla Fase 1, al fine di fornire una struttura chiara e dettagliata al browser.
- Fase 5: Caratterizzazione delle reti di alimentazione della struttura indagata, censimento dei carichi presenti nei quadri elettrici individuati per realizzare le analisi di dettaglio.
- Fase 6: Audit in campo per “fotografare” i profili di utilizzo delle apparecchiature alimentate dai quadri elettrici indagati. Tramite interviste al personale, ai tecnici preposti e indagini non invasive sulle apparecchiature elettriche, si individuano gli orari di funzionamento e le modalità di gestione delle apparecchiature.
- Fase 7: Individuazione, tramite le analisi precedentemente realizzate, di eventuali sprechi, malfunzionamenti e anomalie energetiche e realizzazione dei proposte di efficientamento per andare a risolvere gli sprechi energetici individuati.

Nel seguito vengono illustrati più nel dettaglio tutte le fasi di analisi implementate. Come spiegato nel capitolo precedente, il software di monitoraggio Nextep si basa sui dati acquisiti direttamente dallo SCADA presente all’interno del Policlinico di Modena, assumendo i dati di 52 strumenti di misura dislocati in vari punti dell’area ospedaliera.

Nello specifico, la piattaforma di monitoraggio si appoggia su dati di energia (attiva, reattiva induttiva, reattiva capacitiva e apparente) ricavati direttamente dai datalogger di monitoraggio presenti all’interno del Policlinico, installati in seguito a manutenzioni eseguite nel corso degli anni su diversi quadri elettrici, e attualmente collegati in rete.

Trattandosi di un’area molto complessa e vasta, di questi 52 punti di misura non tutti risultano significativi allo stesso modo.

Non avendo una ben chiara visione della zona in cui si trovano i punti monitorati, si è deciso di iniziare la metodologia di indagine proprio da questa mappatura generale degli strumenti collegati al software.

Nonostante la prima, rapida individuazione dei punti all'interno del presidio ospedaliero, in riferimento alla cabina di trasformazione, si è reso necessario scendere ad un livello di dettaglio maggiore, al fine di comprendere al meglio quale fosse la logica gerarchica e la collocazione esatta del punto all'interno del Policlinico.

Si è deciso di realizzare una sorta di diagramma ad albero che riportasse tutte le strumentazioni a disposizione, a partire dalle cabine di trasformazione MT/BT a cui questi strumenti fanno riferimento. In particolare, si sono realizzati dapprima gli schemi di tutte le cabine, in modo da comprenderne la struttura interna, quindi si è proceduto a rendere in cad parte di queste informazioni.

Ovviamente, gli strumenti di monitoraggio analizzati dal software costituiscono solamente una parte esigua di tutti i datalogger presenti all'interno dei diversi quadri elettrici del Policlinico di Modena, quindi non individuano i consumi caratteristici di un determinato reparto o area; tuttavia sono gli unici attualmente collegati in rete allo SCADA e quindi facilmente trasferibili a Nextep. Gli altri strumenti presenti sui quadri sono o troppo vecchi per essere monitorati in remoto (talvolta di tipo analogico) oppure strumenti digitali non ancora collegati in rete, che però possono essere letti inizialmente con strumenti manuali, per ottenere un'indicazione di massima di quell'area considerata.

Al fine di completare il quadro di aggregazione, si è deciso di redarre, per ciascuna cabina di trasformazione, un elenco non esaustivo dei principali reparti serviti, nonostante in molti di essi non siano disponibili gli strumenti collegati in rete.

È alla luce di questa complessità che si è deciso di procedere con un'analisi di tipo *top – down*, ossia di partire da un'analisi globale delle cabine di trasformazione MT/BT, al fine di comprenderne i consumi globali e di scegliere un punto di partenza che potesse fornire, nel breve tempo, risultati significativi a costi quasi nulli; si procederà poi in seguito con un'analisi più di dettaglio, di ciò che è servito dalla cabina scelta e quindi si andranno a ricercare interventi più specifici all'interno dei reparti e delle aree considerate.

La metodologia iniziale di monitoraggio ha previsto di realizzare un’analisi di controllo dei consumi delle cabine elettriche dell’area ospedaliera, con lo scopo di individuare i consumi generali delle cabine, al fine di avere un quadro completo che permettesse di scegliere, tra tutte, la cabina di partenza su cui focalizzare il monitoraggio iniziale.

Questa analisi globale è stata effettuata considerando i valori di consumi elettrici per le sette cabine di trasformazione MT/BT dell’area ospedaliera, utilizzando due strumenti di calcolo differenti per una maggiore sicurezza sulla qualità del dato.

Inizialmente si è deciso di effettuare l’analisi dei consumi utilizzando i dati di potenza media giornaliera estratti dal software di monitoraggio per l’anno 2012.

In particolare, utilizzando lo strumento “*Tabelle*” del software, che riporta i dati di potenza attiva media al quarto d’ora suddivisi per giorno, si è realizzato un andamento grafico delle sette cabine.

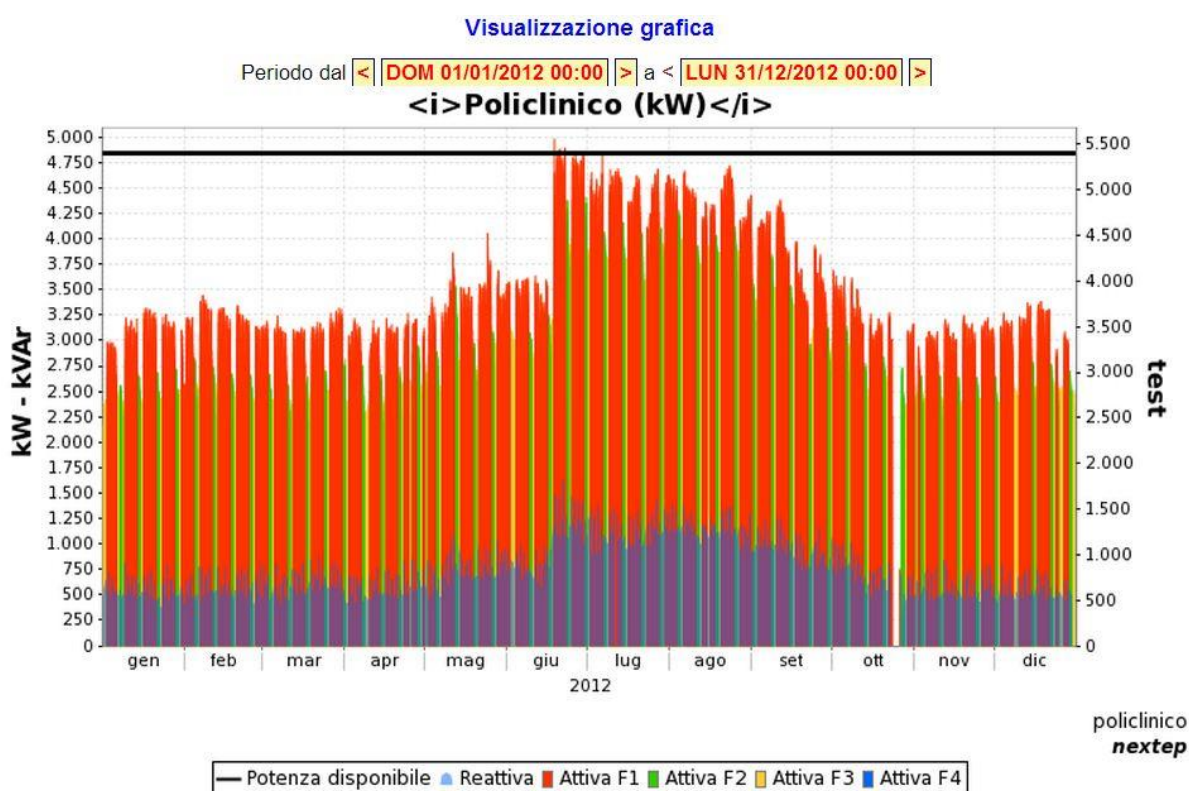


Figura 5.1: Andamento dei consumi al quarto d’ora per l’anno 2012 del totale delle sette cabine del Policlinico, (Fonte:Nextep)

DAL 4 AL 10 LUGLIO							
	LUNEDI' 4	MARTEDI' 5	MERCOLEDI' 6	GIOVEDI' 7	VENERDI' 8	SABATO 9	DOMENICA 10
CABINA 1	623.81	630.53	633.25	636.76	622.81	589.23	545.92 kW
CABINA 2	551.17	558.37	571.50	568.91	563.92	468.85	455.71 kW
CABINA 3	262.80	274.12	276.70	271.75	274.58	233.00	221.37 kW
CABINA 4	67.50	73.67	72.47	69.35	71.15	67.91	60.27 kW
CABINA 5	561.62	584.46	589.91	575.29	564.96	542.92	514.54 kW
CABINA 6	1'606.83	1'678.66	1'731.91	1'860.91	1'879.21	1'854.37	1'922.37 kW
CABINA APR	---	---	---	---	---	---	---
TOTALE (somma)	3'673.73	3'799.81	3'875.74	3'982.97	3'976.63	3'756.28	3'720.18 kW

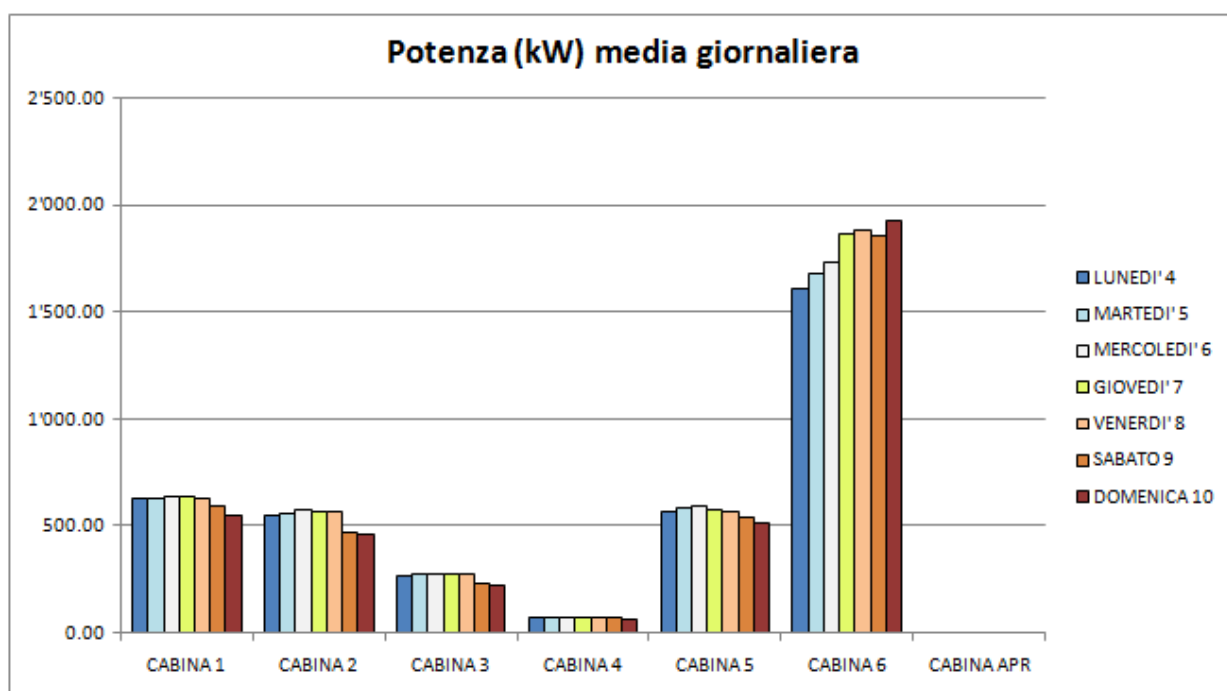


Figura 5.2: Andamento dei consumi globali delle cabine suddiviso per settimana, dal 4 al 10 luglio
 (Fonte: elaborazione dati Nextep)

DAL 11 AL 17 LUGLIO							
	LUNEDI' 11	MARTEDI' 12	MERCOLEDI' 13	GIOVEDI' 14	VENERDI' 15	SABATO 16	DOMENICA 17
CABINA 1	642.50	657.40	661.71	653.36	606.43	398.04	360.58 kW
CABINA 2	581.37	598.04	602.00	601.16	569.83	508.66	489.00 kW
CABINA 3	283.16	302.87	307.08	303.21	287.21	237.79	226.62 kW
CABINA 4	66.11	67.05	72.79	69.70	71.76	65.14	59.82 kW
CABINA 5	567.50	582.29	589.37	595.35	567.29	327.50	307.33 kW
CABINA 6	1'996.75	2'198.16	2'201.96	2'087.92	1'822.08	1'708.42	1'510.83 kW
CABINA APR	---	---	---	---	---	---	---
TOTALE (somma)	4'137.39	4'405.81	4'434.91	4'310.70	3'924.60	3'245.55	2'954.18 kW

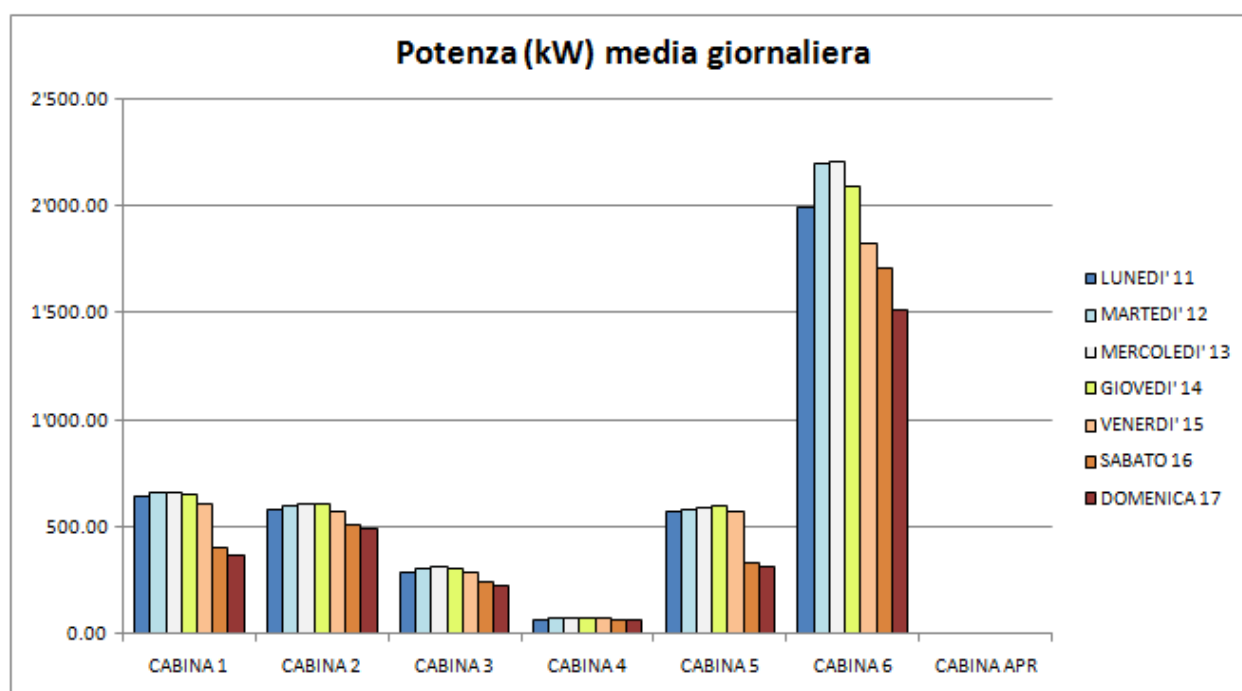


Figura 5.3: Andamento dei consumi globali delle cabine suddiviso per settimana, dal 11 al 17 luglio
 (Fonte: elaborazione dati Nextep)

Come si può notare, in queste prime due settimane di luglio, i consumi della cabina 1 e della cabina 5 sono risultati, per entrambe, superiori ai 500 kW, quando, in realtà, sulla base delle informazioni fornite dai tecnici, avrebbero dovuto avere consumi dell'ordine rispettivamente di 400 kW e 350 kW.

Questo andamento anomalo si è assestato nelle due settimane successive, come si può notare dai grafici che seguono e, alla luce dell'analisi successivamente descritta, si è capito che si trattava di errori derivanti dalla non corretta trasmissione dei dati.

DAL 18 AL 24 LUGLIO								
	LUNEDI' 18	MARTEDI' 19	MERCOLEDI' 20	GIOVEDI' 21	VENERDI' 22	SABATO 23	DOMENICA 24	
CABINA 1	432.21	429.21	416.79	422.29	416.79	386.00	350.29	kW
CABINA 2	550.04	558.37	502.46	533.96	529.16	482.04	457.04	kW
CABINA 3	288.92	285.66	272.16	284.29	285.87	235.00	214.12	kW
CABINA 4	67.33	70.42	64.57	69.91	67.16	62.16	57.95	kW
CABINA 5	343.54	345.76	334.37	340.71	341.25	322.42	306.42	kW
CABINA 6	1'606.29	1'531.04	1'299.08	1'424.71	1'454.66	1'495.08	1'359.75	kW
CABINA APR	---	---	---	---	---	---	---	
TOTALE (somma)	3'288.33	3'220.46	2'889.43	3'075.87	3'094.89	2'982.70	2'745.57	kW

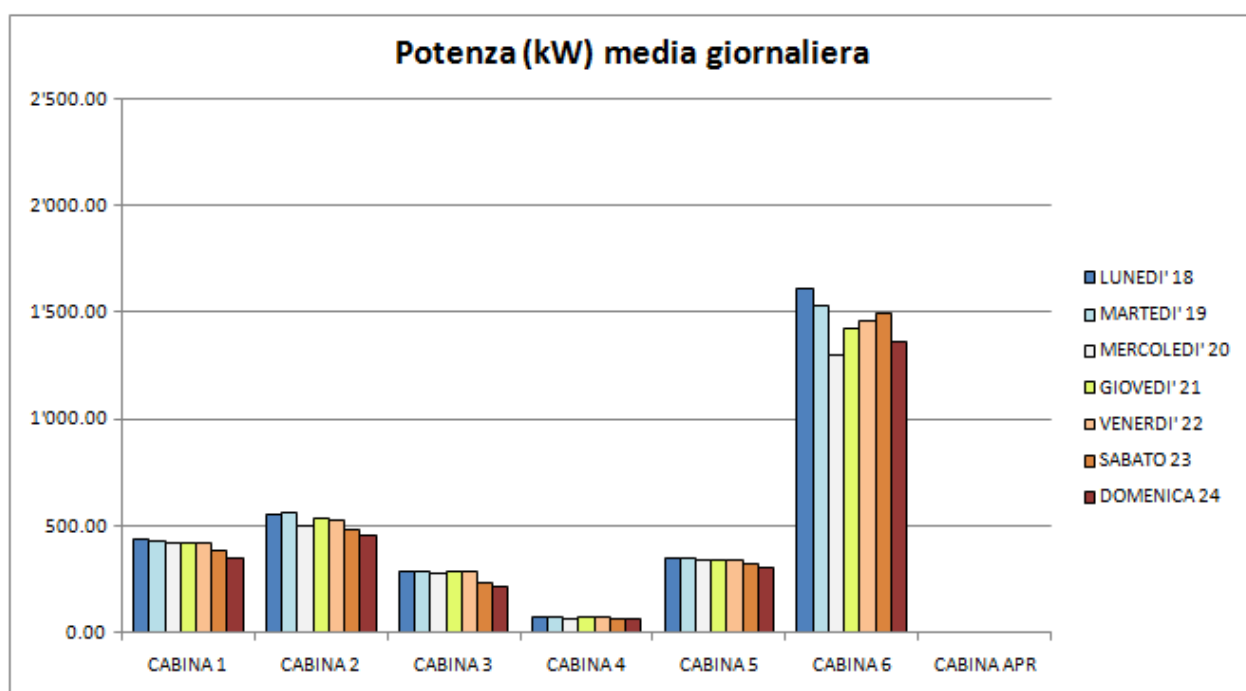


Figura 5.4: Andamento dei consumi globali delle cabine suddiviso per settimana, dal 18 al 24 luglio
 (Fonte: elaborazione dati Nextep)

DAL 25 AL 31 LUGLIO							
	LUNEDI' 25	MARTEDI' 26	MERCOLEDI' 27	GIOVEDI' 28	VENERDI' 29	SABATO 30	DOMENICA 31
CABINA 1	406.42	405.66	414.42	405.08	405.37	385.58	351.42 kW
CABINA 2	513.29	523.37	529.42	530.33	529	493.87	479.04 kW
CABINA 3	265.21	268.91	270.91	268.08	267.87	227.71	213.5 kW
CABINA 4	65.78	69.57	65.9	72.13	68.44	63.2	57.72 kW
CABINA 5	337.08	348.79	336.5	355.58	355.21	317.29	320.46 kW
CABINA 6	1402.46	1444.79	1450.75	1517.46	1523.54	1422.83	1454.66 kW
CABINA APR	---	---	---	---	---	---	---
TOTALE (somma)	2990.24	3061.09	3067.9	3148.66	3149.43	2910.48	2876.8 kW

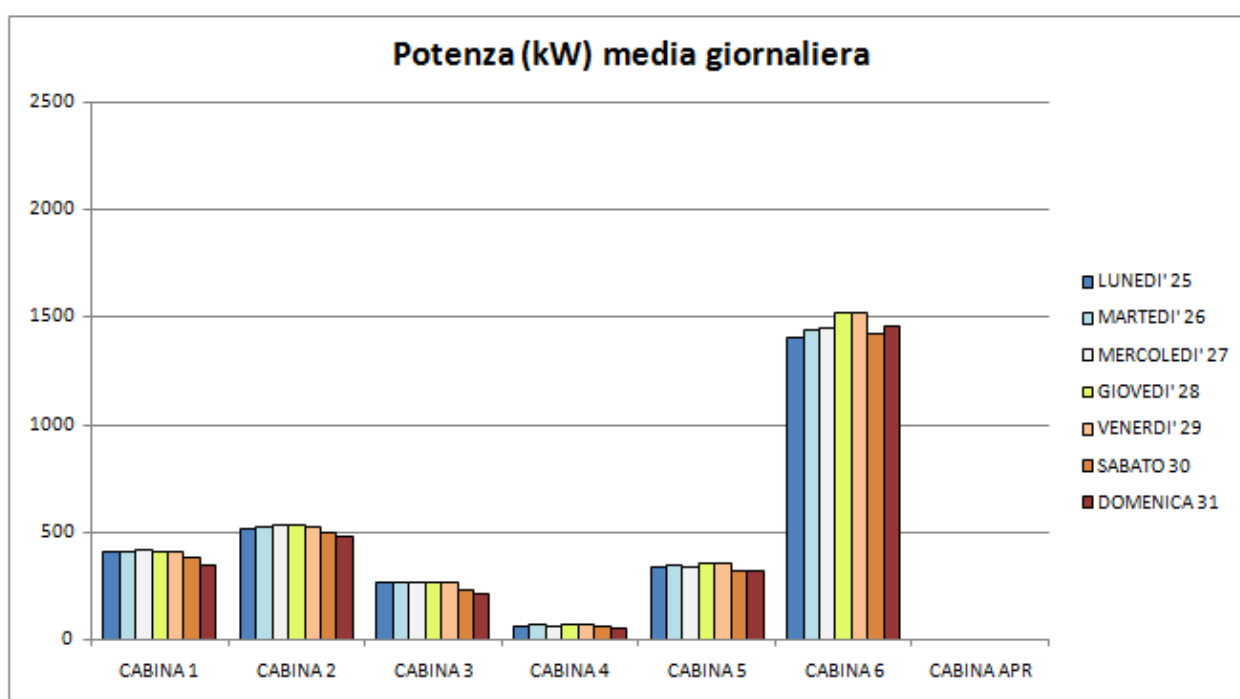


Figura 5.5: Andamento dei consumi globali delle cabine suddiviso per settimana, dal 25 al 31 luglio
 (Fonte: elaborazione dati Nextep)

Come si può notare dalle schermate tratte dal foglio di calcolo realizzato, la cabina 6 è caratterizzata dai consumi più elevati e da un andamento non uniforme; questo si spiega facilmente alla luce del fatto che questa cabina serve le due centrali termica e frigorifera del Policlinico e, soprattutto nel periodo estivo, la produzione di freddo per il raffrescamento dei locali è direttamente collegata all'andamento della temperatura esterna.

La cabina 6, come anticipato, serve, tra le varie utenze, anche le due centrali tecnologiche, termica e frigorifera, del Policlinico. Per questo motivo si riscontrano consumi notevolmente

maggiori rispetto alle altre cabine e non ben definiti in termini giorno della settimana. Tali consumi, infatti, seguono con buona approssimazione, gli andamenti della temperatura ambiente esterna rilevata a Modena, come si può vedere dal confronto sopra riportato.

Alla luce dei risultati ottenuti dall’analisi dei consumi globali delle cabine elettriche di trasformazione MT/BT, si è deciso di procedere con la scelta di una cabina di partenza, su cui affinare la metodologia di indagine ed ottenere i primi importanti risultati di risparmio energetico ed economico.

Al fine di individuare quale cabina fosse più opportuno iniziare ad indagare, si sono analizzate, insieme ai tecnici del Policlinico, tutte le informazioni che si erano riuscite a reperire negli ultimi mesi per ciascuna cabina.

Nello specifico, si sono effettuate diverse considerazioni, che hanno portato via via ad escludere alcune cabine, mettendo in luce i pregi di altre:

- Cabina 1

Si tratta di una cabina particolarmente nuova, ristrutturata in tempi piuttosto recenti, di cui sono facilmente reperibili tutti gli schemi elettrici di cabina. Come più volte detto essa serve una porzione del Monoblocco, e, per questo motivo è costituita da consumi elettrici notevoli (400 kW di media). Tuttavia, i piani serviti risultano piuttosto datati, non ancora ristrutturati, che quindi dispongono di strumenti di misura non ancora sotto supervisione e, probabilmente, con problemi di connessione.

- Cabina 2

Si tratta di una cabina particolarmente vecchia, che serve la porzione centrale del Monoblocco, costituita da reparti datati e non ristrutturati. Nonostante i consumi particolarmente elevati (500 kW di media), se si decidesse di analizzare questa cabina e ciò che essa serve, sarebbe necessario installare nuovi strumenti di misura, andando ad aumentare notevolmente i costi del monitoraggio energetico.

- Cabina 3

Si tratta di una cabina particolarmente datata, di cui non sono facilmente reperibili gli schemi elettrici dei trasformatori; tuttavia essa serve la restante porzione di Monoblocco che contiene al suo interno i reparti attualmente ristrutturati, caratterizzati cioè da strumenti di misura collegati in rete o comunque facilmente collegabili, con

pochi investimenti economici. I consumi di questa cabina, rispetto alle altre due che servono il Monoblocco, sono leggermente più bassi (300 kW di media) ma sono comunque sufficienti ad individuare, ove presenti anomalie gestionali, risparmi economici notevoli.

- Cabina 4

Tra tutte le cabine che servono l'area del Policlinico è quella caratterizzata dai consumi elettrici più bassi (70 kW di media), poiché attualmente serve poche aree e si prevede sarà utilizzata per gli ulteriori ampliamenti che subirà il Policlinico con il passare degli anni.

- Cabina 5

I consumi di questa cabina, particolarmente nuova, sono nella media delle cabine che servono il Monoblocco; tuttavia, essa serve reparti particolarmente importanti del Policlinico, giacenti sotto il nome di Nuovo Blocco Tecnologico (N.B.T.), che contiene tutte le sale operatorie e comunque tutti quei locali che necessitano di funzionamenti continuativi, su cui difficilmente si potrà intervenire per abbassare i consumi.

- Cabina 6

Si tratta della cabina che serve le due centrali del Policlinico, caratterizzata, come si faceva notare nel paragrafo precedente, da consumi particolarmente elevati (oltre i 1'000 kW di media) che seguono l'andamento della temperatura esterna.

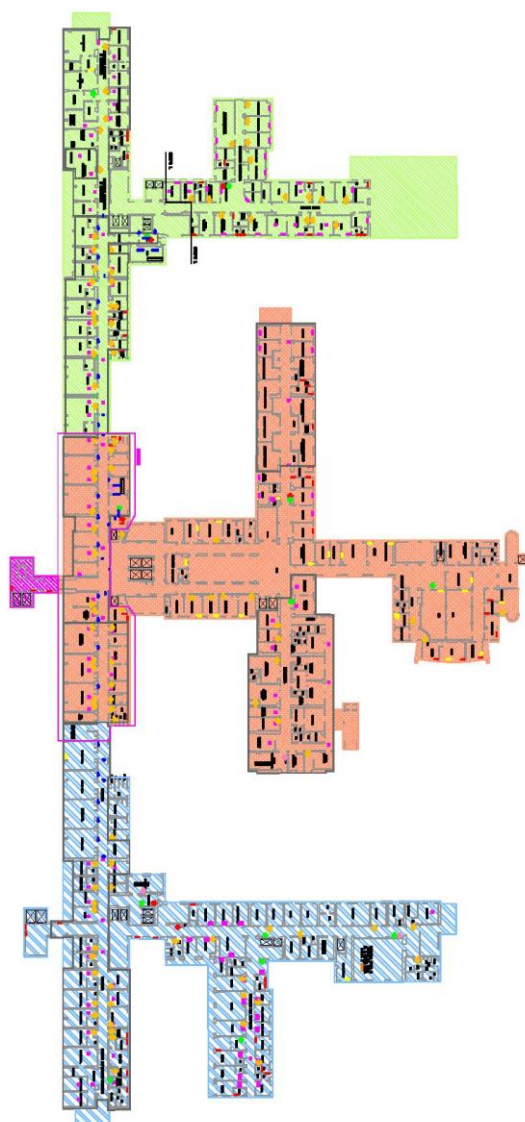
Sebbene sia caratterizzata da consumi così importanti e da apparecchiature di notevole assorbimento, si è deciso di escludere l'analisi di questa cabina poiché è in fase di avvio il progetto che prevede la realizzazione di una centrale di trigenerazione presso il Policlinico stesso, che prevederà quindi la dismissione delle due centrali termica e frigorifera e quindi il rifacimento della cabina stessa.

- Cabina APR

Nonostante i suoi consumi siano nella media delle altre cabine che servono il Monoblocco (300 kW), si tratta di una cabina particolarmente complessa da indagare poiché serve diverse palazzine dell'area ospedaliera, ciascuna delle quali è caratterizzata da andamenti differenti.

Alla luce di queste prime considerazioni, si è deciso di focalizzare maggiori attenzioni sulle cabine 1 e 3, per la conformazione dei carichi e le utenze da esse servite. In particolare, queste due cabine servono, come detto, due lati distinti del Monoblocco, senza considerare un’esatta suddivisione spaziale per piani, seguendo sommariamente una divisione per reparto.

È a partire dalle aree individuate che si è realizzata un’analisi di dettaglio, considerando, da un lato le informazioni ricavabili da Nextep, dall’altro lato quanto reperibile in loco, mediante interviste al personale e censimenti elettrici.



*Figura 5.6: Esempio di suddivisione delle aree di competenza delle cabine a servizio del monoblocco.
(Fonte: elaborazione dati SATP)*

5.3 *Analisi in campo*

La diagnosi energetica realizzata in questa fase, si pone come scopo il raggiungimento di una conoscenza approfondita del comportamento energetico delle aree del policlinico sottoposte a esame, al fine di individuare le più efficaci modifiche di tale comportamento per conseguire i seguenti obiettivi:

- miglioramento dell’efficienza energetica;
- riduzione dei costi per gli approvvigionamenti energetici;
- miglioramento della sostenibilità ambientale;
- riqualificazione del sistema energetico.

Obiettivi raggiungibili tramite i seguenti strumenti:

- razionalizzazione dei flussi energetici;
- recupero dei cascami energetici;
- individuazione di tecnologie per il risparmio energetico;
- ottimizzazione dei contratti di fornitura energetica;
- gestione dei rischi e delle criticità tecniche ed economiche;
- miglioramento delle modalità di conduzione e manutenzione.

L’analisi realizzata ha previsto come prima fase la raccolta dei dati di consumo energetico del “sistema ospedaliero”, elettrico e termico (potenza, fabbisogno e consumo orario, fattore di utilizzo, ore di lavoro, rendimento impiantistico), con l’ausilio dell’applicativo Nextep. Sulla base delle informazioni e dei valori raccolti si è proceduto alla ricostruzione dei modelli energetici aziendali, da cui è possibile ottenere la ripartizione delle potenze e dei consumi per tipo di utilizzo (illuminazione, condizionamento, termico per riscaldamento, aria compressa, pompaggi, etc.), per centro di costo, per reparto e per fascia oraria.

Nella Seconda Fase i flussi energetici, precedentemente inquadrati e analizzati criticamente, sono stati posti in confronto con le B.A.T. (Best Available Techniques), al fine di individuare e proporre interventi migliorativi per la riduzione dei consumi e dei costi.

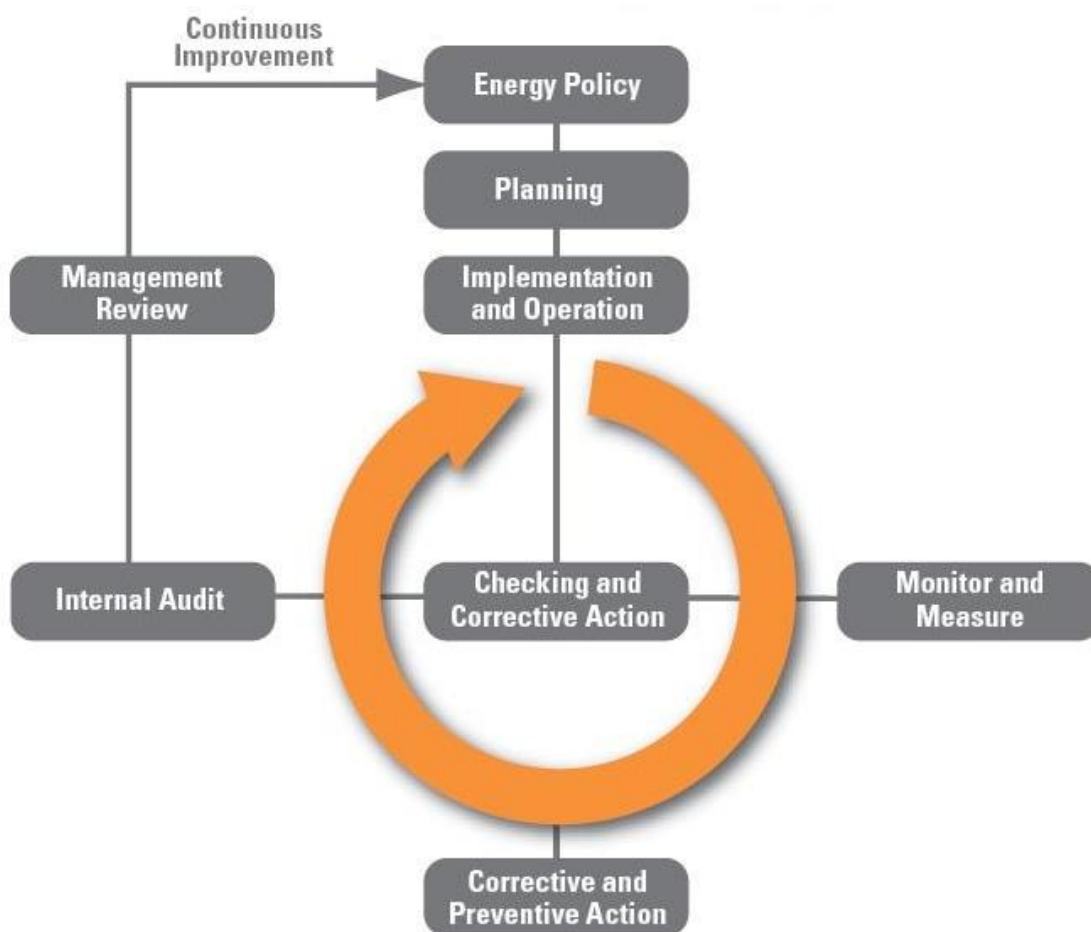


Figura 5.7: Metodologia di Energy Audit. (Fonte: ISO50001)

I risparmi ottenibili, applicando gli interventi migliorativi proposti, sono quantificati con indicatori energetici, ambientali ed economici per ogni singolo sistema energetico analizzato. Inoltre ogni azione migliorativa proposta, è corredata da una valutazione economica dell'investimento che l'azienda deve sostenere per ottenere un risparmio economico – energetico.

Come riferimenti legislativi per la realizzazione della seguente analisi energetica, sono state prese le più recenti normative in materia di efficienza energetica:

- EUROPE 2020 “A New Energy Efficiency Plan 2012” Tra le misure contenute nella direttiva, spicca quella per le aziende: le PMI saranno incentivate a sottoporsi ad audit energetici e a diffondere le migliori pratiche, mentre per le grandi imprese l'audit energetico sarà reso obbligatorio;

- UNI CEI EN ISO 50001:2011 [34] “Energy management systems – requirements with guidance for use” offre alle organizzazioni del settore privato e di quello pubblico delle strategie di gestione che porteranno un aumento dell’efficienza energetica;
- UNI CEI EN 15900/2011 [35] “Servizi di efficienza energetica – Definizioni e Requisiti”;
- UNI CEI TR 11428 [36] “Gestione dell’Energia - Diagnosi Energetica - Requisiti generali del servizio;
- UNI TS 11300-Parte 1 [37] Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva e invernale;
- UNI TS 11300-Parte 2 [38] Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria;
- UNI TS 11300-Parte 3 [39] Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;
- UNI TS 11300-Parte 4 [40] Prestazioni energetiche degli edifici: utilizzo di energie rinnovabili e altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria;
- Decreto Legislativo 115/2008 [41] Attuazione della Direttiva 2006/32/CE Relativa all’efficienza degli usi finali dell’energia e i servizi energetici. Allegato - III “Metodologie di calcolo e requisiti dei soggetti per l’esecuzione delle diagnosi energetiche e la certificazione energetica degli edifici”.

Per implementare un efficace ed efficiente sistema di analisi energetica, è stato fondamentale realizzare un preciso e veritiero “modello energetico aziendale” costruendo un attento e funzionale audit, secondo le seguenti attività da noi implementate:

- Analisi e raccolta degli aspetti legislativi di ogni singolo sistema energetico analizzato;
- Analisi dei dati energetici reperiti a inizio attività (fatture di energia elettrica e gas, monitoraggi, report energetici interni, etc...);
- Interviste al personale, tramite appositi questionari, per inquadrare “la firma energetica” di ogni attività presente al Policlinico di Modena;
- Valutazione degli attuali consumi energetici per tutti i reparti e sistemi energetici in funzione dei dati raccolti;

- Definizione dello stato attuale dei consumi energetici tramite l’analisi e l’elaborazione dei dati reperiti dal monitoraggio e dalle analisi in campo;
- Caratterizzazione delle reti di alimentazione e dei flussi energetici coinvolti nei sistemi sottoposti ad analisi tramite schemi funzionali, planimetrie e sopralluoghi specifici;
- Censimento delle apparecchiature, macchine e sistemi che assorbono o producono energia, al fine di reperire i “dati di targa”: potenza, anno d’installazione, manutenzione, etc;
- Ricostruzione dei profili di utilizzo delle strutture, apparecchiature e macchine energivore;
- Valutazione/stima degli assorbimenti energetici ricostruiti tramite valutazioni sui dati raccolti;
- Monitoraggio in real-time, dove possibile, dei consumi di energia (eventuale studio di un monitoraggio puntuale con data logger e software dedicati);
- Reperimento dei dati di costo della produzione di ogni singola attività svolta così da poter correlare i consumi alla produzione e gestione;
- Definizione della baseline per ogni sistema analizzato (il riferimento è prevalentemente annuale);
- Creazione di specifici indicatori al fine di caratterizzare con maggiore precisione i possibili scenari energetici associati a tutti gli edifici e/o sistemi energetici mappati. E’ stato realizzato un indicatore ad hoc, funzione dei fabbisogni energetici individuati nella prima fase di Audit. L’obiettivo prioritario di tale parametro, è quello di mettere in evidenza criticità o punti di forza dell’edificio e/o sistema, in relazione alle sue specificità costruttive, gestionali e operative;
- Normalizzazione dei consumi, conversione in CO₂ e TEP (Tonnellate Equivalenti di Petrolio);
- Individuazione delle utenze maggiormente energivore e/o inefficienti, tramite il sistema di rating realizzato o tramite l’analisi di Pareto, su cui concentrare lo studio dei contenimenti energetici;
- Realizzazione di una “scheda” per ogni sistema energetico valutato, che racchiuda i parametri energetici, ambientali e operativi caratterizzanti della struttura e/o apparecchiatura, al fine di redigere un “database energetico-ambientale” che sia di facile e immediata comprensione a tutte le figure coinvolte nel progetto;

- Stesura dell’elaborato utile a definire lo stato dell’arte energetico dell’azienda ospedaliera.

Realizzata la “fotografia energetica” del Policlinico di Modena, sulla base delle azioni sviluppate nel precedente, si è passati a valutare un “piano di efficientamento energetico” con lo scopo di individuare i possibili interventi migliorativi per la riduzione dei consumi e dei costi. Le attività previste sono state:

- Definizione degli obiettivi di risparmio;
- Analisi e studio delle possibili azioni di efficientamento individuate tramite le analisi illustrate precedentemente,
- Individuazione delle azioni correttive maggiormente performanti;
- Analisi delle raccomandazioni tecniche e gestionali in merito alle azioni di efficientamento individuate;
- Implementazione di scenari energetici (combinazioni di più interventi) e valutazione tramite la costruzione di una “matrice energetica” dello scenario che massimizza i risparmi;
- Analisi dei progetti d’investimento (Capital Budgeting e Strategic Planning) tramite il criterio del PayBack Period e del Valore Attuale Netto;
- Concertazione con i tecnici del SATP per individuare i migliori interventi applicabili;
- Stesura dell’elaborato “Piano di Efficientamento Energetico”, in cui si evidenziano i prioritari interventi di ottimizzazione energetica;

5.4 *Interventi proposti*

Le analisi, secondo la metodologia precedentemente illustrata, si sono concentrate prevalentemente sul monoblocco, mettendo in evidenza una serie di anomalie e inefficienze legate alle apparecchiature ausiliarie ad attività gestionali del Policlinico di Modena. Di seguito vengono riportate le valutazioni eseguite sui principali sistemi energetici dell’azienda ospedaliera. Le proposte di ottimizzazione energetica sono state realizzate seguendo uno “standard a scheda”, con lo scopo di rendere chiare e fruibili a tutti le valutazioni realizzate, illustrando sinteticamente tutte le principali fasi dell’analisi svolta.

5.4.1 Stazioni di pompaggio

INTERVENTO

Si propone la sostituzione delle N°45 pompe, obsolete e inefficienti, presenti nelle sotto centrali di pompaggio dei fluidi termovettori A, O e L del monoblocco, con sistemi ad alto rendimento. Si valuta la possibilità d’installare pompe con rendimenti maggiori, motori ad alta efficienza (IE3) e inverter per la regolazione ottimale della curva di funzionamento dove conveniente.

DESCRIZIONE ATTIVITA’

Sono stati eseguiti vari sopralluoghi, con i tecnici preposti del Policlinico, presso le sotto centrali del monoblocco per valutare lo stato di fatto delle apparecchiature di pompaggio. In sede di analisi dei dati di “targa” delle apparecchiature, sono state formulate stime cautelative dei rendimenti dei sistemi attualmente in funzione, secondo i seguenti criteri:

- I rendimenti dei motori sono stati calcolati tenendo come riferimento i valori forniti dalle tabelle CESI, i dati reperiti dall’analisi dei progetti “come costruito” delle SC, i dati ottenuti dalle analisi numeriche realizzate con software commerciali e i dai valori tabellari forniti dai principali costruttori dei motori EFF 1, 2 e 3;
- I rendimenti delle pompe sono stati calcolati con l’ausilio delle tabelle CESI e dei dati forniti dai cataloghi specializzati che forniscono rendimenti stimati a seconda di vari parametri e condizioni manutentive della pompa;
- I rendimenti di regolazione sono stati calcolati e stimati secondo la tipologia di regolazione presente, utilizzando come supporto i calcoli forniti da ANIMA (Associazione Nazionale Industria Meccanica) e i valori estrapolati da appositi software di calcolo.

Le ore di funzionamento, il carico di lavoro e gli stati di uso/manutenzione delle apparecchiature sono state valutate tramite analisi in campo e interviste al manutentore.

Per ogni sotto centrale analizzata, sono stati proposti due interventi di efficientamento:

- sostituzione della motopompa con motore ad alta efficienza IE2 o IE3 per rispettare la normativa IEC 60034-30:2008;
- sostituzione della motopompa con motore ad alta efficienza IE2 o IE3 e inverter per rispettare la normativa IEC 60034-30:2008 e le prescrizione che saranno vigenti dal 2015.

I rendimenti dei sistemi ad alta efficienza proposti sono stati valutati con l’ausilio di software di calcolo e delle tabelle fornite dai principali costruttori di motori IE2 e IE3. Per tutti i sistemi analizzati, si sono formulate due ipotesi di sostituzione dei motori: sostituzione dei soli motori in funzione e sostituzione di tutte le pompe presenti nelle sotto centrali, comprese quelle di “soccorso”.

Le valutazioni di “saving” sono state realizzate tenendo come riferimento il valore di 0,177 €/kWh (prezzo di dicembre 2011) e il trend crescente dell’energia.

Sono forniti anche strumenti di valutazione del capitale investito come: Tempo di Ritorno Semplice, VAN e IR.

ANALISI

Dall’analisi dei vari scenari di saving ottenibili, è stata valutata approfonditamente la soluzione tecnico-economica che massimizza i risultati ottenibili di risparmio energetico ed economico:

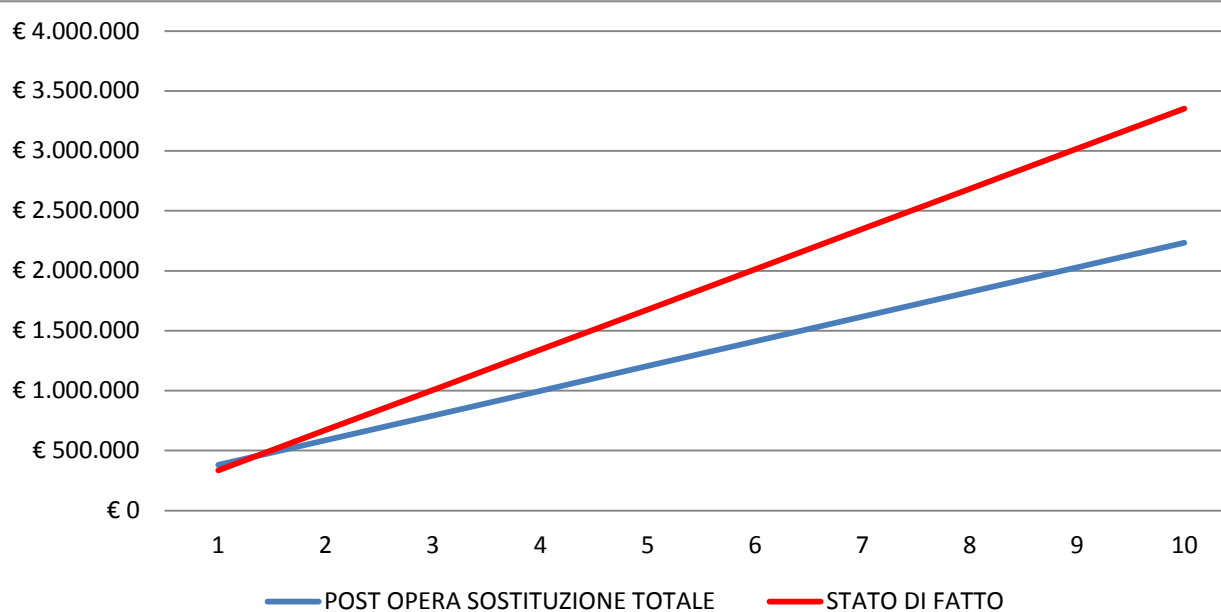
- sostituzione di tutte le 45 pompe in funzione nelle SC analizzate;
- implementazione di motori ad alta efficienza IE2 e IE3 per potenze superiori a 11 kW;
- implementazione inverter su tutti i sistemi pompa-motore in funzione.

RISULTATI

SOSTITUZIONE DELLE POMPE + MOTORE IE2/IE3 + INVERTER	SC-A	
	Consumo attuale Stimato [kWh/anno]	560.581,47
	Spesa attuale [€/anno]	€ 99.222,92
	Investimento Intervento di Saving [€]	€ 65.622,40
	Risparmio Energetico Stimato [kWh/anno]	202.628,26
	Risparmio Economico [€/anno]	€ 35.865,20
	Tempo di Ritorno Semplice [anni]	1,83
	VAN	129.918,86
	IR	4,90
	SC-O	
	Consumo attuale Stimato [kWh/anno]	517.168,71
	Spesa attuale [€/anno]	€ 91.538,86
	Investimento Intervento di Saving [€]	€ 56.383,60
	Risparmio Energetico Stimato [kWh/anno]	217.481,55
	Risparmio Economico [€/anno]	€ 38.494,23
	Tempo di Ritorno Semplice [anni]	1,46
	VAN	149.023,27
	IR	5,00
	SC-L	
	Consumo attuale Stimato [kWh/anno]	816.984,22
	Spesa attuale [€/anno]	€ 144.606,21
	Investimento Intervento di Saving [€]	€ 83.219,20
	Risparmio Energetico Stimato [kWh/anno]	310.756,34
	Risparmio Economico [€/anno]	€ 55.003,87
Tempo di Ritorno Semplice [anni]	1,51	
VAN	203.164,08	
IR	3,85	

RISULTATI

TOTALE	
Consumo attuale Stimato [kWh/anno]	1.894.734,40
Spesa attuale [€/anno]	€ 335.367,99
Investimento [€]	€ 205.225,20
Investimento [€] - Sconto 15%	€ 174.441,42
Risparmio Stimato [kWh/anno]	730.866,15
Risparmio [€/anno]	€ 129.363,31
Tempo di Ritorno Semplice [anni]	1,59



POSSIBILI SVILUPPI

Si consiglia di:

- approfondire le analisi realizzate, chiedendo il supporto e assistenza di un produttore specializzato, per “consolidare” le valutazioni tecniche;
- estendere le analisi a tutte le sotto centrali presenti nel Policlinico di Modena;
- valutare la possibilità di accedere al meccanismo incentivante dei Certificati Bianchi per i motori di efficienza IE3.

5.4.2 Unità di trattamento aria

INTERVENTO

Nel Policlinico sono presenti 105 Unità di Trattamento Aria (UTA) con le caratteristiche generali, reperite dal censimento elettrico delle apparecchiature, riportate di seguito:

- 210 motori obsoleti a bassa efficienza che lavorano più di 8.000 ore/anno;
- La maggior parte delle UTA non presentano variatori di velocità;
- L'anno d'installazione è mediamente il 2000;
- Portata di mandata media 7.500 mc/ora.

Queste apparecchiature particolarmente energivore, che assieme alle motopompe rappresentano circa il 40% dei consumi, offrono ampi margini di efficientamento energetico.

Le nostre valutazioni si sono concentrate su un “campione” di N°5 UTA, maggiormente rappresentative, che rispondessero alle caratteristiche generali sopra riportate. Sono state analizzate in dettaglio le Unità di Trattamento Aria che servono il Centro Oncologico Modense (COM), perché rappresentative dei differenti fabbisogni di condizionamento-ventilazione presenti nel Policlinico di Modena.

DESCRIZIONE ATTIVITA'

Sono stati eseguiti vari sopralluoghi, con i tecnici preposti del Policlinico, presso le Unità di Trattamento Aria, per verificare lo stato di manutenzione delle apparecchiature. In sede di analisi dei dati di “targa” delle apparecchiature, sono state formulate stime cautelative dei rendimenti dei sistemi attualmente in funzione, secondo i seguenti criteri:

- I rendimenti dei motori sono stati calcolati tenendo come riferimento i valori forniti dalle tabelle CESI, i dati reperiti dall'analisi dei progetti “come costruito” delle SC, i dati ottenuti dalle analisi numeriche realizzate con software commerciali e i dai valori tabellari forniti dai principali costruttori dei motori EFF 1, 2 e 3;
- I rendimenti di regolazione sono stati calcolati e stimati secondo la tipologia di regolazione presente, utilizzando come supporto i calcoli forniti da ANIMA (Associazione Nazionale Industria Meccanica) e i valori estrapolati da appositi software di calcolo.

Le ore di funzionamento, il carico di lavoro e gli stati di uso/manutenzione delle apparecchiature sono state valutate tramite:

- analisi in campo;
- interviste al personale dell'ufficio tecnico;
- letture e analisi dei profili di utilizzo tramite il software di supervisione a disposizione dei tecnici del Servizio Tecnico Patrimoniale;
- analisi dei dati contenuti nel censimento delle apparecchiature elettriche presenti al Policlinico.

Le UTA oggetto d'analisi, presentano le seguenti caratteristiche:

- Lavorano circa 8.760 ore/anno;
- Le UTA non presentano variatori di velocità;
- L'anno di installazione è il 2000;
- Portata di mandata media 7.522 mc/ora.

ANALISI

Per ogni UTA analizzata è stata valutato il seguente intervento di efficientamento:

- sostituzione del motore attualmente installato con motore ad alta efficienza IE2 o IE3 (per potenze sopra gli 11 kW) per rispettare la normativa IEC 60034-30:2008;
- Implementazione di inverter a bordo macchina.

STATO DI FATTO	Aria Mandata [mc/ora]	Aria Ripresa [mc/ora]	Motore Mandata [kW]	Rend. Motore Mandata	Motore Ripresa [kW]	Rend. Motore Ripresa
UTA_1	13.800	10.500	11	0,85%	4	0,82%
UTA_2	11.400	10.500	11	0,85%	5,5	0,85%
UTA_3	16.130	14.900	11	0,85%	5,5	0,85%
UTA_4	16.390	15.860	11	0,85%	5,5	0,85%
UTA_5	6.200	4.700	5,5	0,85%	3	0,80%

I rendimenti dei sistemi ad alta efficienza proposti sono stati valutati con l’ausilio di software di calcolo e delle tabelle fornite dai principali costruttori di motori IE2 e IE3.

Le valutazioni di “saving” sono state realizzate tenendo come riferimento il valore di 0,177 €/kWh (prezzo medio energia elettrica di dicembre 2011) e il trend crescente dell’energia.

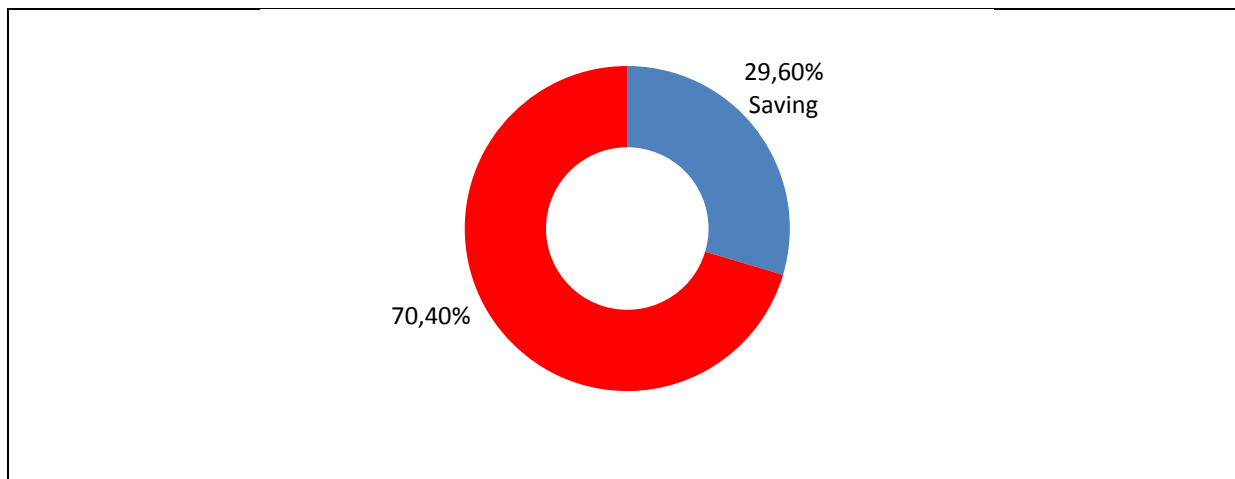
Sono forniti anche strumenti di valutazione del capitale investito come: Tempo di Ritorno Semplice, VAN e IR.

RISULTATI

IMPLEMENTAZIONE MOTORE IE2/IE3 + INVERTER	N°5 UTA	
	Consumo attuale Stimato [kWh/anno]	626.533,24
	Spesa attuale [€/anno]	€ 110.896,43
	Investimento Intervento di Saving [€]	€ 32.105,05
	Risparmio Energetico Stimato [kWh/anno]	170.152,38
	Risparmio Economico [€/anno]	€ 30.116,51
	Tempo di Ritorno Semplice [anni]	1,07
	VAN a 5 anni	€ 108.203
	IR	3,37

RISULTATI

Sostituendo i motori e installando variatori di velocità a bordo macchina, si risparmia il 29,6% dei consumi relativi alle UTA.



POSSIBILI SVILUPPI

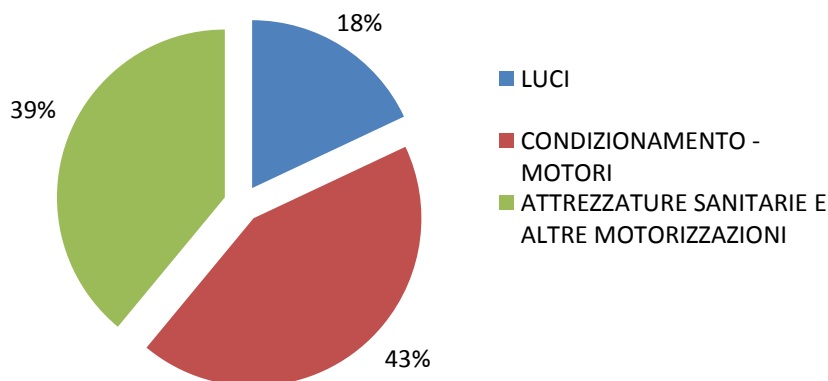
Si consiglia di:

- approfondire le analisi realizzate, chiedendo il supporto e assistenza di un produttore specializzato (KSB, SIEMENS o ABB), per “consolidare” le valutazioni tecniche;
- estendere le analisi a tutte le 105 UTA presenti nel Policlinico di Modena;
- valutare la possibilità di accedere al meccanismo incentivante dei Certificati Bianchi per i motori di efficienza IE3.

5.4.3 Luci artificiali

INTERVENTO

L'energia assorbita dai corpi illuminanti, presenti nel Policlinico di Modena, corrisponde a circa il 18% dei consumi totali della struttura (sono stati stimati i consumi e i costi inerenti il sistema energetico luci, pari a : 5.065.221 kWh/anno pari a 701.394 €/anno), come si osserva nel grafico sotto riportato.



I corpi illuminanti installati presentano le seguenti criticità:

- Bassi rendimenti (il rendimento medio di lampada e attuatore è circa 75-80%);

- Ogni 2-3 anni richiedono un intervento di manutenzione/sostituzione, che comporta costi elevati di gestione.

Si propone di valutare la sostituzione delle lampade installate con lampade a tecnologia LED, che presentano rendimenti elevati e tempi di manutenzione di 7/8 anni, alla prossima manutenzione programmata o intervento di ristrutturazione di reparto/zona (come al 3° piano del monoblocco).

DESCRIZIONE ATTIVITA'

Sono stati eseguiti vari sopralluoghi nei reparti del Policlinico di Modena per analizzare i corpi illuminanti (marca, modello, potenza, rendimento) e ricostruire i profili di funzionamento delle apparecchiature (ore/gg, dimmerazione, parzializzazione). Come supporto alle valutazioni, sono state usate le piante del censimento elettrico in possesso del SATP, che evidenziano la posizione dei corpi e le principali caratteristiche tecniche. Inoltre per completare le analisi, sono state realizzate interviste ai responsabili per stimare i tempi e i costi delle manutenzioni dei corpi illuminanti.

Le analisi si sono concentrate sulle luci poste nei corridoi e spazi comuni del monoblocco, che presentano le seguenti caratteristiche:

- accese più di 7.000 ore/anno;
- rendimenti pari al 75%;
- luci Fluorescenti Compatte (FLC);
- lampade 2x26 W e 4x18 W;
- tempo di vita circa 8.000 ore.

I calcoli realizzati per valutare i risparmi energetici ed economici sono stati realizzati per il i corridoi del IV e VI piano del Monoblocco.

ANALISI

Per ogni corpo lampada analizzato (2x26 e 4x18), è stata valutato il seguente intervento di efficientamento:

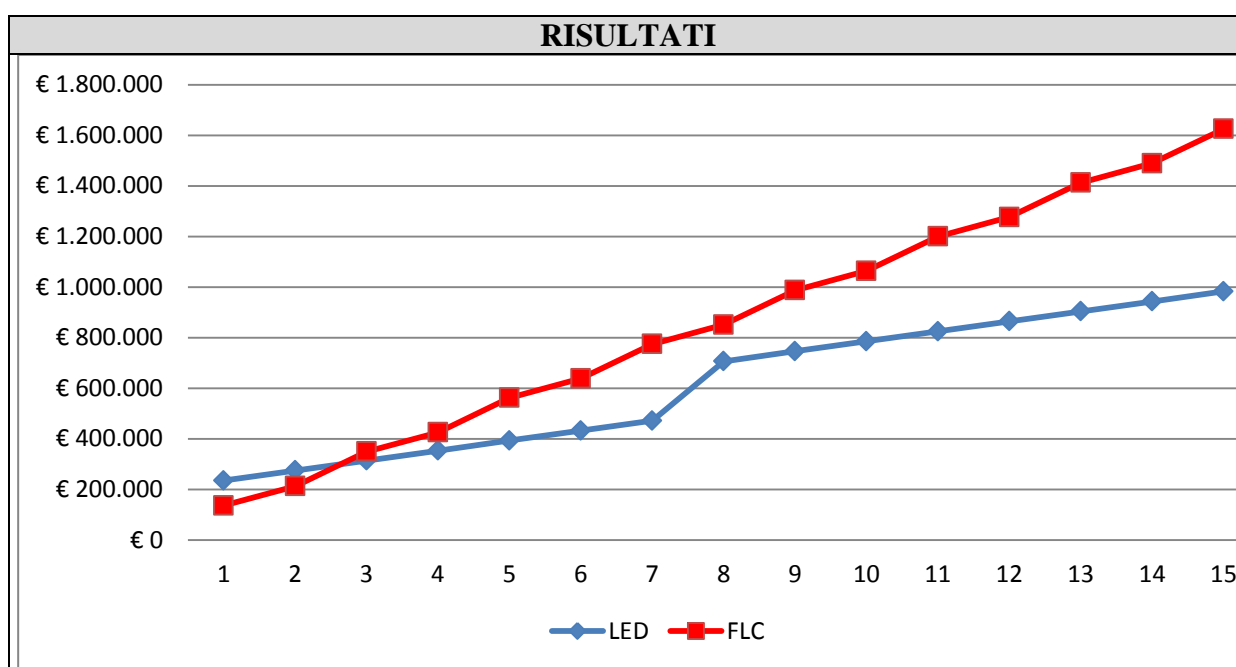
- sostituzione delle lampade attualmente installate con lampade ad alta efficienza LED.

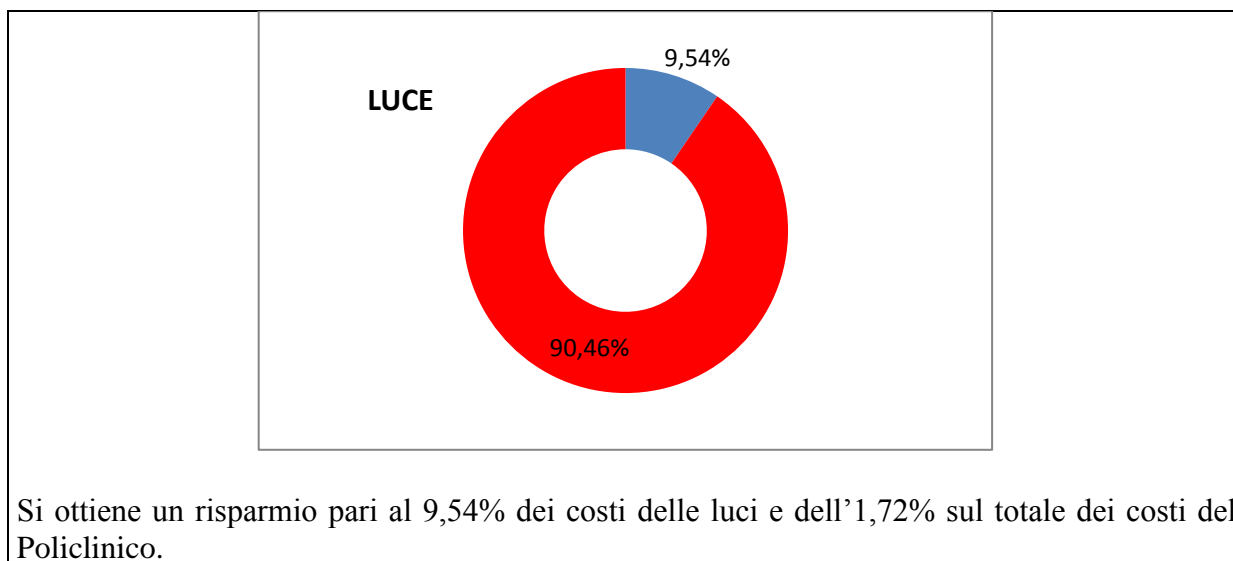
LAMPADINE 2X26				LAMPADINE 4x18			
	FLC	LED		FLC	LED		
Quantità Lampade	1.604	802	pezzi	604	604	pezzi	
Assorbimento	30	32	Watt	24	11	Watt	
Tempo di Vita	8.000	50.000	ore	8.000	50.000	ore	
Ore lavoro per anno	7.056	7.056	ore/anno	7.056	7.056	ore/anno	
Costo IVA esclusa	10,00	180,00	€	5,25	38,00	€	
ENERGIA				ENERGIA			
Costo Energia	0,177	0,177	€/kWh	0,177	0,177	€/kWh	
MANUTENZIONE - INSTALLAZIONE				MANUTENZIONE - INSTALLAZIONE			
Costo	18,00	22,00	€/cad	18,00	18,00	€/cad	
ANALISI ECONOMICA				ANALISI ECONOMICA			
Prezzo Lampade	14.436,00	20.372,57	€	3.171,00	3.239,06	€	
Energia	60.097,64	32.052,08	€	18.104,22	8.297,77	€	
Manutenzione - Installazione	28.872,00	2.489,98	€	10.872,00	1.534,29	€	
TOTALE COSTI PER ANNO	103.405,64	54.914,63	€	32.147,22	13.071,12	€	
RISPARMIO PER ANNO	47%	48.491,22	€	41%	19.076,00	€	
TEMPO DI RITORNO	3,02		anni	1,22		anni	

I rendimenti dei sistemi ad alta efficienza proposti sono stati valutati con l’ausilio di software di calcolo fornito da OSRAM.

Le valutazioni di “saving” sono state realizzate tenendo come riferimento il valore di 0,177 €/kWh (prezzo medio energia elettrica di dicembre 2011) e il trend crescente dell’energia.

RISULTATI		
IMPLEMENTAZIONE LUCI LED	Analisi su IV e VI Piano Monoblocco	
	Consumo attuale Stimato [kWh/anno]	626.533,24
	Spesa attuale [€/anno]	€ 110.896,43
	Investimento Intervento di Saving [€]	€ 195.882,00
	Risparmio Energetico Stimato [kWh/anno]	381.735,70
	Risparmio Economico [€/anno]	67.567,00
	Risparmio per mancata manutenzione [€/anno]	39.744,00
	Risparmio annuo [€/anno]	107.311,00
	Tempo di Ritorno Semplice [anni]	1,80





POSSIBILI SVILUPPI

Si consiglia di:

- approfondire le analisi realizzate, chiedendo il supporto e assistenza di un produttore specializzato (OSRAM), per “consolidare” le valutazioni tecniche;
- estendere le analisi a tutte i corpi illuminanti presenti nel Policlinico di Modena;
- valutare la possibilità di accedere al meccanismo incentivante dei Certificati Bianchi a consuntivo.

5.4.4 Gestione dei carichi del Poliambulatorio

Durante due sopralluoghi realizzati nel mese di giugno 2011, con l’ausilio di una macchina fotografica, sono state scattate alcune immagini che mostrano possibili comportamenti anomali della struttura.

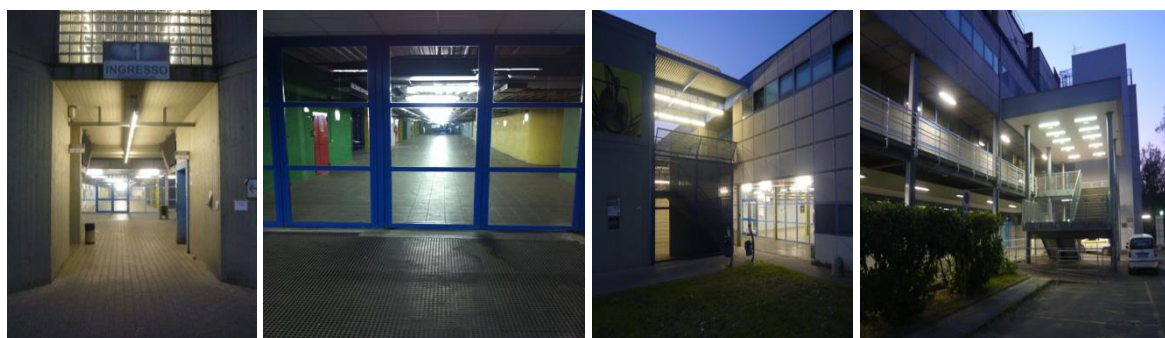


Figura 5.8: Immagini del Poliambulatorio.

Per analizzare e validare le supposizioni nate durante i sopralluoghi, si è ricostruito il profilo d'utilizzo della struttura, confrontando gli orari d'apertura al pubblico del Poliambulatorio e gli orari delle tre fasce elettriche.

PROFILI UTILIZZO E CONSUMI

Dall'analisi delle fatture elettriche del Poliambulatorio e dei profili di utilizzo della struttura, sono emersi consumi energetici anomali. Sono stati ricostruiti i profili di “attività” della struttura e confrontati con le fasce di consumo elettrico:

Fasce Orarie Energia Elettrica																							
Fasce Orarie	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	23
lunedì-venerdì	F3						F	F1											F2				F
sabato	F3						F2																F
domenica/festiv	F3																						

Orari Apertura al Pubblico Poliambulatorio																								
Ore	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
lunedì-venerdì								Aperto																
sabato								Aperto																
domenica/festiv																								

Fasce Elettriche	Orario Apertura Poliambulatori	Copertura Fascia
F1 lun-ven 8,00-19,00	lun - ven 7,00-19,00	11 ore su 11
F2 lun-ven 7,00-8,00 e 19,00-23,00	lun - ven 7,00-19,01	1 ora su 5
F2 sab 7,00-23,00	sab 7,00-13,00	6 ore su 16
F3 lun-sab 0,00-7,00 e 23,00-24,00	lun - ven 7,00-19,01 sab 7,00-13,00	0 ore su 8
F3 dom e festivi 0,00-24,00	chiuso	0 ore su 24

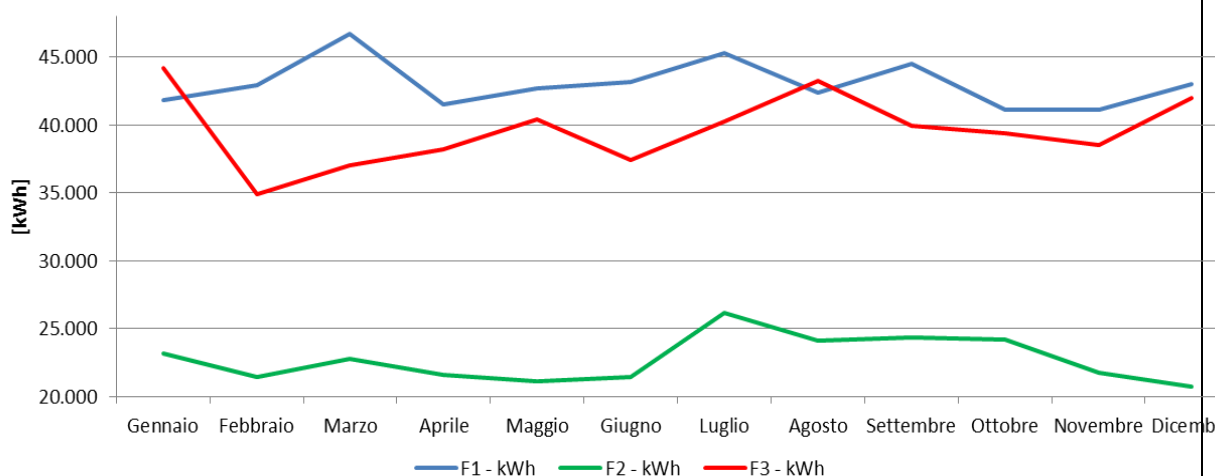
Dall'analisi della tabella soprariportata, si nota che il Poliambulatorio “usa” totalmente la Fascia F1, un terzo della Fascia F2 e nulla della Fascia F3.

ANALISI

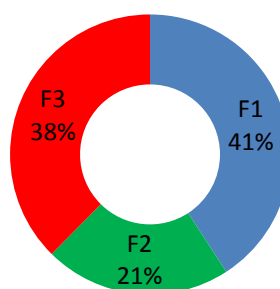
Di seguito i resoconti e le analisi delle fatture dell'anno 2011:

Consumi 2010	F1 - kWh	F2 - kWh	F3 - kWh	TOT kW	kW	€	€/kWh
Gennaio	41.864,00	23.173,00	44.212,00	109.249,00	253,40	15.541,04	0,1423
Febbraio	42.944,71	21.439,46	34.917,24	99.301,41	247,30	14.702,88	0,1481
Marzo	46.723,90	22.773,10	37.048,90	106.545,90	240,91	16.115,68	0,1513
Aprile	41.521,46	21.589,54	38.192,04	101.303,04	224,72	15.651,08	0,1545
Maggio	42.687,37	21.106,58	40.405,34	104.199,29	226,52	16.366,78	0,1571
Giugno	43.177,21	21.476,94	37.434,18	102.088,33	229,12	16.342,78	0,1601
Luglio	45.295,90	26.172,30	40.229,31	111.697,51	216,23	18.381,13	0,1646
Agosto	42.411,54	24.138,99	43.285,93	109.836,46	203,82	18.017,52	0,1640
Settembre	44.546,03	24.360,68	39.923,03	108.829,74	211,69	17.978,57	0,1652
Ottobre	41.114,94	24.217,65	39.366,26	104.698,85	222,41	16.907,69	0,1615
Novembre	41.111,00	21.785,00	38.547,00	101.443,00	211,19	16.246,44	0,1602
Dicembre	43.028,00	20.765,00	41.971,00	105.764,00	220,20	16.900,12	0,1598
TOTALE 2010	516.426,06	272.998,24	475.532,23	1.264.956,53		199.151,71	0,1574

Consumi Poliambulatorio [anno 2010]



Consumi per Fasce 2010



ANALISI

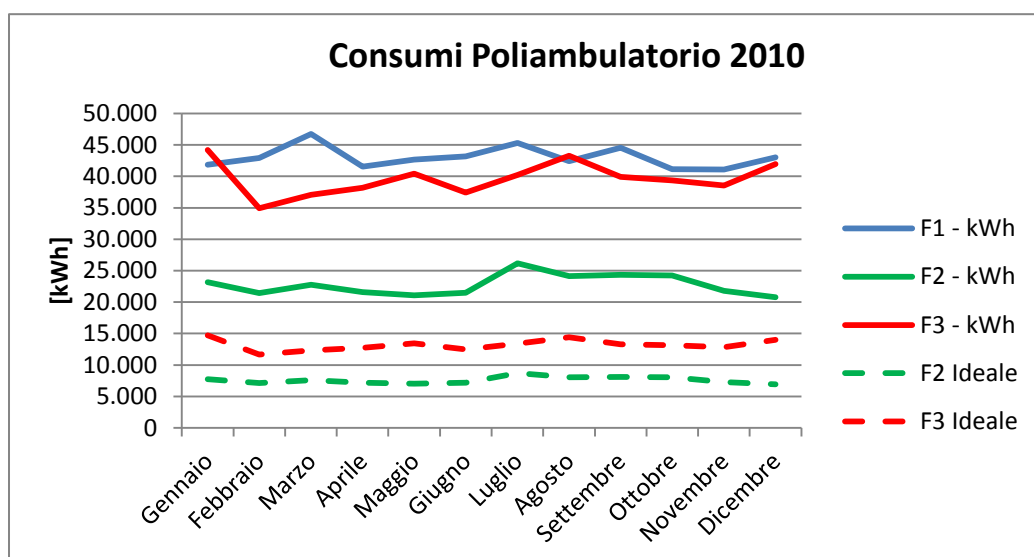
Dall'analisi dei consumi e del grafico, si evince l'anomalo andamento degli assorbimenti in fascia F3 (notturna) quando la struttura è chiusa al pubblico.

2010	F1	F2	F3
Consumo Energia [kWh]	516.426,06	272.998,24	475.532,23
Costo Solo Componente Energia [€]	52.051,46	21.114,81	24.565,64
Tasse [€]	41.582,00	21.298,00	38.539,00
Totale [€]	93.633,46	42.412,81	63.104,64

Ripartizione F2 [€]	14.137,60	-	28.275,20
Totale [€]	107.771,06		91.379,84

	Consumi [kWh]	Costo [€]
Poliambulatorio Aperto al Pubblico	607.425,47	107.771,06
Poliambulatorio Chiuso al Pubblico	657.531,06	91.379,84

RISULTATI



	Consumi [kWh]	Costo [€]
Poliambulatorio Chiuso al Pubblico Profilo Reale	657.531,06	91.379,84
Poliambulatorio Chiuso al Pubblico Profilo Ideale	340.509,56	58.735,14

Risparmio energetico annuo totale	317.021,50	kWh/anno
RISPARMIO ECONOMICO ANNUO TOTALE	32.644,69	€/anno
PREZZO MEDIO ENERGIA		

POSSIBILI SVILUPPI

Si consiglia di:

- approfondire le analisi realizzate, chiedendo il supporto e assistenza di un produttore specializzato, per “consolidare” le valutazioni tecniche;
- estendere le analisi a tutte i corpi illuminanti presenti nel Policlinico di Modena;
- valutare la possibilità di accedere al meccanismo incentivante dei Certificati Bianchi a consuntivo.

5.4.5 *Ottimizzazione contratto energia elettrica e gas*

Durante l’analisi dei consumi e costi dell’energia elettrica, realizzata nella prima fase di diagnosi, sono emersi dati di costo di approvvigionamento che occorrerebbe verificare e confrontare con i valori di mercato.

Le metodologie di acquisto di energia elettrica e gas sono costantemente in evoluzione e la loro conoscenza può portare a evidenti vantaggi economici sui costi energetici. Vi sono vari tipi di proposte contrattuali, legate:

- a parametri standardizzati;
- a panieri creati dai fornitori sulla base delle proprie politiche di acquisto delle materie prime;
- all’andamento della borsa;
- alla possibilità di fissare i prezzi per periodi definiti.

Studiare l’andamento degli indici e delle commodities sulle quali basare i propri contratti di acquisto, risulta pertanto fondamentale per poter risparmiare e scegliere le migliori condizioni economiche disponibili sul mercato. Dall’analisi dei dati storici pubblicati dagli organismi internazionali, analizzando la variazione dei prezzi delle principali materie prime energetiche e del cambio €/€, è possibile acquisire ed elaborare i dati di “forwards” sull’evoluzione dei prezzi delle commodities.

Da quest’analisi, si realizza il confronto oggettivo sull’andamento degli indici proposti dai vari fornitori di energia elettrica e gas. L’ottimizzazione contrattuale, è un servizio che si articola in successivi steps:

- a) analisi dei dati di consumo dell’azienda;
 - b) analisi delle offerte di fornitura;
 - c) sorveglianza della fornitura;
 - d) benchmarking a consuntivo.
-
- a) Questa fase è costituita dalla raccolta dei dati identificativi dei punti di consegna e dei parametri di consumo (orari, giornalieri, settimanali, mensili, annuali). Dopo aver profilato i consumi, si procede ad analizzare il diagramma di carico in funzione di alcuni specifici parametri, così da poter caratterizzare e classificare la specifica modalità di

consumo. L’analisi permette di individuare l’influenza che avrà il profilo di consumo sul costo della fornitura con possibilità di un confronto con consumi omogenei;

- b) Tale attività prevede l’individuazione e la selezione dei potenziali fornitori (locali, nazionali, esteri) interessati al profilo che caratterizza la fornitura. Al ricevimento delle proposte contrattuali si procede all’analisi tecnico-economica (struttura, clausole, vincoli, prezzo, modalità aggiornamento, ecc.) ed alla loro comparazione. In particolare, l’analisi prevede la stima del costo annuale della fornitura in funzione di differenti scenari macroeconomici;
- c) Questa fase prevede la verifica mensile della corretta applicazione di tutte le clausole, sia tecniche sia economiche, previste dal contratto siglato con il fornitore selezionato. L’analisi permetterà di evidenziare eventuali errori nella fatturazione, con la possibilità di richiedere conguagli e rimborsi;
- d) Al termine del periodo di fornitura si valuterà la “bontà economica” del contratto scelto rispetto alle altre proposte ricevute, ma scartate in sede di selezione. Si valuterà inoltre l’andamento del mercato, e la performance assoluta del contratto rispetto a valori di Benchmark. Questa fase permetterà all’azienda di accumulare esperienza nella gestione delle forniture in modo da migliorare la capacità di interagire con l’offerente della consulenza, nell’interesse reciproco;

Dopo aver raccolto e analizzato i consumi energetici e i contratti per l’anno 2011 -2012 realizzati dal Policlinico, si è eseguita l’analisi contrattuale confrontando i prezzi ottenuti da dall’azienda ospedaliera con quanto di meglio offerto dal mercato. Le analisi sono state realizzate confrontando i costi contenuti nelle fatture fornite dal Servizio Attività Tecniche e Patrimoniali.

Per il GAS si potrebbe ottenere un risparmio di circa 226.778 € acquistando il vettore energetico nel libero mercato, come evidenziato nell’analisi di seguito riportata.

Tabella 5.1: Analisi del contratto GAS 2012 per il Policlinico.

Consumo GAS (mc)		Contratto attuale Intercenter -2012		Proposta contratto TTF		Risparmio
Periodo		Indice	Prezzo (C€/Mc) / Totale	Indice	Prezzo (C€/Mc) / Totale	
gen-12	511.735		36,94 / 189.034,92		28,46 / 148.632,11	40.402,81
feb-12	374.042		36,94 / 138.171,13		32,86 / 125.924,81	12.246,33
mar-12	435.065		36,94 / 160.712,83		30,45 / 135.464,09	25.248,74
apr-12	216.576		38,06 / 82.428,95		31,65 / 71.552,69	10.876,26
mag-12	125.370		38,06 / 47.715,65		31,49 / 42.472,98	5.242,67
giu-12	97.973		38,06 / 37.288,47		30,28 / 32.662,95	4.625,52
lug-12	65.803		40,01 / 26.327,96		30,29 / 22.934,96	3.393,00
ago-12	83.534		40,01 / 33.421,82		30,45 / 28.438,84	4.982,98
set-12	112.122		40,01 / 44.860,00		30,59 / 37.293,29	7.566,71
ott-12	244.334		40,91 / 99.957,15		33,29 / 84.333,26	15.623,89
nov-12	306.793		40,91 / 125.508,82		33,29 / 105.124,17	20.384,65
dic-12	522.505		40,91 / 213.756,87		33,29 / 176.929,96	36.826,91
Totale	3.095.851		38,98 / € 1.199.184,58		31,37 / € 1.011.764,11	€ 187.420,5
			IVA 21% / € 251.828,76		IVA 21% / € 212.470,46	€ 39.358,30
					Risparmio stimato annuo	€ 226.778,77

Per quanto riguarda l'energia elettrica si potrebbe ottenere un risparmio di circa 201.219 € acquistando il vettore energetico nel libero mercato, come evidenziato nell'analisi di seguito riportata.

Tabella 5.2: Analisi del contratto Energia Elettrica 2012 per il Policlinico.

Prezzi contratto Anno 2012

	F1	F2	F3	Tot. Imponibile	Tot. (ivato)
	Pr.Unitario	Pr.Unitario	Pr.Unitario	Euro	Euro
Gennaio	89,020	84,860	68,710	149.953,62	181.443,88
Febbraio	90,040	85,880	69,730	148.104,87	179.206,89
Marzo	91,450	87,290	71,140	157.160,04	190.163,65
Aprile	92,380	88,220	72,070	149.062,76	180.365,94
Maggio	91,240	87,080	70,930	183.994,64	222.633,51
Giugno	90,660	86,500	70,350	204.994,53	248.043,38
Luglio	90,500	86,340	70,190	231.810,28	280.490,43
Agosto	90,400	86,200	70,100	242.150,21	293.001,75
Settembre	89,900	85,800	69,600	213.129,21	257.886,34
Ottobre	89,500	85,300	69,100	167.626,29	202.827,81
Novembre	89,200	85,100	68,900	155.230,08	187.828,40
Dicembre	89,500	85,400	69,200	150.734,50	182.388,75
Totale					2.606.280,73

Prezzi contratto

	F1	F2	F3	Tot. Imponibile	Tot. (ivato)
	Pr.Unitario	Pr.Unitario	Pr.Unitario	Euro	Euro
Gennaio	86,370	77,270	63,170	140.623,23	170.154,11
Febbraio	86,370	77,270	63,170	137.321,71	166.159,27
Marzo	86,370	77,270	63,170	143.176,00	173.242,96
Aprile	86,370	77,270	63,170	133.965,63	162.098,41
Maggio	86,370	77,270	63,170	168.023,25	203.308,13
Giugno	86,370	77,270	63,170	188.417,63	227.985,33
Luglio	86,370	77,270	63,170	213.277,31	258.065,54
Agosto	86,370	77,270	63,170	223.190,59	270.060,61
Settembre	86,370	77,270	63,170	197.746,18	239.272,88
Ottobre	86,370	77,270	63,170	156.288,59	189.109,19
Novembre	86,370	77,270	63,170	145.299,79	175.812,75
Dicembre	86,370	77,270	63,170	140.323,63	169.791,59
Totale					2.405.060,77

Risparmio mensile

€
11.289,78
13.047,62
16.920,70
18.267,53
19.325,38
20.058,05
22.424,90
22.941,14
18.613,46
13.718,61
12.015,65
12.597,16

Risparmio Stimato Annuo 201.219,97

5.5 Conclusioni

Le analisi realizzate sui sistemi energetici “campione” hanno messo in luce la presenza molteplici interventi che, se applicati, porterebbero il Policlinico di Modena a ottenere significativi risparmi energetici e quindi anche economici. Inoltre gli interventi di ottimizzazione energetica proposti, oltre a presentare tempi di ritorno dell’investimento sotto ai due anni, possono essere estesi a tutte le altre apparecchiature non prese in considerazione nei calcoli, ma che presentano le stesse caratteristiche tecniche e funzionali. Nell’ambito dei soli sistemi energetici ad oggi analizzati, applicando gli interventi di efficientamento energetico da noi suggeriti, sarà possibile ottenere per l’energia elettrica un risparmio pari a 1.793.674 €/anno, che con i prezzi dell’energia di fine 2012, porterebbe al mancato esborso di circa 322.861 €/anno per l’acquisto del vettore energia elettrica. In termini percentuali, la realizzazione degli interventi suggeriti porterebbe a una contrazione del 7,52% dei costi per l’approvvigionamento energetico.

Tutte le azioni di ottimizzazione energetica, che siano di sostituzione di apparecchiature o interventi gestionali, possono essere applicate dopo aver verificato che gli interventi proposti non vadano ad alterare la qualità del servizio ospedaliero offerto. Pertanto risulta fondamentale andare a valutare l’impatto che tale azioni, realizzate sui sistemi energetici, hanno sui profili di utilizzo e delle apparecchiature e strutture oggetto di analisi. Scopo del lavoro di tesi di dottorato, illustrato nella seguente seconda fase, è la creazione di una metodologia semplice, attendibile ed efficace per realizzare analisi di efficienza energetica, in strutture complesse come gli ospedali, per andare a fotografare e correggere il comportamento del “sistema edificio-impianto” e per quantificare i potenziali risparmi energetici ed economici ottenibili da tali azioni.

Per le strutture sanitarie, caratterizzate da particolari profili d’uso e articolate gestioni dei flussi energetici [7], risulta di fondamentale importanza poter simulare e valutare, prima di realizzare gli interventi, le variazioni ottenibili sui consumi e sui principali fattori ambientali dell’edificio, per evitare di andare ad alterare, con gli interventi di ottimizzazione energetica, la prioritaria qualità del servizio offerto. Di seguito viene proposta una metodologia di analisi per edifici complessi come le strutture ospedaliere.

II FASE – Modello COM

Capitolo 6: Simulazione in Regime Dinamico delle Prestazioni Energetiche del C.O.M.

6.1 Introduzione

Per realizzare questo lavoro di screening e cura non invasiva è possibile utilizzare appositi applicativi software per la modellazione del “sistema edificio-impianto” [8], essi richiedono un uso attento e accurato per poter generare dati attendibili su cui basare le analisi. Pertanto, risulta di fondamentale importanza validare i risultati ottenuti dal modello virtuale con i valori rilevati dall’edificio reale analizzato.

Per ovviare alla difficoltà del modellare correttamente tramite software un edificio, così complesso, e quindi per ottenere risultati attendibili dalle simulazioni, risulta di fondamentale importanza calibrare tale strumento predittivo utilizzato, andando a modificare i vari parametri di input influenti sul calcolo energetico, per ottenere un allineamento del comportamento dei due edifici, quello reale e quello simulato.

La metodologia di analisi energetica proposta, prende origine dall’individuazione di un edificio “modello”, caso studio, che possa essere energeticamente autonoma e allo stesso tempo rappresentante di tutte le differenti e sensibili realtà presenti in una struttura ospedaliera. Essendo il Centro Oncologico Modenese (C.O.M.) un edificio in “isola” dal punto di vista edificio-impianto, con poche apparecchiature elettriche significative installate e con una vocazione all’assistenza prioritaria del malato, è risultato un ottimo “modello” dove sperimentare e affinare le valutazioni avanzate.

Le procedure di calibrazione proposte in letteratura, presentano serie difficoltà nella reperibilità dei dati richiesti per il confronto, nella necessità di utilizzare ampie disponibilità computazionali e nei metodi iterativi lunghi e complessi, che ne limitano la possibilità di essere facilmente applicabili in strutture complesse da modellare e analizzare.

Questa tesi di dottorato si pone l’obiettivo di trovare un sistema di calibrazione, da applicare a un dettagliato modello di simulazione energetica in regime dinamico, basato sul confronto tra i dati di output della simulazione e i valori reali di consumo, con l’obiettivo di essere facilmente replicabile ed affidabile. La metodologia proposta viene applicata al “sistema C.O.M.” e si sviluppa secondo le seguenti azioni:

1. Dai dati ambientali e di consumi raccolti in real-time (Temperature, Elettricità, Gas), dal sistema di monitoraggio implementato, tramite l’applicativo Nextep [9], si costruisce la firma energetica [10], detta “firma energetica di riferimento”, della struttura oggetto di analisi, semplice e immediato strumento grafico di rappresentazione delle principali caratteristiche energetiche del “sistema edificio-impianto”;
2. A seguito di un preciso audit in campo, si crea un dettagliato modello dell’edificio con il supporto del software EnergyPlus [11]. I consumi ricavati come output dal modello, considerando le reali condizioni ambientali al contorno, vengono utilizzati per costruire la “firma energetica virtuale”;
3. Tramite il confronto della “firma energetica di riferimento” con la “firma energetica virtuale”, si valuta l’errore esistente tra i dati ottenuti dal modello e quelli reali. Nel caso in cui l’errore risulti superiore ai valori indicati dai principali riferimenti accettati in letteratura, si procede alla calibrazione del modello:
 - a. Variando a modello i singoli “parametri forti”, che influenzano maggiormente i consumi di una struttura ospedaliera, viene creata una sorta di “manuale dell’errore”, il quale correla una “firma energetica caratteristica” per ogni variazione di parametro apportata a modello;
 - b. Con l’ausilio del “manuale dell’errore”, viene interpretata e corretta la firma energetica virtuale, individuando e modificando i parametri influenti del modello per ottenere la calibrazione. La calibrazione viene ritenuta raggiunta, quando l’errore tra la firma energetica di riferimento e quella virtuale, risulta in

accordo con standard e linee guida che trattano il tema della calibrazione dei modelli energetici simulati a software (ASHRAE Guidelines 14-2006: Measurement of Energy and Demand Saving [12]; M&V Guidelines: Measurement and Verification of Federal Energy Projects (FEMP) [13], International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) [14]).

4. Realizzata la validazione del modello e quindi la calibrazione delle firme energetiche, è possibile applicare, simulare e valutare gli interventi di ottimizzazione energetica applicabili alla struttura oggetto di analisi.

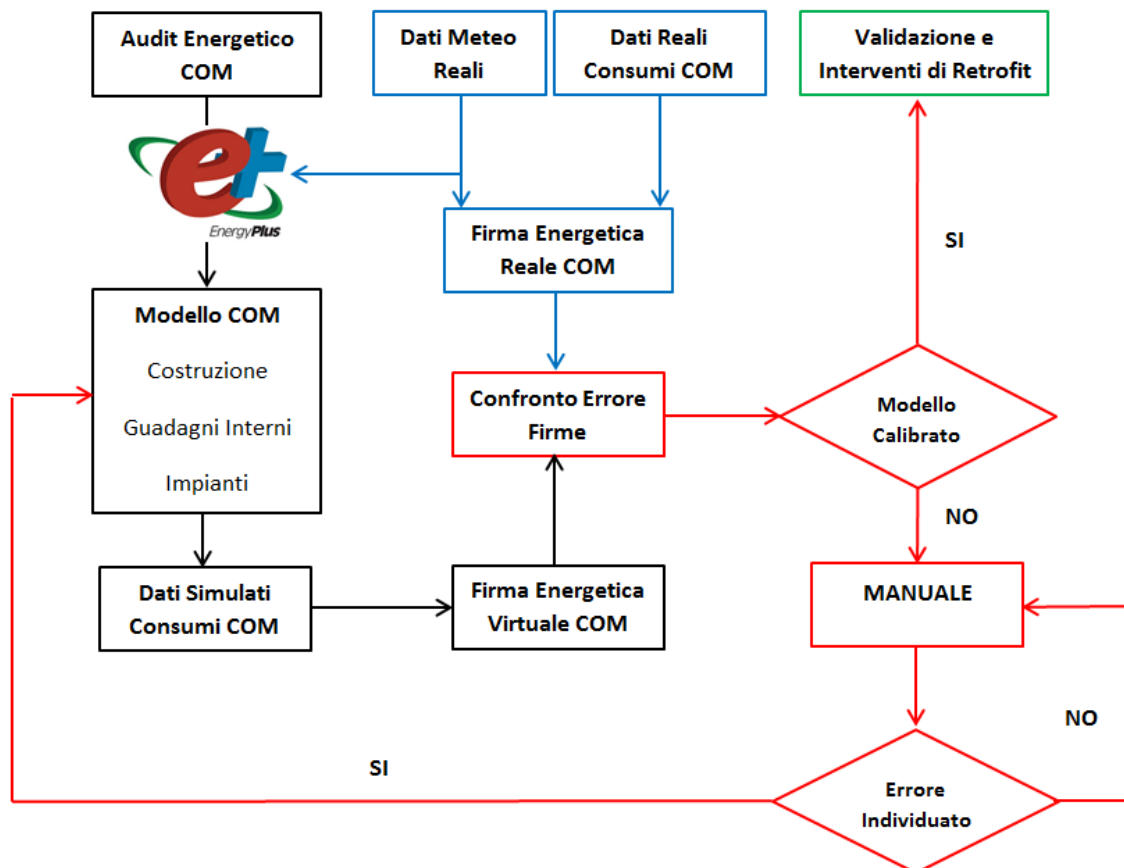


Figura 6.1: Flow Chart metodologia di calibrazione.

Tramite questa semplice metodologia di calibrazione proposta, attraverso l’interpretazione e lo studio delle firme energetiche, è possibile analizzare e valutare le differenti reazioni del “sistema ospedaliero” a fronte delle azioni di ottimizzazione energetica proposte, simulate e

calcolate sul modello a software, individuando così gli interventi di efficientamento che rappresentano la miglior soluzione per l’edificio oggetto di analisi.

La valutazione della prestazione energetica di un sistema edificio-impianto comprende la valutazione del fabbisogno di energia per riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione ed illuminazione [27].

La quantificazione dei fabbisogni energetici deve necessariamente considerare differenti aspetti, che uno studio svolto dal gruppo di lavoro dell’Annex 53 [42], ha individuato come fattori direttamente correlati alla valutazione della “Building Energy Performance” (clima, involucro edilizio, dotazioni impiantistiche) e quelli aggiuntivi e influenzanti gli usi energetici finali degli edifici [43] (gestione e manutenzione, livello di qualità ambientale indoor, comportamento dell’utente). Per valutare i fabbisogni energetici è ormai consolidato e riconosciuto come efficace il ricorso a strumenti di simulazione in regime dinamico [44]. Una corretta simulazione del sistema edificio-impianto non può essere effettuata senza tener conto delle condizioni di comfort termo-igrometrico e visivo [45], quindi senza tener conto dei differenti livelli di qualità dell’ambiente interno.

Per la realizzazione di un modello energetico di un edificio complesso, risulta di fondamentale importanza realizzare un accurato Audit Energetico [46], [47], [48], del sistema edificio-impianto in accordo con le recenti linee guida [29], che illustrano una chiara metodologia di indagine per caratterizzare i reali flussi e i consumi di energia [49], [34]. Per quando concerne l’auditing energetico di una struttura complessa come un ospedale, l’ENEA ha realizzato analisi di consumo per diverse tipologie di edifici ospedalieri [32], ubicati in differenti fasce climatiche, per ottenere indici di benchmark sui fabbisogni. Aspetti legati all’approvvigionamento e alla corretta gestione dell’energia negli ospedali è stata affrontati un uno studio condotto sulle aziende ospedaliere piemontesi [50], mettendo in luce forti criticità nel ricostruire le reti di alimentazione delle strutture, caratterizzare i consumi dei singoli sistemi energetici.

Una diagnosi delle prestazioni energetiche dell’istituto per lo studio e la cura dei tumori day-hospital di Napoli [51], condotta secondo le metodologie proprie dell’analisi energetica in regime dinamico, presenta un interessante metodologia di analisi di una struttura ospedaliera andando a mettere in luce i parametri funzionali che influenzano maggiormente i consumi

energetici, senza però realizzare un calibrazione dei dati di output. Una differente caratterizzazione energetica degli ospedali, viene proposta e illustrata per l'azienda ospedaliera di Cagliari [52], tramite un cruscotto che racchiude ed evidenzia la qualità delle performance energetiche della struttura indagata.

L'applicazione e l'analisi della firma energetica [10] e della performance line per la valutazione del sistema edificio-impianto [53], è stata studiata e approfondita a partire dai primi anni '80, come strumento di supporto all'analisi energetica.

Un interessante lavoro di analisi e ottimizzazione dei consumi, per una realtà industriale americana, tramite lo strumento della firma energetica viene proposto da Kissock [54], che indaga le variazioni dei parametri fondamentali della linea di regressione lineare, dei consumi elettrici, dovute all'implementazione di interventi di efficienza energetica. Lo stesso autore [55], illustra un'analisi dettagliata delle differenze emergenti dal confronto di una firma energetica, di un edificio industriale, costruita con i dati di consumo ricavati dalle fatture e i dati di consumo ricavati da un applicativo di monitoraggio in real-time. Krese [56] usa il metodo della firma energetica per valutare le azioni di retrofit da applicare a un sistema di raffrescamento che apportano maggiori benefici sui consumi elettrici. Le analisi sono eseguite individuando come timescale ideale, per le valutazioni di retrofit, il giorno. Per guidare l'energy management di un'azienda pubblica o privata, in azioni volte all'efficienza energetica, la firma energetica può assumere svariate interpretazioni, fungendo da guida all'individuazione di inefficienze o sprechi [57], [58]. Alcuni studi presentano un tool di strumenti per l'analisi delle performance di edifici commerciali [59], [60], [61], tra queste tecniche di indagine viene presentata la firma energetica [62], come strumento di benchmark tra edifici simili, utilizzando consumi normalizzati.

L'uso della firma energetica come strumento predittivo, per stimare le variazioni apportate da interventi di ottimizzazione energetica [63], è stata impiegata per indagare edifici industriali che avessero la possibilità di monitorare e registrare i valori di consumo di elettricità e temperatura.

Un interessante lavoro [64] presenta un metodo di valutazione delle performance energetiche di un edificio con il supporto della firma energetica, per valutare gli apporti interni e i guadagni solari, così da poterli elidere dalla firma energetica della struttura modellata e indagata, evidenziando di conseguenza i soli consumi legati all'uso e alla gestione.

Per ritenere attendibile il fabbisogno di energia per riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione ed illuminazione ottenuto tramite un software di modellazione in regime dinamico, risulta fondamentale realizzare la calibrazione dei dati ottenuti dalla simulazione del modello.

La calibrazione del modello in regime dinamico, viene solitamente eseguita confrontando i dati di output con i valori di consumo ricavati dalle bollette di energia e gas della struttura oggetto di analisi [65]. Tale confronto viene eseguito su un time-consuming di un mese, periodo eccessivamente lungo per notare anomalie di lettura dei dati o costruzione del modello. Così operando non avrebbe senso realizzare un modello in regime dinamico di un edificio complesso per valutare i potenziali interventi di efficientamento. Pertanto risulta utile trovare una procedura semplice e ripetibile di calibrazione da applicare agli audit energetici (per determinare il risparmio potenziale ottenibile), di edifici che presentano un articolato sistema edificio-impianto.

L'obiettivo di questa tesi è quello di implementare una pratica e affidabile metodologia di calibrazione dell'edificio modello con quello reale, utilizzando lo strumento della firma energetica come mezzo di confronto e valutazione, semplificando la metodologia sviluppata da Wei [66].

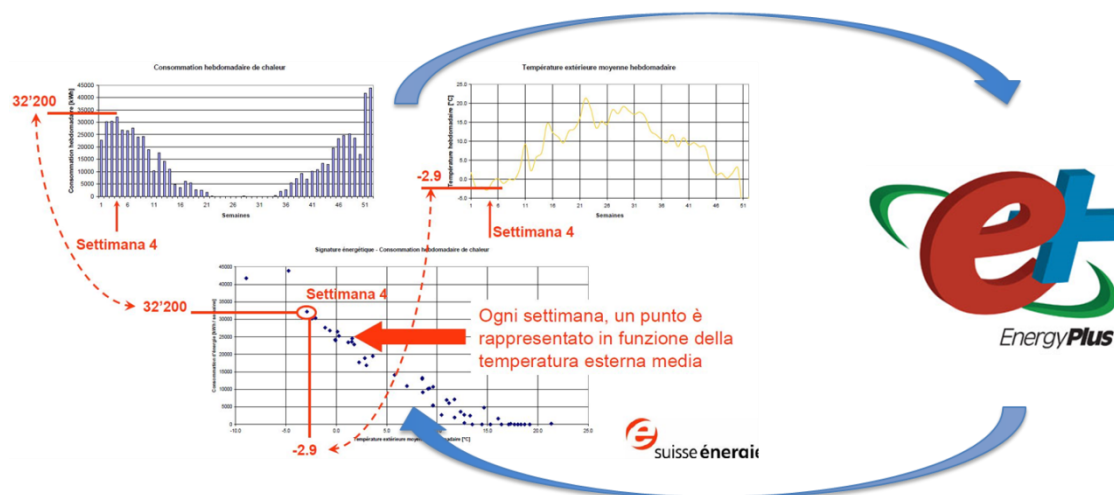


Figura 6.2: Calibrazione del modello energetico con l'ausilio della performance line.

Gli studi condotti a fine anni '90 da Wei, si basano sull'uso della “firma di calibrazione”, strumento grafico che caratterizza l'errore tra le performance simulate e quelle misurate. Gli studi sulla “firma di calibrazione”, sono stati condotti per singoli edifici e singoli impianti

ubicati in vari stati americani [67]. La stessa metodologia di validazione è stata applicata, nel 2006, per l’analisi di edifici commerciali ubicati a Shanghai [68], stabilendo quali fossero i limiti statistici accettabili per definire l’edificio calibrato [69], [14], [12]. Numerosi ricercatori hanno sviluppato e ampliato questa metodologia della “firma di calibrazione”: Chimack [70] usa la calibrazione per un modello realizzato con DOE-2 per determinare il baseload e picchi di potenza del sistema di condizionamento di un edificio monumentale; Pedrini [71] applica la metodologia di simulazione e calibrazione per lo studio di uffici nel clima brasiliano; Norford [72] analizza la discrepanza tra i dati misurati e quelli predetti valutando il peso dei parametri significativi, Norford ha realizzato linee guida che possono essere applicate su varie tipologie di edifici adibita a ufficio.

Yoon [73] ha messo a punto un metodo sistematico per calibrare un modello energetico di un edificio, utilizzando una base date proveniente dalle fatture di energia elettrica di edifici coreani.

Per quanto riguarda la simulazione energetica in regime dinamico di edifici, è bene analizzare tutti i lavori realizzati, a partire dai primi sviluppi, , tra il 1960 e il 1970, di software per realizzare simulazioni orarie [74]. Gli attuali applicativi di simulazione come il DOE-2, EnergyPlus, TRNSYS e BLAST [75], presentano tools dettagliati per la definizione dei particolari tecnici e funzionali dell’edificio da simulare e delle componenti impiantistiche , ma anche la possibilità di compilare schede semplificate per la definizione delle principali caratteristiche dell’edificio oggetto di analisi [76], [77], [78].

La nuova generazione di software di simulazione in regime dinamica degli edifici è rappresentata da EnergyPlus [79] e TRNSYS [80], questi applicativi sono quelli maggiormente utilizzati nel mondo accademico per realizzare analisi in regime dinamico. Questi strumenti vanno validati seguendo una metodologia di modellazione diretta o indiretta [81]. Beattie [82] pone in evidenza il maggior livello di dettaglio che si ottiene nell’indagare energeticamente un edificio con l’ausilio di un software di simulazione in regime dinamica dopo averlo calibrato.

La calibrazione è stata originariamente eseguita confrontando i consumi dell’edificio commerciale simulato con le fatture elettriche e termiche mensili [72], ottenendo errori del 100% o oltre [83]. Spesso questi errori non sono imputabili al software o alla bontà dei dati

inseriti, ma alla precisione dei profili di utilizzo e occupazione delle strutture inputate e alla non conformità dell’edificio costruito rispetto alla documentazione di progetto.

Numerosi studi hanno sviluppato procedure per valutare la bontà dei dati per validare una simulazione in modo che i risultati di consumo corrispondano ai dati misurati in campo [84], [85].

Queste metodologie proposte, presentano una varietà di tecniche sia per misurare o dedurre le caratteristiche dei singoli edifici come sono stati costruiti sia per valutare la tipologia di gestione [86], [87], identificando i cambiamenti da apportare agli input del modello. L’applicazione di queste tecniche [87], [67] hanno permesso di raggiungere significativi risultati di calibrazione, minimizzando la discrepanza tra il dato misurato e quello simulato sia su base mensile che giornaliera [88].

La simulazione di un edificio o impianto complesso, richiede l’inserimento di molti parametri “influenti”, che richiedono un accurato grado di precisione per non falsare i risultati della simulazione [89].

Da questi lavori scientifici risulta che l’input maggiormente influente sulla qualità dei risultati sia il file meteo. Conseguenza logica di tale constatazione è che il modello potrebbe essere calibrato con i file meteo storici, ma scostarsi dalle performance dell’edificio simulato con i dati futuri. Pertanto risulta fondamentale calibrare il modello con i dati settimanali o giornalieri e non mensili, per ottimizzare l’impianto meccanico simulato è indispensabile disporre di dati meteo e di consumo che presentino un time-step almeno settimanale.

Da alcuni studi [67] risulta che l’uso di brevi periodi di dati giornalieri, suddivisi per diversi mesi dell’anno, risultano una valida base per validare un modello su cui simulare possibili interventi di ottimizzazione gestionale. I dati orari possono falsare la calibrazione se l’edificio presenta significativi effetti di sfasamento dovuti alla massa delle pareti e la regolazione dell’impianto HVAC non risponde istantaneamente alle variazioni climatiche. Quando questi aspetti risultano essere problemi di difficile gestione, anche se le differenze orarie tenderanno a mediare nell’arco della giornata, alcuni metodi di calibrazione propongono di utilizzare i valori orari per “sintonizzare” una calibrazione che è stata fatta principalmente con dati giornalieri o settimanali [90]. Questo metodo propone la costruzione di un profilo di carico giornaliero per mappare la reazione del sistema edificio-impianto nell’arco delle 24 ore.

L'ottimale periodo di simulazione dovrebbe "coprire" tutte le variazioni che sollecitano l'oggetto delle analisi nel corso dell'anno. Il periodo può essere concentrato su poche settimane o per un anno intero a seconda delle fluttuazioni climatiche. Alcuni studi indicano in sette mesi annui, anche non consecutivi, il periodo minimo di simulazione [87] per ottenere risultati veritieri. Haberl presenta gli errori che si ottengono considerando dati meteo da normativa, dati meteo misurati in loco e dati meteo stimati, evidenziando come la precisione nel monitoraggio di tali condizioni al contorno, influenzi i risultati più di ogni altro parametro [86], tuttavia, i dati meteo standard presenti nelle librerie dei maggiori software di simulazione dinamica, possono essere utilizzati nei siti dove non sono presenti stazioni meteo, dopo aver apportato opportune correzioni [86], [91].

Le misure considerate per realizzare la taratura del modello, devono corrispondere il più possibile a quelli reali nel periodo di simulazione considerato. Per creare una buona base dati, risulta fondamentale misurare e registrare le variazioni ambientali.

Alcuni studi mettono in luce l'importanza di realizzare un dettagliato sistema di monitoraggio volto alla modellazione di edifici [64], [33], per calibrare il modello e validare i risultati a consuntivo d'interventi di ottimizzazione energetica. L'implementazione di una rete di monitoraggio dei consumi per misurare, valutare e controllare i profili di carico dei consumi elettrici e termici dell'edificio [92], risulta di fondamentale importanza per guidare le analisi e gli interventi di efficienza energetica.

Per quanto riguarda i periodi brevi di simulazione, sotto la settimana, risulta importante analizzare i dati misurati e valutarne la veridicità, individuando eventuali errori avvenuti durante la registrazione dei parametri monitorati. Oltre all'errore nel dato misurato, è frequente anche la presenza di dati mancanti sul periodo monitorato, problema che diventa significativo quando il time-step di simulazione risulta inferiore all'ora.

Un approccio per individuare e "fissare" i dati errati o mancanti, è stata proposta da Chen [93], che ha valutato quattro tecniche di interpolazione per la compilazione in brevi periodi di dati mancanti: regressione singola [94]; modelli polinomiali; modelli di Lagrange e interpolazione lineare. Tali studi mostrano come i polinomi di ottavo e decimo ordine siano gli strumenti più adatti per ovviare a tale problema sui dati meteo e di consumo su base giornaliera. Altri studi [95] hanno dimostrato che le tecniche delle serie matematiche di

Fourier siano le più adatte per interpolare i dati mancanti su archi temporali orari. L'interpolazione lineare vien raccomandata quando i dati misurati non siano abbastanza per modellare un giorno intero.

L'interesse per la calibrazione dei modelli energetici è aumentata nell'ultimo decennio, periodo in cui sono state proposte e analizzate varie tecniche di calibrazione [67], [14] che includono l'applicazione di strumenti come: la diagnosi energetica, per stimare e confrontare i potenziali risparmi ottenibili da azioni di efficientamento energetico; i modelli di ottimizzazione e i programmi di manutenzione; strumenti di telegestione e telecontrollo e l'uso di reti di monitoraggio dei consumi energetici.

Le prime tecniche di calibrazione per le simulazioni energetiche in regime dinamico di edifici complessi, si sono sviluppate agli inizi degli anni '90 [96]. Di seguito vengono illustrate alcune tecniche di calibrazione che sono state sviluppate per confrontare e analizzare le differenze tra i dati simulati e quelli misurati.

Una delle prime procedure sviluppate [97], propone un approccio grafico per valutare gli scostamenti tra i valori orari misurati e quelli simulati per l'intero periodo di simulazione considerato. La procedura grafica tridimensionale, prende come riferimento un sistema cartesiano x, y e z che rappresentano rispettivamente i giorni dell'anno, l'ora del giorno e i dati misurati-simulati. Sull'asse z vengono rappresentati i residui positivi o negativi, il grafico permette di individuare i periodi in cui i valori simulati si scostano da quelli reali, anche per piccoli valori, così da valutare dove e come conviene eseguire la taratura.

La procedura grafica descritta è stata in seguito ottimizzata e migliorata nel 1998 [87], riportando oltre al grafico 3-D, una più dettagliata analisi statistica per valutare e confrontare i dati simulati con i reali. Le variabili statisticamente analizzate sono state quelle di energia totale, temperatura interna operante con timescale orario.

In precedenza, nel 1996 [98], è stata sviluppata e proposta una metodologia di calibrazione oraria, che seleziona quattro o cinque parametri di input fondamentali per il risultato della simulazione e ne varia l'incidenza dal 10% al 200% dei loro valori nominali con incrementi del 10% eseguendo per ogni simulazione un'analisi statistica RMSE.

Dopo aver realizzato varie simulazioni, il parametro che dava il minimo valore RMSE, viene utilizzato come nuovo parametro di input iterando il processo fino a che un valore accettabile

di RMSE viene raggiunto. La procedura è stata testata su due piccoli edifici di un singolo piano per brevi periodi di simulazione.

Al fine di confrontare i dati misurati con quelli simulati, è stata avanzata nel 1999 una tecnica di confronto dei residui [99], tramite un grafico che mostra il confronto tra serie storiche di dati e la differenza tra i valori. Il grafico cartesiano di confronto mostra la nuvola di residui che si scosta rispetto alla linea $x=y$.

Wei [66] ha sviluppato una procedura di calibrazione denominata “firma di calibrazione”, che attraverso delle firme caratteristiche, generate variando alcuni parametri significativi nel modello simulato, guida l’operatore all’individuazione di dei parametri di input del modello da modificare ottenere la calibrazione. Le firme sono grafici, date dall’errore di scostamento tra i consumi simulati e quelli reali, ottenuti dalla modifica di un parametro significativo di input sul consumo di energia in funzione della temperatura ambiente. Dopo aver selezionato e modificato uno alla volta dieci parametri di input rispetto ai loro valori di baseline, viene rappresentato su un grafico cartesiano la percentuale di errore, derivante dall’alterazione del parametro modificato, del consumo dovuto al riscaldamento e al raffrescamento dell’edificio in funzione della temperatura ambiente. Sono stata generati set di firme di calibrazione per settare i parametri di input di varie tipologie di unità di trattamento aria (UTA) a servizio di edifici ubicati in Texas. La metodologia di calibrazione consiste nel realizzare una prima simulazione dell’edificio e successivamente produrre due grafici della differenza normalizzata tra dati simulati e dati reali in funzione delle temperature interne per il riscaldamento e raffrescamento. Questi grafici vengono confrontati con le firme di calibrazione generate dalla variazione dei parametri significativi delle UTA analizzate, individuando grafici con curve analoghe, che suggeriscono su quali dati di input agire per ottenere la calibrazione dei consumi imputabili al riscaldamento e al raffrescamento. Il processo viene iterato fino a calibrazione raggiunta. Una ricerca interessante condotta da Westphal [100] illustra un metodo di individuazione dei parametri “forti” che condizionano maggiormente i risultati della simulazione. Tale procedura di valutazione si basa su un’articolata e complessa analisi di sensitività. Una procedura di calibrazione delle performance di un modello energetico, basata su un audit in campo e l’utilizzo della firma energetica, è stata formalizzata e proposta [101] per l’analisi di edifici commerciali secondo il seguente flow-chart.

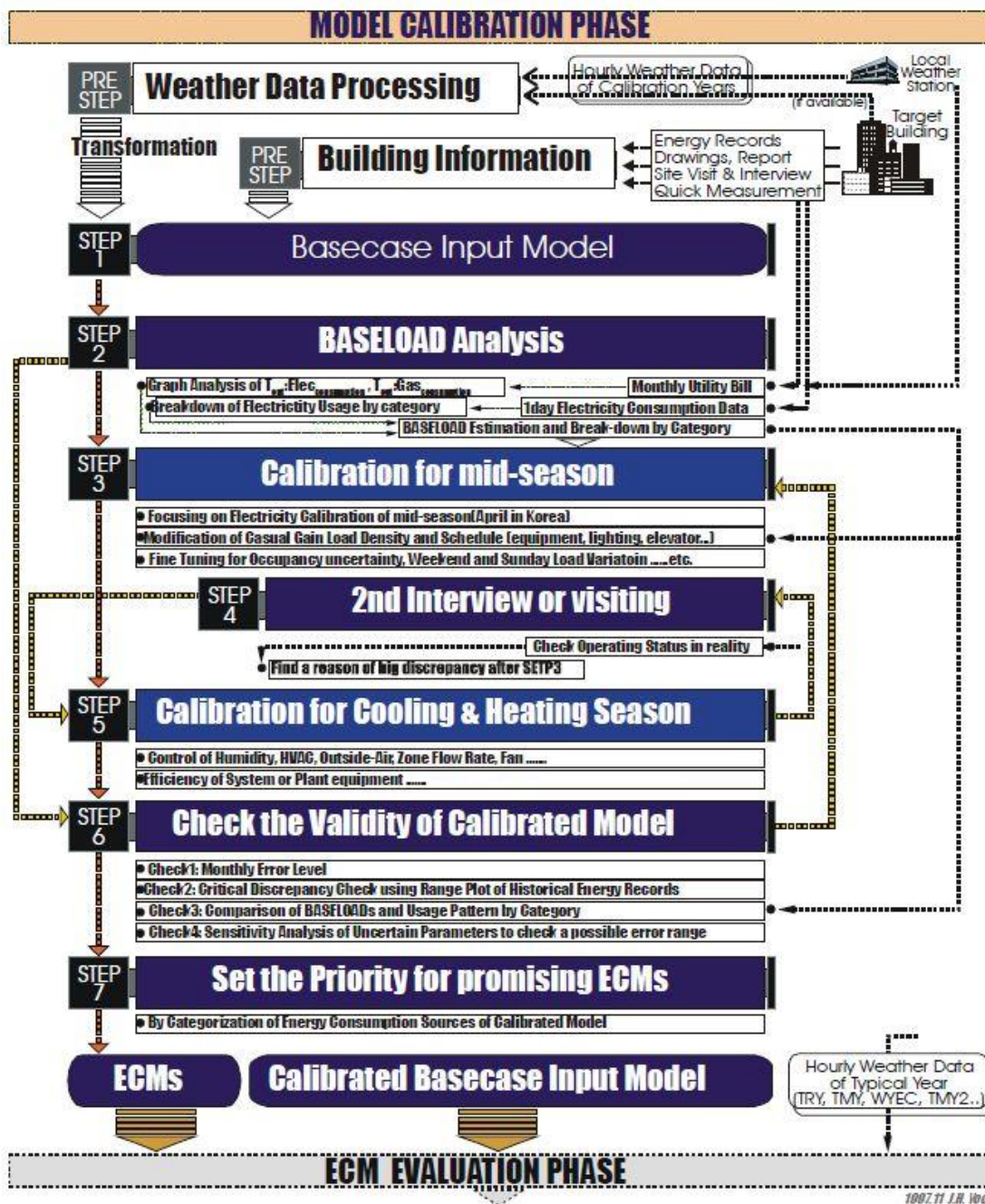


Figura 6.3: Metodologia di Energy Audit.

Un approccio differente per la calibrazione di una simulazione oraria è stato proposto nel 2000 [102], esso consiste nel modificare i flussi di calore considerati nel bilancio energetico piuttosto che agire sui parametri di input. Per realizzare tale procedura è stato brevettato un apposito applicativo software che prevede carichi di riscaldamento e raffrescamento e gli converte in consumo di energia elettrica e gas. Tale applicativo si può applicare a semplici modelli di impianti meccanici.

Interessanti metodologie di calibrazione basate su audit energetici, pongono l’attenzione sull’importanza di realizzare modelli precisi e calibrati non per il solo obiettivo della calibrazione, ma per realizzare audit energetici efficienti e avanzati [103]. Tali metodologie propongono analisi di sensitività dei parametri influenti per guidare il revisore a identificare i punti critici che necessitano di ulteriori indagini e modifiche. Infine, il modello di riferimento calibrato sarà poi utilizzato per valutare i benefici derivanti da interventi di ottimizzazione energetica. Una rappresentazione grafica della metodologia proposta da Bertagnolo, viene mostrata di seguito.

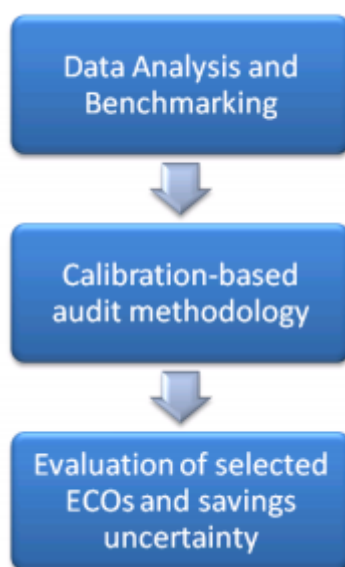


Figura 6.4: Metodologia di Energy Audit.

Altri metodi di analisi, come firme termiche ed elettriche [104], verranno utilizzati per determinare informazioni in merito ai dati di “massima utilità”. La firma di riscaldamento può essere utilizzata per determinare il coefficiente di scambio termico globale dell'edificio, verificandola e controllandola con i dati da progetto [104] as-built. Il benchmarking consiste in una valutazione comparativa delle prestazioni dell'edificio. La metodologia di audit presentata, si propone di utilizzare il modello sviluppato per l'analisi comparativa dei parametri maggiormente influenti sulla simulazione. Questo può essere fatto descrivendo la caratteristica principale dell'edificio e il suo utilizzo considerando un edificio “progetto”, costruito con i dati raccolti durante l’audit, da confrontare con l’edificio “reale” [105].

Le prestazioni del sistema HVAC dell’edificio “progetto”, sono definite in conformità con recenti norme EPBD e gli standard internazionali di riferimento [106].

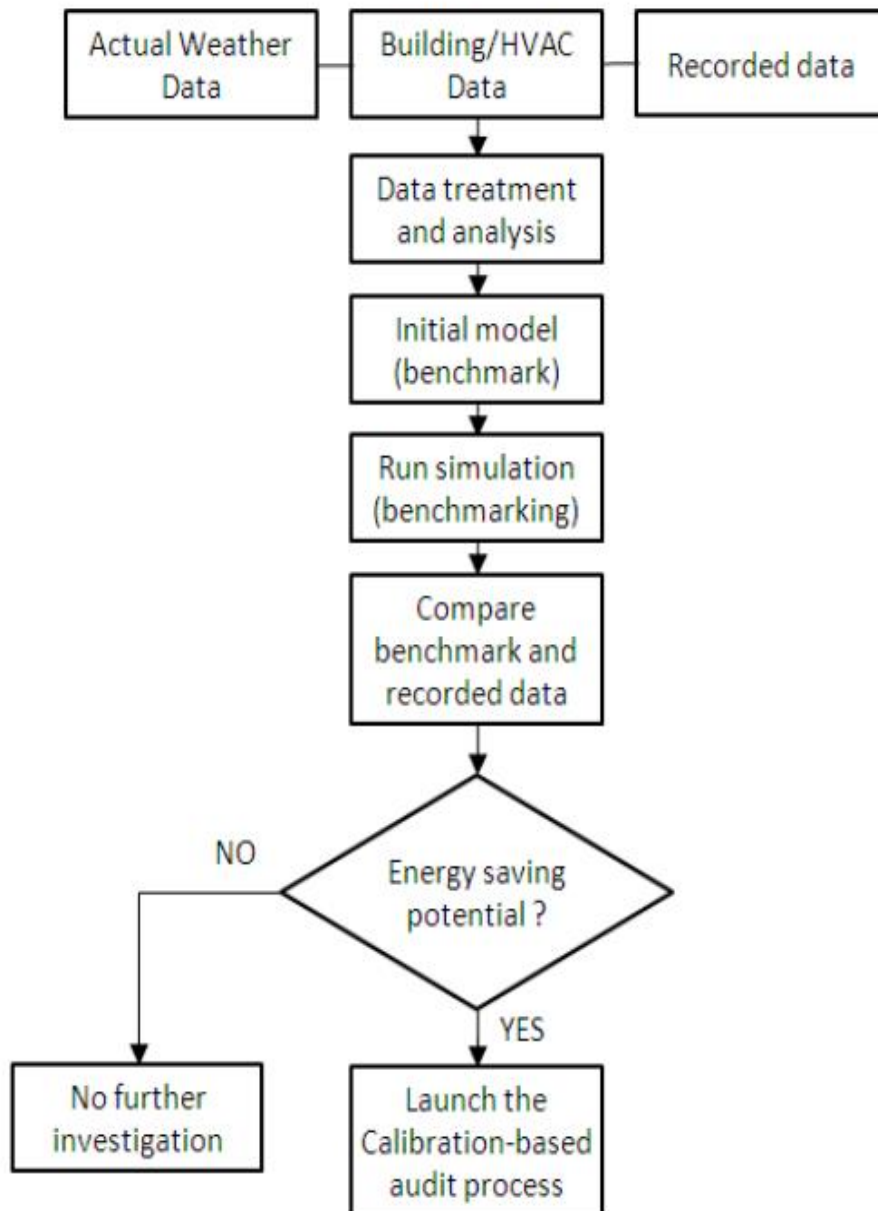


Figura 6.5: Metodologia di Energy Audit preliminare e benchmarking.

Sono presenti altri processi di calibrazione che pongono l’audit energetico come strumento base di confronto per il modello pre calibrazione e post intervento di efficientamento energetico [107].

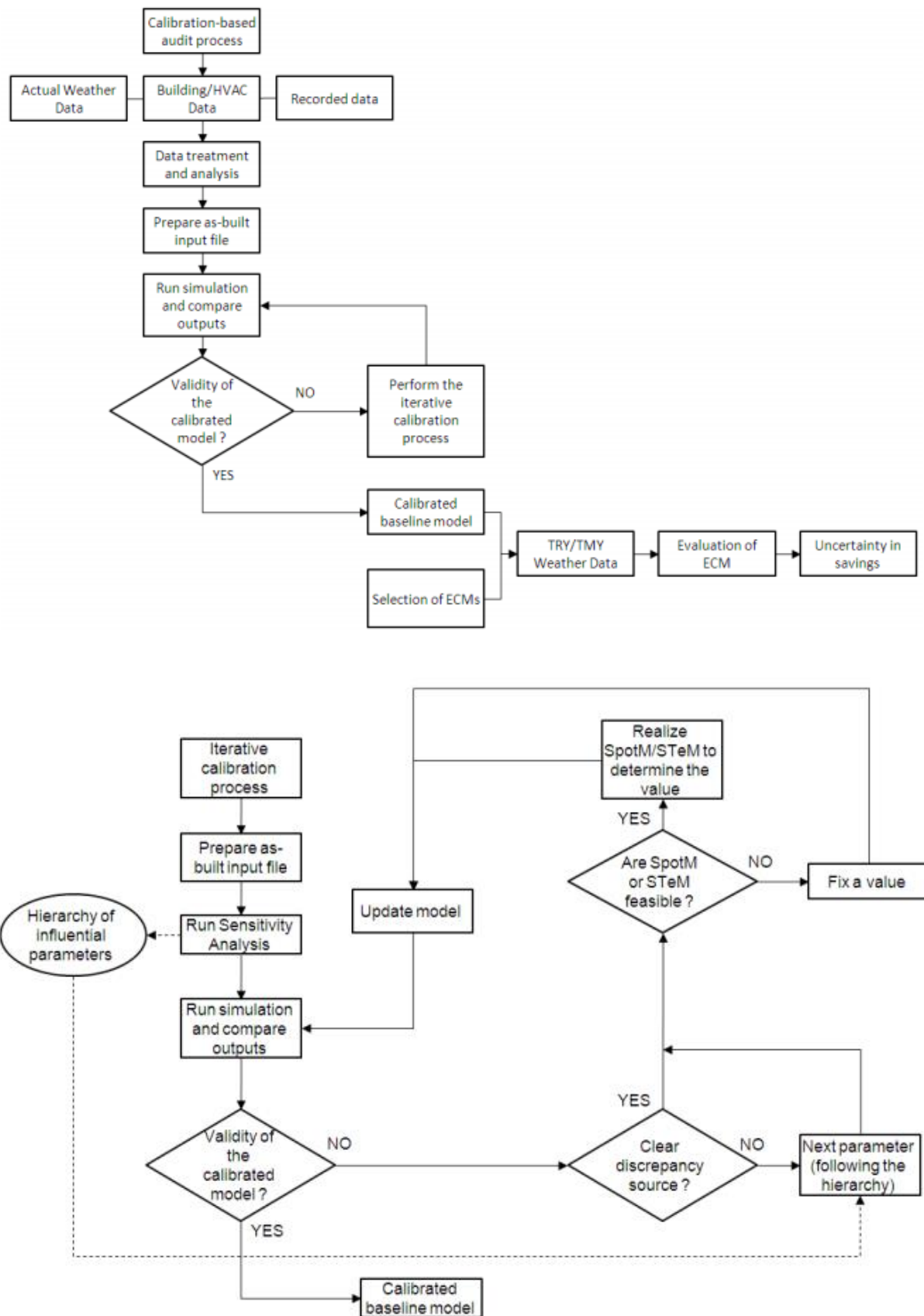


Figura 6.6: Metodologie di Energy Audit approfondito per la calibrazione e la predizione dei risultati di retrofit.

Attualmente sono presenti tre manuali di riferimento che definiscono un differente approccio alla calibrazione delle simulazioni energetiche: ASHRAE Guideline 14-2002 [12], M&V Guidelines FEMP [69] e il Protocollo IPMVP [14].

Questi standard considerano solo i modelli calibrati come mezzi per la stima dei consumi energetici delle strutture, ma si limitano a fornire solo le regole generali e alcune linee guida per realizzare la calibrazione del modello analizzato.

ASHRAE Guideline 14-2002 fornisce indicazioni utili per valutare quando la taratura dei modelli energetici deve essere eseguita:

- Quando i dati dei consumi pre e post azione di retrofit non sono disponibili, o quando i dati di “post opera” non si scostano dai dati “ante opera”;
- E’ impossibile isolare i soli consumi imputabili all’edificio oggetto di analisi;
- Non si hanno dati almeno mensili dei consumi.

Vengono fornite indicazioni anche quando la calibrazione non va eseguita:

- L’edificio non può essere correttamente simulato;
- Il sistema HVAC non può essere simulato;
- Il retrofit non può essere simulato;
- L’edificio potrebbe essere simulato senza l’analisi in regime dinamico.

Kaplan [85] ha dimostrato che se anche il modello sembra calibrato, non sempre è in grado di fornire i reali consumi post azione di retrofit, errore generato da un non accurata validazione del modello originale. L’autore conclude suggerendo un monitoraggio dei consumi post opera per andare a tarare il modello sui nuovi consumi, come indicato nelle linee guida ASHRAE. Nonostante queste osservazioni, nell’ambito di un audit energetico su un edificio esistente, sembra razionale utilizzare un dettagliato modello energetico anche senza avere a disposizione dati post retrofit. Anche se i dati post intervento non sono disponibili, un modello calibrato con i dati storici, risulta ugualmente un ottimo strumento per orientare le analisi di dettaglio e valutare le tendenze dei consumi post intervento.

Come rilevato da Reddy [108], [109], [110], i modelli energetici in regime dinamico degli edifici oltre alle analisi e valutazioni precedentemente illustrate, vengono utilizzati anche per disaggregare il consumo di energia elettrica di un edificio individuando la frazione del vettore

energetico utilizzate all'alimentazione dell'illuminazione, dei ventilatori, delle pompe, dell'umidificazione e delle apparecchiature elettriche.

In particolare, per le attività di auditing energetico, oltre alle peculiarità precedentemente elencate, diversi fattori devono essere presi in considerazione quando si costruisce un modello energetico, tra cui la riproducibilità, la precisione nell'analisi e la facilità di uso [48], [111]. Queste considerazioni portano allo sviluppo di metodologie di indagine dei consumi specifiche per realizzare diagnosi energetiche e costruzioni secondo le linee guida fornite da: ASHRAE Guideline 14-2002, M&V Guidelines FEMP e il Protocollo IPMVP. I tre manuali indicano inoltre le tolleranze accettabili per ritenere calibrato un modello.

*Tabella 6.1: Errori accettati per la calibrazione di modelli energetici.
(Fonte: ASHRAE Guideline 14-2002 [12], M&V Guidelines FEMP [69] e il Protocollo IPMVP [14]).*

Indice	ASHRAE 14 (%)	IPMVP (%)	FEMP (%)
MBE _{mese}	±5	±20	±15
MBE _{anno}	-	-	±10
CV (RMSE _{mese})	±15	±5	±10

La procedura di calibrazione descritta in questa tesi si basa sul metodo della firma energetica. Prendendo come riferimento i lavori sopra esposti e cercando di semplificare, estendere e migliorare la metodologia di calibrazione di modelli energetici in regime dinamico con edifici complessi come i policlinici universitari.

6.2 *Metodologia di analisi*

6.2.1 *Audit energetico*

Al fine di proporre una metodologia di indagine precisa e completa, si è deciso di analizzare nel dettaglio e quindi monitorare i consumi energetici di un singolo edificio all'interno del complesso ospedaliero, al fine di realizzare un modello concettuale specifico, che potrà essere ampliato e esportato, in una fase successiva del progetto, per tutti gli altri edifici che compongono il Policlinico di Modena.

Come più volte sottolineato è stato individuato, come edificio modello, il Centro Oncologico Modenese (COM), caratteristico per la sua proprietà di essere autonomo dal punto di vista strutturale e impiantistico. Inoltre il COM, essendo un edificio di recente costruzione, presenta tutti i documenti progettuali “as built”.

Nel dettaglio si è realizzato dapprima un inquadramento generale della struttura e degli impianti che lo compongono, effettuando un'analisi dettagliata dei documenti nonché diversi sopralluoghi all'interno dell'edificio, per valutare sia la conformità strutturale con i documenti che l'effettiva dislocazione degli impianti all'interno delle centrali.

In seguito è stato condotto un Audit Energetico dei diversi reparti che compongono la struttura, con la collaborazione preziosa del personale che vi lavora all'interno, per comprendere al meglio i reali funzionamenti dell'edificio e stimare i consumi energetici della struttura.

Per quest'ultimo punto si sono effettuati sopralluoghi, “intervistando” il personale sui profili di utilizzo della struttura e dei macchinari e le attrezzature mediche presenti all'interno. A seguire si riportano i dati estratti dai sopralluoghi effettuati e, nel dettaglio, si forniscono informazioni relative a:

- Struttura;
- Impianti termici ed elettrici;
- Profili di utilizzo della struttura;
- Potenze installate e consumi di energia.

6.2.1.1 Inquadramento strutturale

Il Centro Oncologico Modenese (COM) è stato progettato e realizzato a partire dal luglio 1997, per entrare in funzione alla fine del 2001 la struttura presenta accorgimenti tecnici che non sono caratteristici degli altri edifici del Policlinico.

Attualmente trovano collocazione nel nuovo padiglione i reparti di Oncologia, Ematologia, Medicina Oncologica, l’Unità Trapianti di midollo osseo, l’Unità di Pronto soccorso oncologico e affido, l’unità di Hospice ospedaliero e il Day Hospital Dipartimentale; inoltre il nuovo centro dispone di laboratori di ricerca affidati alla Facoltà di Medicina e Chirurgia dell’Università.

Il Centro Oncologico Modenese è edificio a pianta triangolare, composto di 5 piani, tutti fuori terra, e di un volume tecnico, utilizzato per gli impianti (Unità di Trattamento Aria), posto sulla copertura. Il fabbricato è stato ubicato nel settore Nord-Est dell’area ospedaliera, in prossimità della Via Emilia, nella porzione di terreno adiacente all’esistente edificio di Pneumologia.



Figura 6.7: Contenuti funzionali del Centro Oncologico Modenese (Fonte: Google)

Il posizionamento dell’edificio, come nella sua forma, non risulta casuale, ma ampiamente ricercata da chi ha effettuato il progetto [112]; in particolare si prevede l’allineamento dell’ipotenusa del triangolo lungo una strada interna che collega la Via Emilia al vecchio Pronto Soccorso, secondo la giacitura SudOvest - NordEst e il collegamento con Pneumologia in corrispondenza del vertice opposto del triangolo.

La soluzione planivolumetrica del progetto è particolarmente adeguata per:

- esigenze funzionali di compattezza, in termini di organizzazione interna dell’edificio; si ha, infatti, la possibilità di distribuire, da un unico punto di accesso, diversi percorsi di penetrazione all’interno di ciascun piano, rendendo possibile da suddivisione dello stesso in più settori tutti direttamente accessibili;
- scelte insediative che intendono riaffermare alcuni aspetti propri del complesso ospedaliero esistente. Innanzitutto si mantiene la giacitura SudOvest - NordEst, tipica del Monoblocco e di tutti gli altri edifici del complesso (compreso Pneumologia), orientando in questa direzione l’ipotenusa del triangolo.

Per quel che riguarda le soluzioni progettuali dell’involucro, è stata realizzata una differenziazione tra i fronti obliqui rivolti verso Pneumologia e l’ipotenusa che si affaccia sul viale alberato:

- A. I lati obliqui presentano un involucro di facciata formato da tre strati (dall’interno verso l’esterno):
- Mattoni forati, con spessore di 200mm
 - Fibra di vetro, in pannello semirigido, con spessore di 70mm
 - Aria debolmente ventilata, con spessore di 80mm
- rivestito all’esterno da piastrelle di grande formato a colori naturali. In particolare questo rivestimento riquadra i grandi vani finestrati, in cui, i sottofinestra, sono rivestiti in vetro colorato con disegni serigrafati.
- B. Il fronte lungo presenta la stessa struttura dell’involucro dei fronti obliqui, ma variano gli spessori dei materiali utilizzati e il rivestimento esterno:
- Mattoni forati, con spessore di 200mm
 - Fibra di vetro, in pannello semirigido con spessore di 70mm
 - Aria debolmente ventilata, con spessore di 10mm rivestito all’esterno da vetro retinato (7mm), differenziato in termini di trasparenza, riflettanza e colorazione.

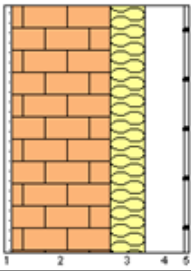
Elementi strutturali	
Tipologia di struttura	Muratura portante
Tamponamenti	Mattoni pieni, con isolante e aria debolmente ventilata sul lato esterno. 
Coibentazioni	Copertura, isolata con fibra di vetro, parete esterna
Superfici trasparenti	Doppio vetro
Serramenti	Alluminio/metallo senza taglio termico
Strutture oscuranti	Veneziane

Figura 6.8: Pacchetti strutturali COM (Fonte: SATP)

Occorre notare che, l'uso della parete ventilata, soprattutto nei due fronti obliqui, più esposti all'irraggiamento solare, contribuisce a migliorare l'isolamento dell'edificio; inoltre le finestrate, particolarmente ampie per favorire l'ingresso della luce naturale all'interno dell'ambiente di degenza e permettere un maggiore comfort del paziente, sono protette da veneziane esterne orientabili.

L'edificio è destinato a contenere attività sanitarie di area oncologica, costituite da reparti di degenza, ambulatori e day hospital, laboratori e attività didattiche di ricerca. Nello specifico, le funzioni sono distribuite ai diversi livelli dell'edificio in questo modo:

- Piano Terra: Sottocentrali tecnologiche, magazzini e spogliatoi del personale, nonché la nuova sezione che ospita la BioBanca Modena, una struttura destinata a raccogliere e conservare campioni di tessuti neoplastici donati direttamente e volontariamente dai pazienti che verranno sottoposti ad intervento chirurgico presso il COM.
- Piano Primo: Day Hospital e ambulatori di oncologia, medicina oncologica ed ematologia, per un totale di 34 posti letto.
- Piano Secondo: Degenze di medicina oncologica, per un totale di 40 posti letto.
- Piano Terzo: Degenze di oncoematologia, con 40 posti letto di cui 7 per pazienti intensivi.
- Piano Quarto: Laboratori gestiti direttamente dalla Facoltà di Medicina e Chirurgia.

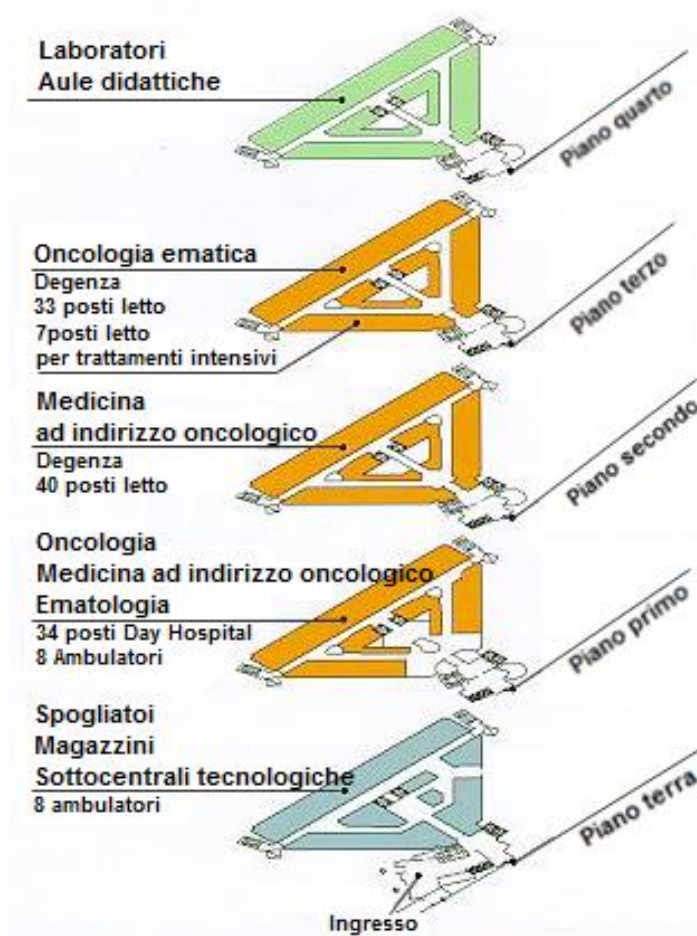


Figura 6.10: Contenuti funzionali del Centro Oncologico Modenese (Fonte: SATP)

Dal punto di vista dimensionale, l'edificio è stato realizzato prevedendo una complanarità dei piani con quelli dell'esistente edificio di Pneumologia: è quindi presente un'altezza dei piani, da pavimento a pavimento, di 3,77m, con un'altezza netta di interpiano di 3,20m per i primi tre piani, mentre il quarto piano, per esigenze impiantistiche dei laboratori, ha un'altezza interna maggiore, pari a 3,95m. Infine, parte dei locali, limitatamente ai corridoi, anticamere e locali di servizio, sono controsoffittati ad un'altezza di 2,70m dal pavimento, per consentire il passaggio delle canalizzazioni impiantistiche.

L'altezza complessiva del fabbricato è di circa 19,90 m a cui si deve aggiungere il volume tecnico ubicato sulla copertura, in posizione arretrata rispetto al filo del cornicione, che porta l'altezza totale a 23,90 m.

Le dimensioni planimetriche dell'edificio sono individuate dall'ipotenusa del triangolo e dalla sua diagonale: il fronte lungo orientato a Nord-Est, comprese le scale esterne, è di circa 74 m, mentre la sua direzione perpendicolare ha una lunghezza di 52 m.

La superficie lorda complessiva è di circa 2'000 m² per piano, per un totale di 10'600 m².



Figura 6.11: Centro Oncologico Modenese (Fonte: internet)

6.2.1.2 Inquadramento impiantistico - sistema termico

Il fabbisogno di acqua calda e refrigerata a servizio dell'intero fabbricato è prodotto dalla centrale termica e frigorifera dell'intero complesso ospedaliero. I fluidi, con rete di distribuzione interrata, vengono convogliati a soffitto del piano terra, in un'apposita sottocentrale termica, in cui si hanno diversi collettori da cui si dipartono i gruppi di spillamento realizzati ognuno con proprie elettropompe atti ad alimentare i circuiti di acqua calda (80°C) e di acqua refrigerata (7°C).

L'edificio si articola di più zone, per ciascuna delle quali è stata prevista una tipologia di impianto in relazione all'utilizzo dei vari ambienti, alla natura e all'entità dei carichi termici, sia positivi che negativi, nonché alle entità e alla variabilità dei carichi latenti dovuti all'affollamento. Sommarariamente, l'edificio può essere suddiviso in diverse zone termiche:

1. Zona di degenza, studi, ambulatori, nei piani primo, secondo e terzo
2. Zona adibita a degenze speciali, nei piani secondo e terzo;
3. Zona adibita ai laboratori, al piano quarto.

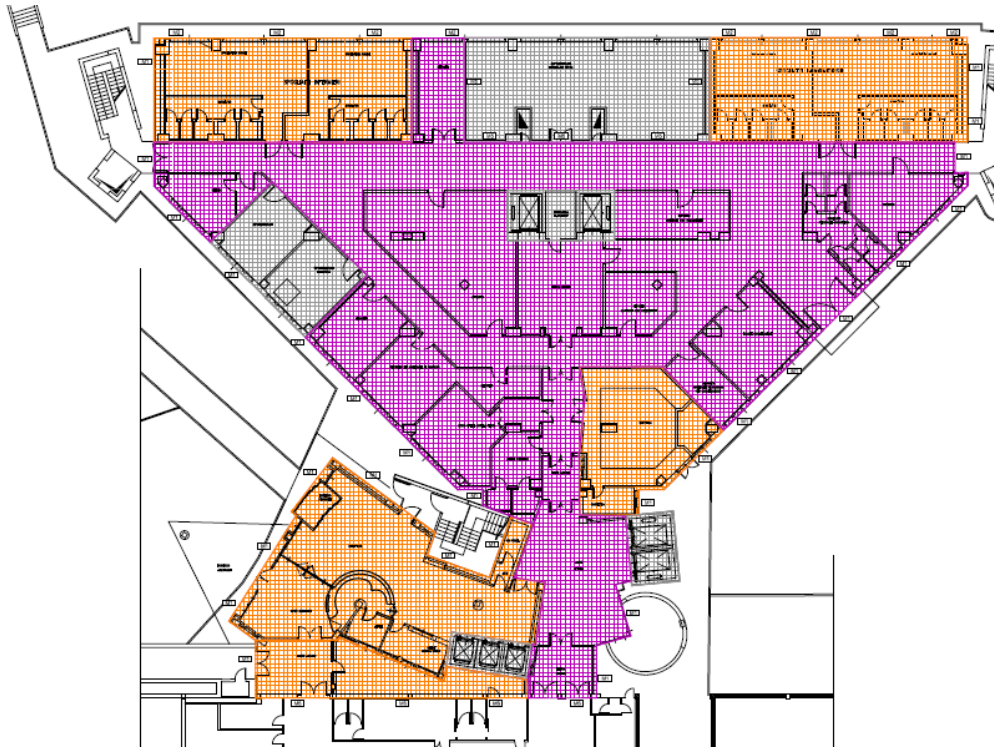


Figura 6.12: Pianta Piano Terra Zone Riscaldate Centro Oncologico Modenese: colore viola – fan-coil e radiatori a colonna e colore arancione - UTA (Fonte: SATP)

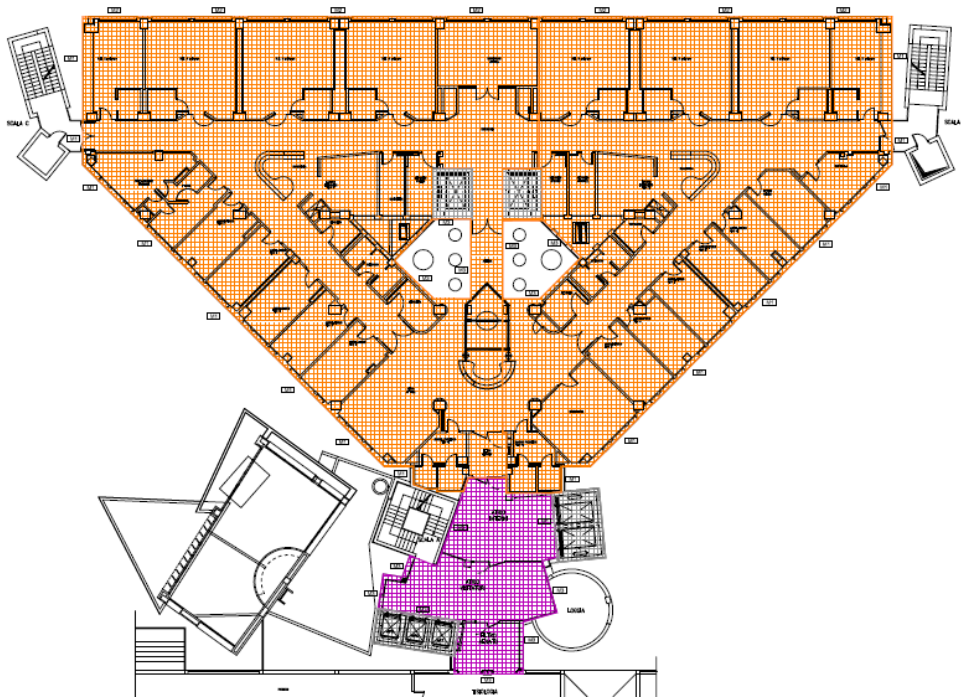


Figura 6.13: Pianta Piano Primo Zone Riscaldate Centro Oncologico Modenese: colore viola – fan-coil e radiatori a colonna e colore arancione - UTA (Fonte: SATP)

1. Zona di degenza, studi, ambulatori, nei piani primo, secondo e terzo

In base alla tipologia di utilizzo della maggior parte degli ambienti interessati, è stato realizzato un impianto in grado di garantire condizioni termo - igrometriche controllate, sia in estate che in inverno.

L'impianto è costituito da ventilconvettori con aria primaria trattata centralmente da due Unità di Trattamento Aria (U.T.A.) a sezioni componibili installate nella centrale tecnologica situata nella copertura dell'edificio; dal momento che non è richiesta la contemporaneità di riscaldamento e raffrescamento, i ventilconvettori sono del tipo a semplice batteria, con alimentazione ad acqua calda o acqua fredda a secondo della situazione che si vuole mantenere. I fan-coil sono installati sia nel controsoffitto dei locali di degenza che nelle pareti, a vista, nei sottofinestra di corridoi e ambulatori.

La circolazione dei fluidi è assicurata mediante coppie di elettropompe, installate nella centrale tecnologica al piano terra; il sistema distributivo è costituito da reti generali che dalla sottocentrale, arrivano ai controsoffitti dei diversi piani, in modo verticale, grazie alla presenza di appositi cavedi; l'adeguamento del fluido scaldante o refrigerante alle situazioni climatiche variabili si attua nei seguenti modi:

- Acqua di riscaldamento ai fancoils, termoregolata mediante valvola a tre vie motorizzata, compensata con sonda esterna e di mandata con temperatura massima di 55 °C;
- Acqua di refrigeramento ai fancoils termoregolata a un punto fisso di 11°C.

Il sistema di regolazione, di tipo elettrico, è costituito da unità operanti su uno o più ventilconvettori, mediante l'installazione di termostati ambiente posti a parete o a bordo macchina; ovviamente, la commutazione estate – inverno è di tipo centralizzato.

Il sistema distributivo dell'acqua calda o refrigerata ai fancoils consiste in reti generali che dalla sottocentrale raggiungono i controsoffitti, salendo in percorsi verticali previsti negli appositi cavedi.

2. Zona adibita a degenze speciali, nei piani secondo e terzo

Il trattamento dei locali adibiti a degenze speciali al piano secondo e terzo prevede la realizzazione di un impianto di condizionamento a tutt'aria esterna con cassette monocondotto a portata variabile e batterie di post – riscaldamento.

L'aria è trattata centralmente da un'Unità di Trattamento Aria collocata nella centrale tecnologica in copertura.

L'aria, una volta trattata, viene distribuita nei diversi ambienti con cassette terminali installate nel controsoffitto del piano, mediante apposite canalizzazioni; il funzionamento potrà essere, a seconda dei reparti, a portata variabile con diminuzione della massa d'aria immessa al diminuire dei carichi dovuti alle potenze dissipate, fino al valore minimo prefissato, mentre per altri reparti potrà essere a portata costante.

I locali al secondo piano sono realizzati con filtri assoluti in grado di garantire una efficienza di filtrazione pari al 99.99%

Infine, l'impianto è in grado, tramite collegamento con il centro di controllo, di garantire ambienti in pressione positiva nel caso in cui si abbiano degenti immunodepressi o ambienti in depressione quando gli occupanti sono di tipo infettivo.

3. Zona adibita ai laboratori, al piano quarto;

Il trattamento del piano quarto adibito a laboratori prevede la realizzazione di un impianto di condizionamento a tutt'aria esterna con cassette monocondotto a portata variabile e batterie di post – riscaldamento; l'aria è trattata centralmente mediante due Unità di Trattamento Aria situate in copertura.

In questo piano si è tenuto conto, nella configurazione del sistema di condizionamento, della presenza delle cappe aspiranti in ciascun laboratorio.

6.2.1.3 Inquadramento impiantistico – Telegestione

Il Policlinico di Modena possiede il sistema Excel Building della Honeywell per telegestire gli impianti di alimentazione dei alcune strutture. Tutti gli impianti meccanici del COM sono gestiti da un sistema di monitoraggio e controllo posto al SATP. Tramite tale applicativo è possibile regolare i set-point di riscaldamento e condizionamento di ogni ambiente e controllare i principali parametri delle UTA a servizio della struttura.

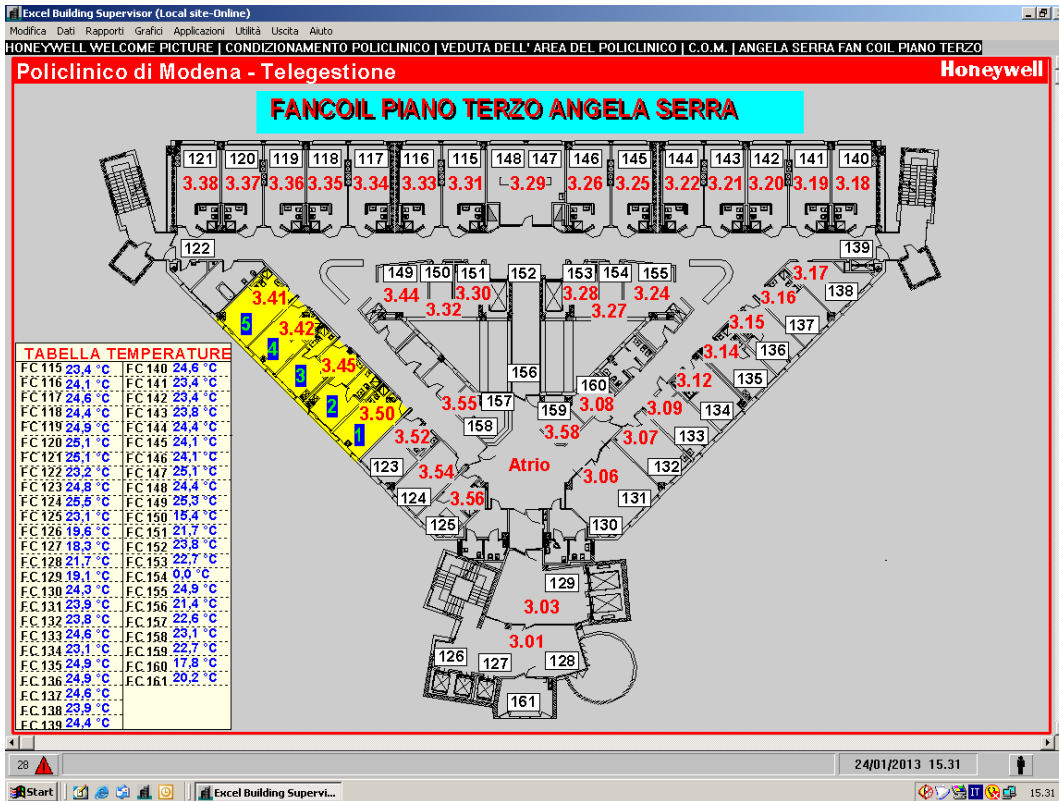


Figura 6.14: Gestione delle temperature ambiente tramite Excel Honeywell (Fonte: SATP)

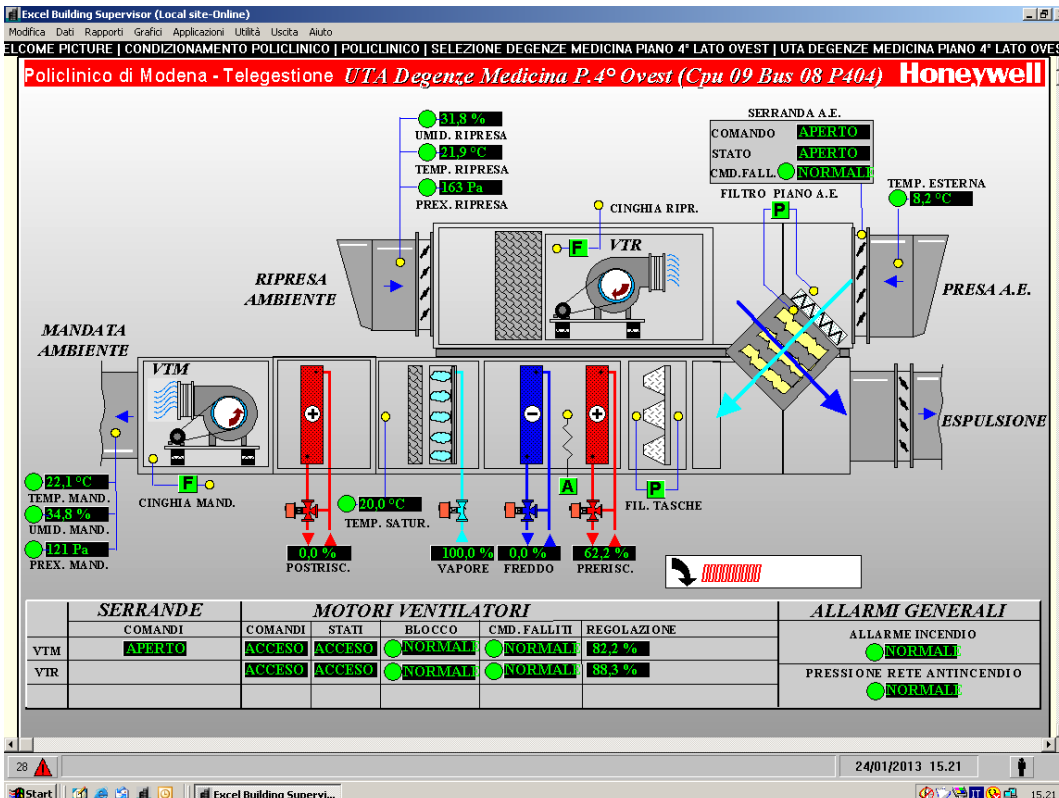


Figura 6.15: Gestione dei parametri delle UTA tramite Excel Honeywell (Fonte: SATP)

6.2.1.4 Inquadramento impiantistico - sistema elettrico

Tutta l'impiantistica elettrica prende origine dalla cabina APR di trasformazione alimentata dalla rete di media tensione da 15kV predisposta all'interno dell'area ospedaliera, nelle immediate vicinanze dell'edificio stesso.

L'uscita in bassa tensione dal trasformatore si attesta su un quadro generale di protezione di tipo Power Center (EQ-01), situato al piano terra dell'edificio, il quale alimenta le varie linee montanti di distribuzione ai piani e ai sotto quadri di zona che, come per tutte le altre aree del Policlinico, avvengono nei cavedi dedicati con sistemi di blindosbarre.

Al Power Center arrivano anche le linee in bassa tensione di alimentazione di emergenza derivate dal quadro generale di distribuzione dell'energia di emergenza fornita dall'apposito gruppo elettrogeno a servizio della cabina APR; in tal modo viene garantita l'alimentazione di emergenza di tutto l'edificio attraverso un sistema di commutazione automatica rete - gruppo (UPS, Uninterbbuptable Power Supply) per l'alimentazione di tutte le reti di emergenza nelle zone di normale operatività e in genere di tutte le utenze necessarie a garantire il costante funzionamento del reparto (con esclusione dei servizi non indispensabili). L'alimentazione di emergenza è garantita dall'entrata in funzione automatica del gruppo elettrogeno entro un massimo di 15 secondi dal momento di mancanza di tensione.

La linea di bassa tensione che alimenta il Power Center all'interno della sottocentrale elettrica del COM, alimenta un piano di commutazione (EQ-20), situato sempre nella stessa sottocentrale, da cui si dipartono i due sistemi di blindosbarre che alimentano tutto l'edificio. Questo quadro di commutazione, a sua volta, alimenta due quadri di piano (QT1 e QT2), situati in zone contrapposte del piano stesso, in modo tale da suddividersi le utenze.

All'interno del piano terra, così come per tutti gli altri piani, si ripete quindi la stessa struttura funzionale dei quadri elettrici: si ha un quadro di commutazione di piano che alimenta due sottoquadri di zona, disposti in punti diametralmente opposti del piano.

Nell'immagine sottostante si riporta uno schema qualitativo di tale disposizione:

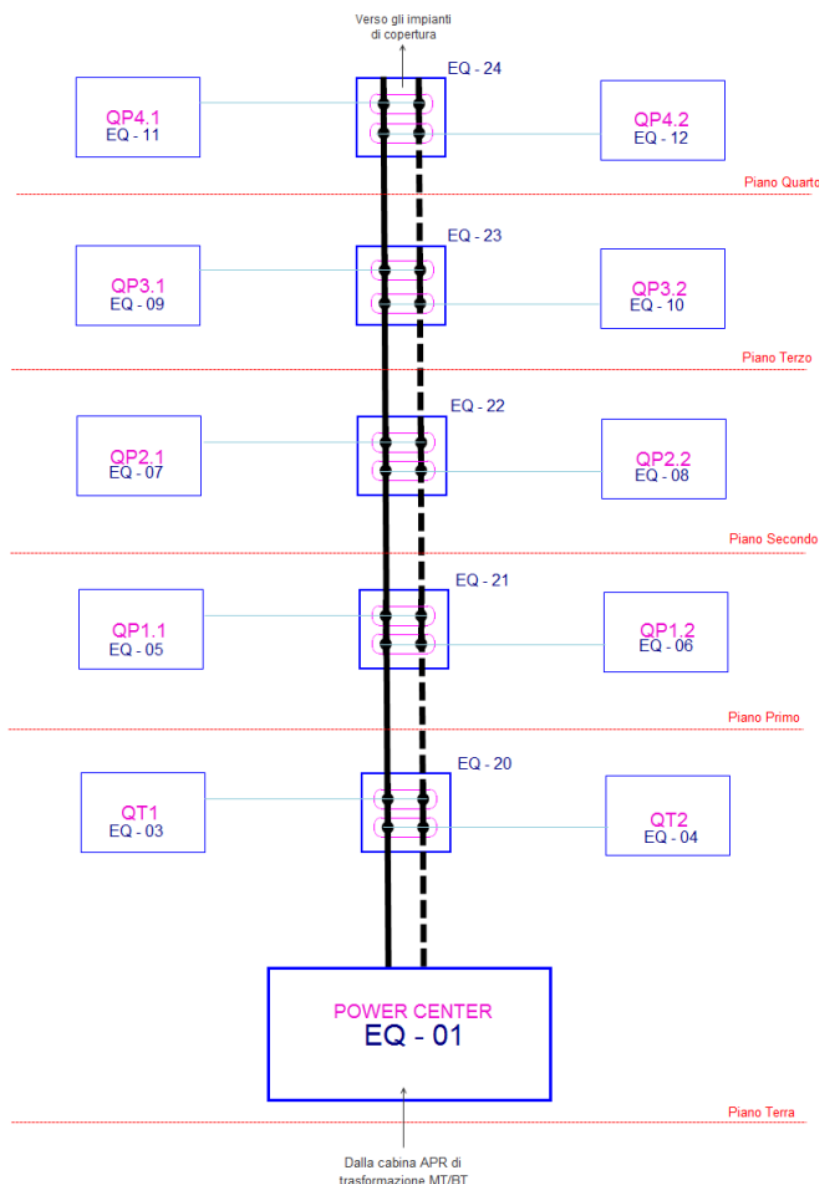


Figura 6.16: Distribuzione dei quadri elettrici all'interno del COM (Fonte: elaborazione piante SATP)

Considerando che la prima analisi di monitoraggio riguarda il sistema elettrico, si è pensato di individuare quali potenze elettriche insistono su ogni quadro di zona; per fare ciò è stato necessario utilizzare diversi strumenti che permettessero di capire, con la massima precisione, quali macchinari elettromedicali e, in generale, quali apparecchiature ad assorbimento elettrico, insistono in ciascun reparto del Centro Oncologico Modenese.

In particolare si è fatto riferimento a:

- Sopralluoghi nei diversi reparti, in cui si sono intervistati i soggetti responsabili al fine di comprendere sia le abitudini di reparto, che i profili di funzionamento e di utilizzo dei principali macchinari presenti all'interno.

- Analisi del database di tutti i macchinari elettrici presenti all'interno della struttura ospedaliera, utilizzato a fini manutentivi, dal reparto di Ingegneria Clinica del Policlinico. La presenza degli strumenti così individuati è poi stata verificata durante i sopralluoghi sopra citati.
- Schemi di quadro, contenuti all'interno dell'archivio del SATP, in cui sono riportati, in modo dettagliato, tutte le utenze che insistono su un singolo quadro elettrico.

Grazie a questi strumenti, è stato possibile comprendere che il Centro Oncologico Modenese non è caratterizzato da grandi assorbimenti elettrici, proprio per la conformazione dei suoi reparti e in particolare le attrezzature elettromedicali presenti all'interno sono tutte costituite da bassissimi assorbimenti di potenza e soprattutto da funzionamenti non continuativi nel tempo.

Di seguito si riporta una breve descrizione dei cinque piani del Centro Oncologico, in termini di profili di utilizzo e di potenze installate all'interno, senza addentrarsi nel dettaglio dell'analisi, che invece sarà proposta nel capitolo successivo.

6.2.1.5 Profili di utilizzo

Di seguito si riportano le principali informazioni ottenute, suddividendole per piano:

- **Piano Terra**

Il piano ospita diversi locali tecnici, gli spogliatoi del personale, nonché, nei prossimi mesi, alcuni locali adibiti alla BioBanca Modena.

Più nel dettaglio, in questo piano sono presenti:

- Sottocentrale termica e di raffrescamento
- Sottocentrale termica e idrica
- Sottocentrale elettrica
- Diversi locali adibiti a deposito di materiale
- Due ampi locali adibiti a spogliatoio infermieri
- BioBanca Modena, costituita da diversi locali, non ancora in uso, che conterranno congelatori con temperature di -80°C e adibiti alla criogenizzazione, attualmente situati al quarto piano.

Alla luce di queste informazioni, risulta chiaro che il piano ha un funzionamento esclusivamente diurno e non prevede la presenza continuata nel tempo di personale.

Tuttavia si possono individuare diversi impianti meccanici che hanno un funzionamento di tipo elettrico anche all'interno di questo piano; in particolar modo all'interno della sottocentrale termica si sono individuate 9 pompe per il circuito dei fluidi nell'intera palazzina.

Particolare importanza in questo piano rivestono le luci, poiché, sulla base delle interviste fatte ai responsabili della palazzina, è emerso che non ci sono sensori di presenza e molto spesso, la notte, esse vengono lasciate inavvertitamente accese, causando un notevole spreco.

▪ Piano Primo

Il piano è adibito, come più volte detto, a Day Hospital e ambulatori di oncologia, medicina oncologica ed ematologia; per questo motivo, il suo funzionamento è solo di tipo diurno, in particolare dal lunedì al venerdì dalle 7:00 alle 19:00 e il sabato, dalle 7:00 alle 13:00.

In seguito ai sopralluoghi effettuati nel piano e all'intervista realizzata al responsabile di piano, si è avuto modo di capire che, in questo reparto, così come in tutta la palazzina, non si hanno macchinari di notevole importanza elettrica, poiché le diagnosi mediche vengono realizzate negli appositi reparti del Policlinico; si è appreso che solo molto raramente si utilizzano radiografi portatili o altri strumenti diagnostici analoghi. Volendo comunque realizzare un elenco delle potenze elettriche presenti nei diversi locali, si sono individuate le seguenti apparecchiature:

- Circa 20 computers, accesi in modo continuo, ma in stand by nelle ore notturne, situati negli ambulatori medici, nelle guardiole infermieri...
- Circa 10 pompe ad infusione
- 8 frigoriferi di tipo “domestico”
- 2 cappe di aspirazione, funzionanti dalle 7:00 alle 16:00, dal lunedì al venerdì.

Anche in questo piano, quindi, non si rilevano importanti assorbimenti elettrici, mentre rivestono notevole importanza le luci di illuminazione. Infatti, si è appreso che non si hanno sensori di presenza nei corridoi e può capitare che la notte o la domenica, alcune luci dei corridoi vengano lasciate inavvertitamente accese.

▪ Piani secondo e terzo

Questi piani, entrambi adibiti a degenze, sono risultati analoghi sia come struttura che come funzionamento, quindi sono stati trattati accorpati.

Trattandosi di reparti di degenza non sono presenti all'interno macchinari elettromedicali particolarmente importanti in termini di assorbimento elettrico; inoltre trattandosi di locali di degenza, funzionanti in modo continuo per 365 giorni all'anno, sia di giorno che di notte, in base alle normative in termini di illuminazione nei locali sanitari è necessario che le luci, nei corridoi e in altri locali di servizio rimangano accese, seppure in modo ridotto.

- **Piano quarto**

Questo piano ospita i laboratori universitari di analisi e alcune aule, nonché qualche locale adibito a spogliatoio o deposito.

Questo “reparto” ha un funzionamento prettamente diurno, in orario variabile, ma generalmente compreso tra le 8:00 e le 18:00, dal lunedì al venerdì.

Gli unici macchinari ad importante assorbimento elettrico (escludendo quindi tutte le apparecchiature da laboratorio con assorbimenti ridotti ed utilizzi saltuari) che si sono individuati sono:

- Cappe aspiranti per ogni laboratorio, in numero variabile a seconda delle dimensioni del locale; in particolare si sono contate 29 cappe aspiranti, suddivise tra cappe chimiche (a funzionamento continuo durante il giorno perché sono utilizzate per il contenimento di reagenti) e cappe a flusso laminare (a funzionamento discontinuo, al solo bisogno).
- 21 frigoriferi biologici e congelatori da laboratorio.

Anche in questo caso, come per il piano terra e il primo piano, rivestono importanza notevole le luci, poiché, in assenza di sensori di presenza, è possibile che parte di esse rimangano accese durante i periodi di non utilizzo dei locali.

6.2.1.6 Potenze Installate

Partendo dalle caratteristiche dalle singole apparecchiature e, passando attraverso specifici rendimenti e profili di utilizzo diversificati per ciascuna tipologia, si è arrivati a stimare il totale di kWh elettrici che le stesse utilizzano. Nello specifico, le apparecchiature considerate,

non sono tutte quelle installate, ma bensì quelle che durante i sopralluoghi, risultavano effettivamente utilizzate. La metodologia (bottom-up) utilizzata per la caratterizzazione dei consumi della totalità delle apparecchiature utilizzatrici di energia elettrica è così riassunta nelle seguenti fasi precedentemente illustrate:

- Fase 1 - Censimento delle apparecchiature;
- Fase 2 - Profili d’uso.

Unendo i dati rilevati durante i sopralluoghi e facendo alcune ovvie semplificazioni dovute alla mancanza di dati specifici, è stato possibile individuare le componenti riportate in tabella, suddivise, rispetto al totale installato, come nel grafico sottostante :

Tabella 6.2: Potenze installate COM.

POTENZE INSTALLATE AL C.O.M. [kW]	
SORGENTI LUMINOSE	80,43
POMPE CENTRALE TERMICA	57,70
FRIGORIFERI (-80°C)	20,00
U.T.A.	82,70
ESTRATORI CAPPE	10,73
ASCENSORI	112,00
CAPPE ASPIRANTI (Flusso Laminare)	10,54
CAPPE CHIMICHE	8,64
TOTALE	382,74

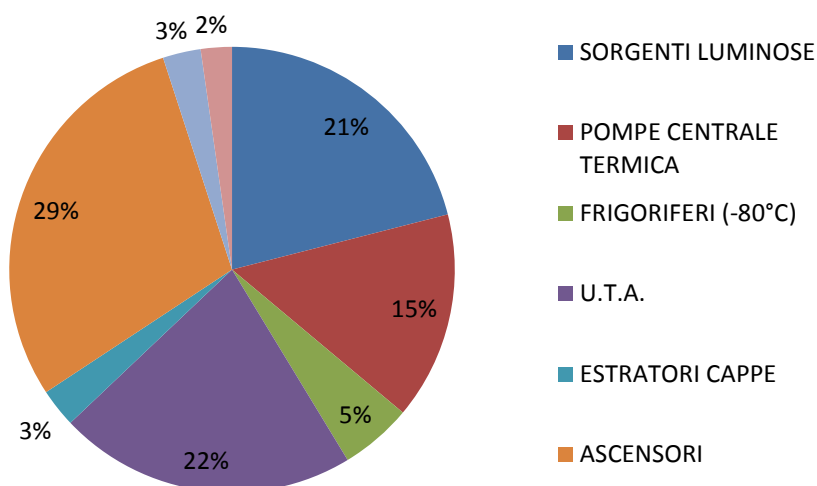


Figura 6.17: Potenze installate al COM (Fonte: elaborazione dati SATP)

6.2.1.7 *Stima Energia Assorbita*

Per stimare l'energia assorbita, partendo dalle potenze installate, si sono ipotizzati i seguenti andamenti orari (profili d'utilizzo):

- Sorgenti luminose: si tratta sicuramente delle sorgenti più interessanti ai fini del presente lavoro, poiché, alla luce delle interviste effettuate, sono quelle che potrebbero presentare i maggiori risparmi energetici. Al fine di individuare un funzionamento orario complessivo delle luci, si è deciso di considerare, in favore di sicurezza, un profilo costante e massimo per le ore diurne e, per le ore notturne un andamento costante pari al 40% del totale.
- Pompe in centrale termica e U.T.A. in copertura: analogamente ai frigoriferi, le pompe funzionano nel momento in cui si ha richiesta di fluidi, caldi o freddi nei locali. Non riuscendo a stimare un funzionamento preciso si è deciso di considerare, anche in questo caso, che esse funzionino in modo continuo e costante per tutto l'arco della giornata, comprese le ore notturne, con una potenza pari a un terzo del totale installato.
- Frigoriferi: hanno sicuramente un funzionamento continuo nel tempo, sia di giorno che di notte, ma i motori tendono ad interrompere la loro azione nel momento in cui si raggiunge la temperatura richiesta e questa si mantiene nel tempo. Ipotizzare un loro funzionamento, in queste condizioni, risulta piuttosto complesso; tuttavia, al fine di operare in regime di sicurezza, si è ipotizzato un loro funzionamento costante per tutto l'arco della giornata, pari a un terzo del totale installato.
- Ascensori: in termini di potenza sono caratterizzati da assorbimenti importanti, ma in termini di energia (quindi di funzionamento orario) risultano irrilevanti, poiché sono caratterizzati da spunti notevoli in partenza, ma il loro funzionamento è saltuario e intermittente, soprattutto nelle ore notturne. Si ipotizza quindi che funzionino, indicativamente, per tre ore complessive nell'arco della giornata.
- Cappe chimiche e a flusso laminare presenti nei laboratori: in termini di potenza, questi dispositivi hanno assorbimenti relativamente bassi rispetto al totale; in più, il loro funzionamento orario ipotizzato prevede che durante le ore notturne siano spente.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella e nel grafico seguente:

Tabella 6.3: Potenze utilizzate e stima assorbimento COM.

FUNZIONAMENTO ORARIO IPOTIZZATO	kW	kWh
SORGENTI LUMINOSE	56,30	1.351,29
POMPE CENTRALE TERMICA	19,23	461,60
FRIGORIFERI (-80)	6,67	160,00
U.T.A.	27,57	661,60
ESTRATORI CAPPE	3,58	85,84
ASCENSORI	14,00	336,00
CAPPE ASPIRANTI (Flusso Laminare)	3,51	84,32
CAPPE CHIMICHE	2,88	69,12
TOTALE	133,74	3.209,77

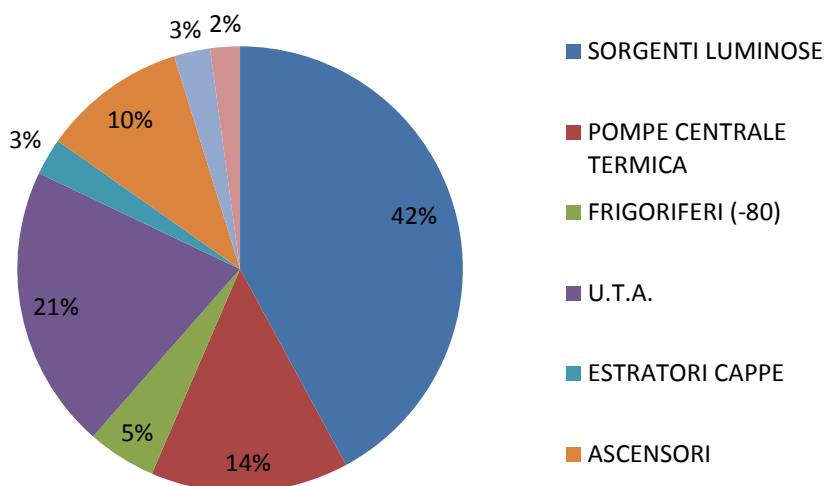


Figura 6.18: Potenze utilizzate al COM (Fonte: elaborazione dati SATP)

Al fine di riuscire a stimare con più precisione l’andamento reale dei consumi elettrici all’interno del Centro Oncologico Modenese, sia in termini generali che, successivamente in termini di sola illuminazione, che come si è detto è quella che riveste il ruolo più importante in questo tipo di edificio, si è deciso iniziare l’analisi dei grafici ottenuti grazie al software Nextep precedentemente illustrato.

All’interno di questo edificio sono presenti 4 strumenti collegati alla rete interna del Policlinico e quindi dotati della possibilità di trasferire i dati di energia dallo SCADA al software Nextep; nello specifico i quadri monitorati sono:

1. Quadro elettrico Power Center (EQ-01), situato nella sottocentrale elettrica al piano terra; questo strumento, noto in Nextep con il codice strumento *CENTCOM*, misura l’energia attiva, reattiva induttiva, reattiva capacitiva e apparente di tutto l’edificio, servendo entrambi i sistemi di blindosbarre, che, a loro volta, servono l’intero stabile.
2. Nella tabella sottostante si riporta brevemente quanto collegato a questo quadro elettrico:

Tabella 6.4: Utenze alimentate dal quadro elettrico Power Center, del COM
(Fonte: SATP)

Nome Quadro	Codice Strumento	Utenze Misurate
EQ-01 Power Center	CENTCOM	Sistema Blindosbarre n°1
		Sistema Blindosbarre n°2
		Alimentazione Quadro Tecnologico
		Alimentazione Ascensori
		Alimentazione Quadro UPS
		Alimentazione Emergenza QE Piano 4
		Luci Esterne

3. Quadro elettrico di commutazione del piano terra (EQ-20), noto in Nextep con il codice strumento *COMQSCPT*, che serve i due quadri di zona di questo piano; quindi, di fatto, questo quadro tiene monitorati i consumi elettrici dell’intero piano terra ed è a sua volta una piccola porzione dei consumi globali registrati dal Power Center *CENTCOM*.
4. Quadro elettrico della BioBanca Modena, sia in termini di tensione normale che di emergenza (UPS), noti in Nextep con i codici strumento, rispettivamente *COMBIONOR* e *COMBIOUPS*. Questi sottoquadri, che di fatto servono solamente i locali situati al piano terra adibiti alla BioBanca, risultano attualmente inutilizzati, quindi caratterizzati da consumi irrisori, poiché ad essi non sono ancora state collegate le apparecchiature necessarie al funzionamento di questo importante centro di ricerca.

Di seguito si riportano le schermate tratte dal software Nextep relative ai due strumenti principali sopra citati; in particolare si mostra l’andamento della potenza attiva (kW) con time step di un’ora considerando una settimana tipica del mese di settembre 2012.

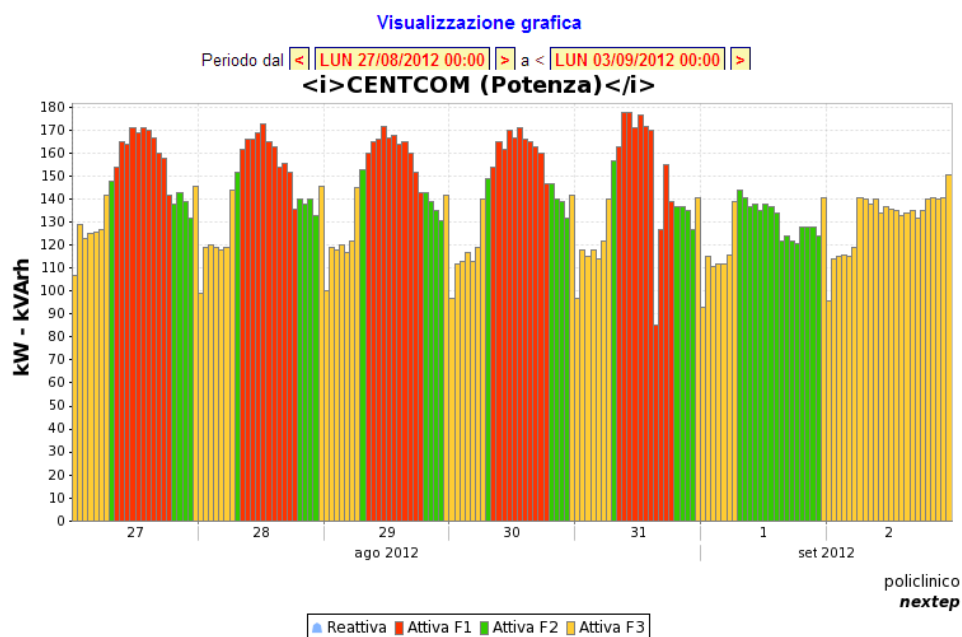


Figura 6.19: Profilo di potenza attiva (kW), con time step di 1ora, relativo al Power Center del COM
(Fonte: Nextep)

Analizzando l'andamento complessivo dei consumi elettrici, per l'anno 2012, si può notare il tipico profilo di potenza di un edificio ospedaliero.

- **Giorni feriali:** È possibile individuare un aumento dei consumi nelle ore diurne di funzionamento di tutto lo stabile, ossia nelle fasce F2 e F1, quindi indicativamente tra le ore 6:00 e le ore 21; si ha poi una riduzione dei consumi nelle ore notturne, quindi in fascia F3, in seguito alla chiusura dei reparti di Day Hospital e dei laboratori al quarto piano.

I consumi notturni rimangono comunque elevati (circa 115kW di media) poiché i due reparti di degenze rimangono attivi anche in queste ore, soprattutto per quel che riguarda le illuminazioni di sicurezza; inoltre, incide sui consumi notturni anche l'illuminazione del piano terra che, come anticipato, rimane inavvertitamente accesa.

- **Sabato:** Questa giornata ha un andamento intermedio tra i giorni feriali e i festivi, poiché, nelle ore diurne, dalle 7:00 alle 13:00 il reparto di Day Hospital è attivo, così come, ovviamente, i due reparti di degenza, mentre il reparto universitario risulta chiuso (e questo giustifica il picco di consumi più basso rispetto ai giorni feriali).
- **Giorni festivi (domenica):** In queste giornate i consumi risultano inferiori rispetto ai giorni feriali, ma non si nota una variazione sostanziale rispetto alla giornata di sabato.

In realtà, questa variazione dovrebbe essere evidente poiché la domenica il reparto di Day Hospital è completamente chiuso così come i laboratori universitari al quarto piano; come anticipato, infatti, è possibile che questi reparti rimangano inavvertitamente attivi, quanto meno in termini di illuminazione.

In particolare, utilizzando quanto registrato dallo strumento *CENTCOM*, in termini di energia attiva, trasformata in potenza, per una tipica giornata feriale del mese di settembre è stato possibile creare un grafico che contenesse gli andamenti ipotizzati, per le principali sorgenti di assorbimento elettrico individuate all'interno dell'edificio.

Quanto ottenuto, è riportato nella pagina successiva, in cui si può notare che, nonostante le stime degli assorbimenti siano state fatte ipotizzando un funzionamento standard delle apparecchiature citate, la somma delle singole curve rispecchia il profilo generale di potenza, confermando quanto rilevato durante i sopralluoghi.

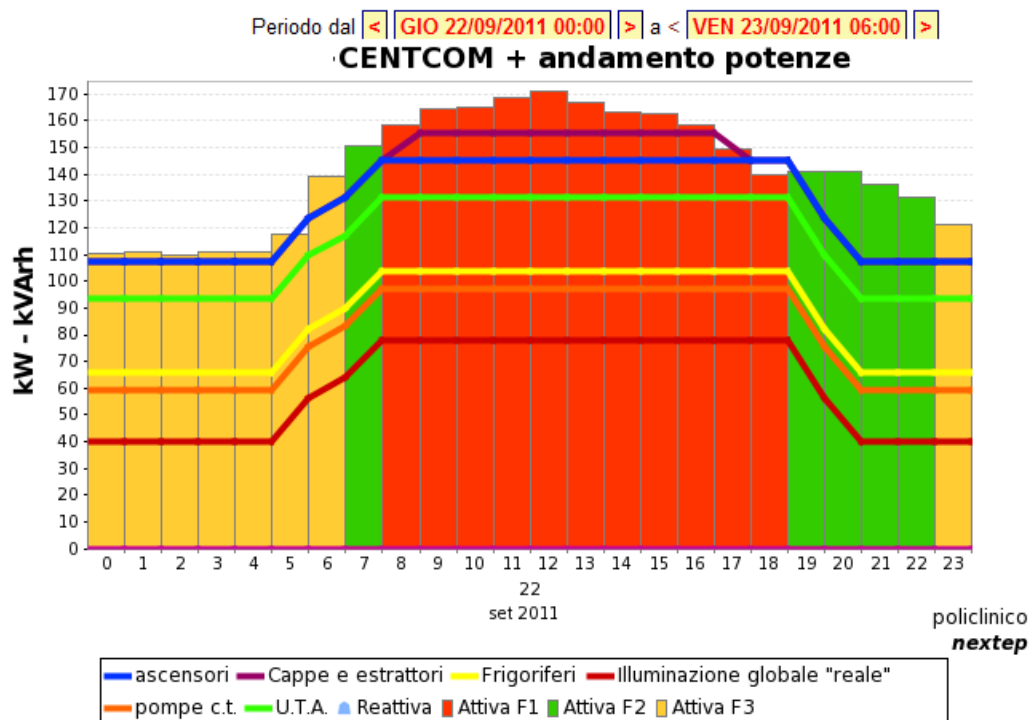


Figura 6.20: Profilo di potenza attiva (kW) dei principali carichi presenti, con time step di 1ora, relativo al Power Center del COM (Fonte: Nextep)

6.2.1.8 Report di resoconto attività raccolta dati e audit energetico

Al fine di realizzare un dettagliato modello energetico del COM, che rappresenti l’edificio reale, viene realizzato un report schematico ed esaustivo che riepiloghi i principali dati di progetto, reperiti presso il SATP, e i risultati delle analisi svolte tramite lo strumento dell’audit energetico, così da facilitare il loro inserimento nel software di simulazione.

Inquadramento:

Denominazione	Centro Oncologico Modenese
Indirizzo	Via del Pozzo 71
Comune	MODENA
Provincia	MODENA
Regione	EMILIA ROMAGNA
Destinazione d’uso	E3 – Edificio adibito ad ospedali, cliniche o case di cura
Tipologia Edificio/Impianto	<input type="checkbox"/> Edificio singolo / Impianto autonomo
	<input checked="" type="checkbox"/> Edificio singolo / Impianto centralizzato
	<input type="checkbox"/> Unità in edificio singolo / Impianto autonomo
	<input type="checkbox"/> Unità in edificio singolo / Impianto centralizzato

Latitudine	44°38' N
Longitudine	10°55' E
Altitudine s.l.m.	34 m

Zona climatica (DPR 412/93)	E
Gradi Giorno	2258
Regione di Vento	<input type="checkbox"/> A nord del Pò
	<input checked="" type="checkbox"/> Tra Appennini e mare Adriatico
	<input type="checkbox"/> Tra Appennini e mare Tirreno - Sicilia
	<input type="checkbox"/> Sardegna orientale
	<input type="checkbox"/> Sardegna occidentale
Contesto territoriale	<input checked="" type="checkbox"/> Centro Urbano
	<input type="checkbox"/> Periferia
	<input type="checkbox"/> Zona Rurale
Temperatura esterna [°C]	-5
Umidità relativa esterna [%]	55
Temperatura interna [°C]	21

Caratteristiche strutturali:

Anno di costruzione	1998
Eventuali ristrutturazioni	--
Specifiche sulla ristrutturazione	--
Superficie lorda riscaldata [m²]	8.918,86
Altezza netta dei piani [m]	3,00 circa
Volume lordo riscaldato [m³]	36.227,05
Rapporto S/V [m⁻¹]	0,25
Numero di piani riscaldati	4 piani




Tipo di struttura*	<input type="checkbox"/> Cemento armato
	<input checked="" type="checkbox"/> Muratura portante
	<input type="checkbox"/> Struttura metallica
	<input type="checkbox"/>
Tamponamenti*	<input type="checkbox"/> Mattoni forati
	<input checked="" type="checkbox"/> Mattoni pieni
	<input type="checkbox"/> Strutture prefabbricate
	<input type="checkbox"/>
Coibentazioni strutturali*	<input checked="" type="checkbox"/> Copertura
	<input checked="" type="checkbox"/> Pareti esterne
	<input type="checkbox"/> Pavimento controterra
	<input type="checkbox"/> Tra locali a temperature differenti
	<input type="checkbox"/>
Superfici Trasparenti (prevalenti)*	<input type="checkbox"/> Vetro singolo
	<input checked="" type="checkbox"/> Vetro doppio
	<input type="checkbox"/> Vetro triplo
	<input type="checkbox"/>
Serramenti (prevalenti)	<input type="checkbox"/> Legno
	<input type="checkbox"/> PVC
	<input checked="" type="checkbox"/> Alluminio / Metallo
	<input type="checkbox"/>
	Taglio termico: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO
Strutture oscuranti (prevalenti)	<input type="checkbox"/> Scoretti
	<input type="checkbox"/> Avvolgibili
	<input checked="" type="checkbox"/> Veneziane
	<input type="checkbox"/> Tende
	<input type="checkbox"/>


I ricambi d'aria si stima che siano all'incirca corrispondenti a 4,8 Volumi ora. Le condizionamenti climatiche prevedono una temperatura di set-point di riscaldamento di circa 23 °C e un umidità relativa di circa 55%.

Generazione: L'impianto termico è alimentato dalla centrale termica, costituita da n°3 generatori di calore ad acqua calda, situata all'interno del perimetro del presidio ospedaliero, in un fabbricato ad uso esclusivo. A servizio dell'utenza “Centro Oncologico Modenese” sono presenti due sottocentrali: un circuito primario in arrivo dalla centrale termica alimenta i due scambiatori nella prima sottocentrale che a loro volta servono i sei circuiti presenti nella seconda sottocentrale.

<input checked="" type="checkbox"/> SCAMBIATORE DI CALORE 2	
Tipologia riscaldamento	<input checked="" type="checkbox"/> diretto <input type="checkbox"/> indiretto
Marca	CIPRIANI
Modello	S/300M/135/6/E/A-60%
Capacità [Lt]	
Anno installazione	
Tipo di scambiatore	<input checked="" type="checkbox"/> a piastre
	<input type="checkbox"/> saldobrasato
	<input type="checkbox"/> fascio tubiero
	<input type="checkbox"/>



Emissione:


Zona	Edificio “Centro Oncologico Modenese”	
Tipo di terminali	<input checked="" type="checkbox"/> Radiatori	
	<input type="checkbox"/> Radiatori a bassa temperatura	
	<input type="checkbox"/> Termoconvettori	
	<input type="checkbox"/> Termoconvettori a bassa temperatura	
	<input checked="" type="checkbox"/> Ventilconvettori	
	<input type="checkbox"/> Pannelli radianti isolati	
	<input type="checkbox"/> Pannelli radianti <u>non</u> isolati	
	<input checked="" type="checkbox"/> Bocchette in sistemi ad aria calda	
Tipo di installazione	<input checked="" type="checkbox"/> Su pareti esterne	
	<input type="checkbox"/> Su pareti interne	
	<input type="checkbox"/> A soffitto	
	<input type="checkbox"/> A pavimento	
	<input checked="" type="checkbox"/> Incassati	
	<input type="checkbox"/>	
Ventilazione meccanica (se esistente)	<input type="checkbox"/> Solo aria neutra di rinnovo (senza recupero di calore)	
	<input type="checkbox"/> Solo aria neutra di rinnovo (con recupero di calore)	
	<input type="checkbox"/> Tutt'aria (senza recupero di calore)	
	<input checked="" type="checkbox"/> Tutt'aria (con recupero di calore)	

L'edificio è servito da un sistema di unità di trattamento aria che provvedono, suddivise per zone, alla climatizzazione degli ambienti ed al ricambio dell'aria.

N°	NOME	MARCA	MODELLO	PORTATA (mc/h)
1	UTA 1 LABORATORI LATO 2	EUROCLIMA	ZHK 2000 S 18/12-1812	16130/14900
2	UTA 1 ARIA PRIMARIA LATO 1	EUROCLIMA	ZHK 2000 S 15/9-15/12	13800/10500
3	UTA DEGENZE SPECIALI	EUROCLIMA	ZHK 2000 S 12/6-12/9	6200/4700
4	UTA ARIA PRIMARIA LATO 2	EUROCLIMA	ZHK 2000 S 12/9-12/12	11400/10500
5	UTA LABORATORI LATO 1	EUROCLIMA	ZHK 2000 S 18/12-1812	16390/15860

ACS: L'impianto sanitario è alimentato dalla sottocentrale termica a servizio dell'utenza in oggetto, di cui si riportano le caratteristiche.

<input checked="" type="checkbox"/> ACCUMULO	
Tipologia riscaldamento	<input type="checkbox"/> diretto <input checked="" type="checkbox"/> indiretto
Marca	BASSINOX
Modello	--
Capacità [Lt]	3000
Anno installazione	--
Tipo di scambiatore	<input type="checkbox"/> interno a serpentino
	<input type="checkbox"/> interno a camicia*
	<input type="checkbox"/> thank in thank
	<input checked="" type="checkbox"/> esterno



Apporti gratuiti: I carichi considerati sono prevalentemente dati da: illuminazione, persone presenti all'interno ed apparecchiature interne. Dati reperiti da piante “as built” e da sopralluoghi di dettaglio.

Profili di utilizzo e occupazione: La struttura è attiva 24/24 ad eccezione delle zone universitarie (7.00-20.00 dal lunedì al sabato) e il primo piano dedicato ad attività di day hospital.

Profili di assorbimento: Quadro elettrico di alimentazione della struttura – CENTCOM (settimana tipo invernale e settimana tipo estiva).

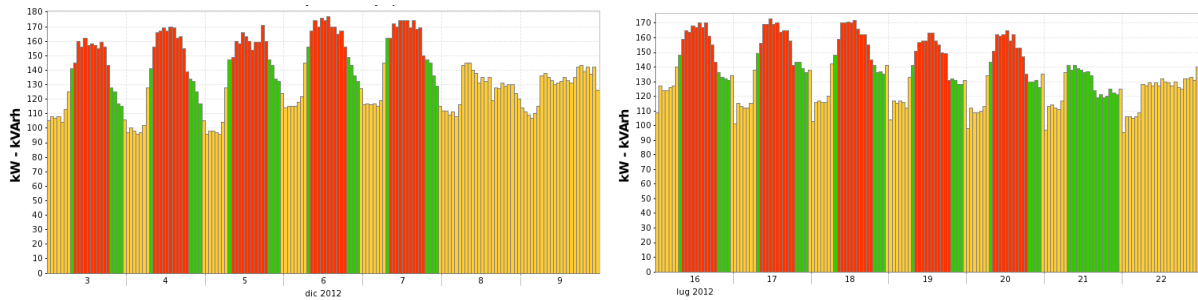


Figura 6.21: Consumo orario di energia elettrica profilo “settimana tipo” invernale e “settimana tipo” estiva del COM per l’anno 2012 (Fonte: Nextep)

I profili sono simili per tutto l’anno.

6.2.2 Monitoraggio energetico

A seguito delle analisi sopra illustrate e tramite i dati ricavati da Nextep è stato possibile determinare i consumi di energia elettrica e termica del COM per l’anno 2012. I fabbisogni di energia elettrica e termica, così ricavati, risultano il riferimento per la calibrazione e validazione del modello.

6.2.2.1 Energia elettrica

Per l’energia elettrica si è tenuto conto dei dati raccolti dal sistema di monitoraggio confrontandoli con i valori ricavati dalle stime realizzate tramite l’Audit Energetico precedentemente illustrato. I dati sono stati campionati da Nextep con i seguenti time step:

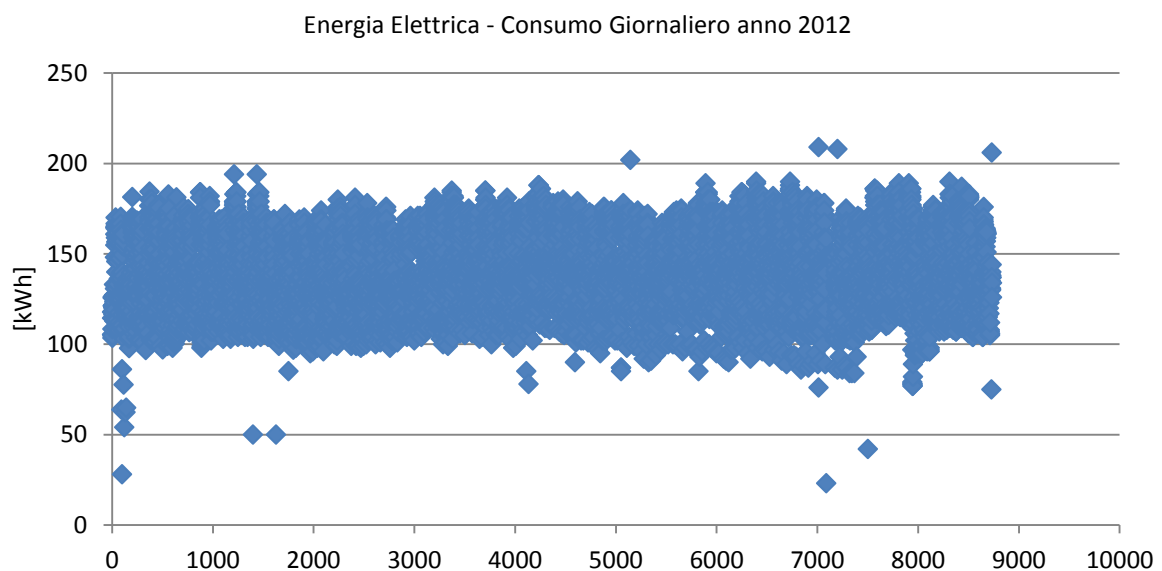


Figura 6.22: Consumo orario di energia elettrica del COM per l’anno 2012 (Fonte: Nextep)

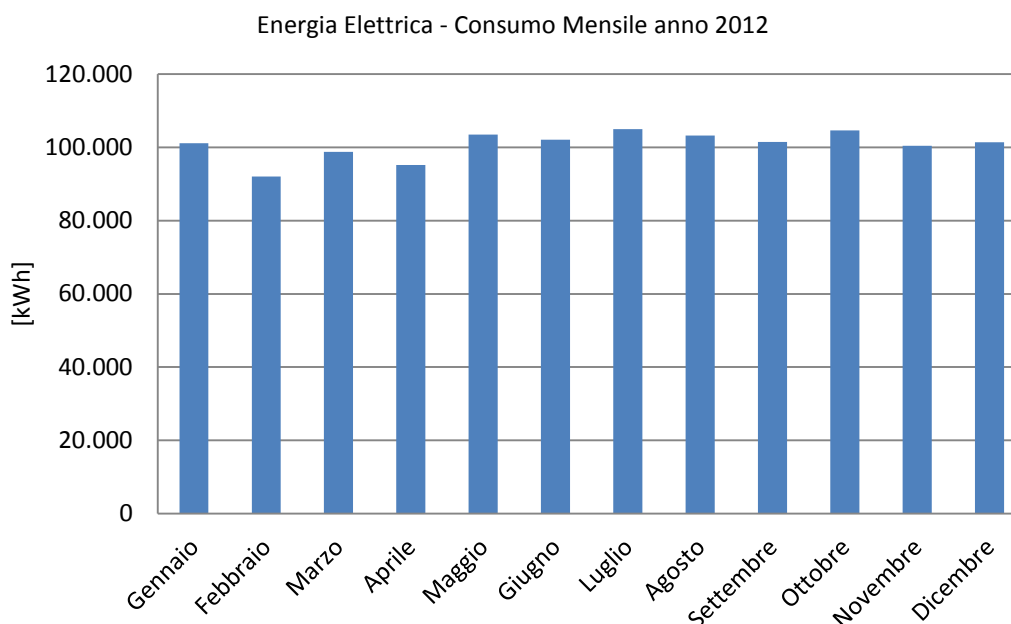


Figura 6.23: Consumo mensile di energia elettrica del COM per l'anno 2012 (Fonte: Nextep)

Tabella 6.5: Consumo mensile di energia elettrica del COM per l'anno 2012 (Fonte: Nextep)

CONSUMI MENSILI	
Mese	kWh
Gennaio	101.125
Febbraio	92.057
Marzo	98.758
Aprile	95.200
Maggio	103.473
Giugno	102.108
Luglio	104.952
Agosto	103.253
Settembre	101.446
Ottobre	104.608
Novembre	100.464
Dicembre	101.389
TOTALE	
1.208.833	

I consumi di energia elettrica del COM risultano essere costanti nell'arco dell'anno come illustrato nei grafici e nella tabella sopra riportata.

6.2.2.2 Gas metano

Per quanto riguarda i consumi imputabili al riscaldamento, dalle analisi condotte risulta che i fabbisogni del COM siano pari a circa l'8,25% del totale. Di seguito viene riportato un

graffio, estrapolato da Nextep, che mostra l'andamento "piatto" dei consumi di energia elettrica del COM per i mesi centrali dell'anno.

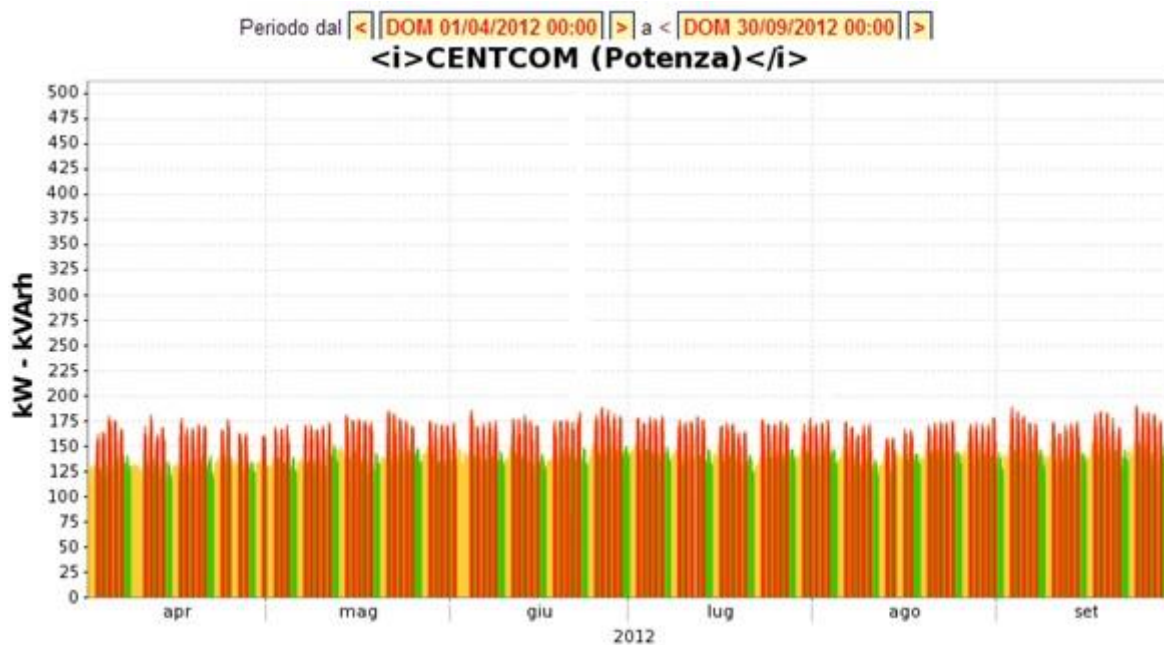


Figura 6.24: Consumo orario energia elettrica del COM per l'anno 2012 (Fonte: Nextep)

Di seguito si riportano i grafici e le tabelle che illustrano i profili dei consumi termici imputabili alla struttura oggetto di analisi.

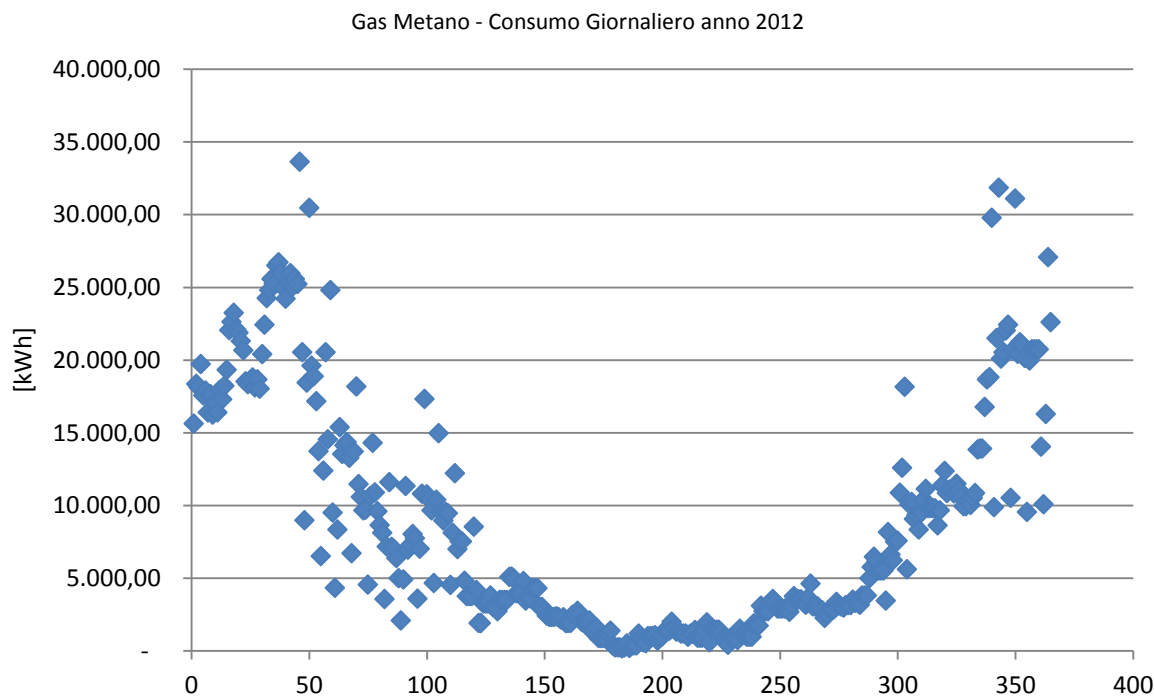


Figura 6.25: Consumo orario energia termica del COM per l'anno 2012 (Fonte: Elaborazione Nextep)

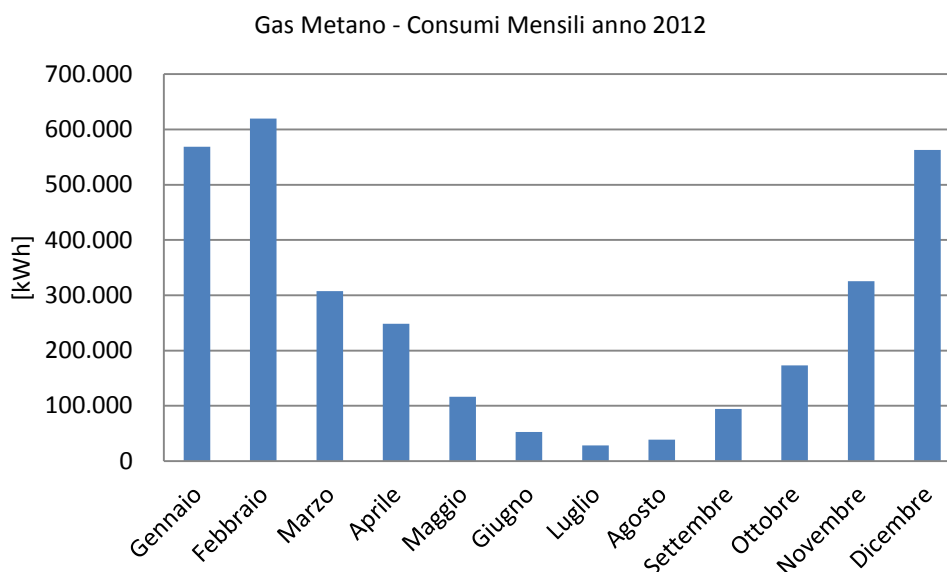


Figura 6.26: Consumo mensile di energia termica del COM per l'anno 2012 (Fonte: Elaborazione Nextep)

I consumi di gas metano del COM risultano essere in linea con i consumi totali del plesso ospedaliero, presentando consumi anche nel periodo estivo imputabili alla preparazione dell'acqua calda sanitaria e al post-riscaldamento delle UTA.

Tabella 6.6: Consumo mensile di energia termica del COM per l'anno 2012 (Fonte: Nextep)

CONSUMI MENSILI	
Mese	kWh
Gennaio	568.602
Febbraio	619.487
Marzo	307.481
Aprile	248.242
Maggio	116.275
Giugno	52.654
Luglio	28.245
Agosto	38.894
Settembre	94.180
Ottobre	173.116
Novembre	325.422
Dicembre	563.104

TOTALE
3.135.703

La baseline energetica del COM è l’anno 2012 di cui si dispongono tutti i dati orari di consumo elettrico e termico. Come illustrato da Hinchey [113], la simulazione mostra la massima accuratezza quando il dato totale orario di consumo risulta un aggregato di più misure raccolte presso vari punti di monitoraggio dell’edificio, com’è stato per il COM. Qualora non si disponesse di una rete di monitoraggio è possibile ricostruire, tramite i profili di utilizzo, gli assorbimenti dei principali sistemi energetici presenti tramite valutazioni sul campo [113].

6.2.3 *Modello energetico*

Il modello del COM è stato realizzato con l’ausilio di EnergyPlus, software di simulazione in regime dinamico degli edifici, applicativo che richiede una descrizione dettagliata degli aspetti che caratterizzano l’edificio oggetto di analisi. Per realizzare una simulazione del comportamento del sistema edificio impianto il più realistica possibile, è stato fondamentale modellare il COM seguendo le indicazioni ricavate dai:

- dati raccolti in fase di audit, descritti nei paragrafi precedenti;
- consumi di energia elettrica e termica per l’anno 2012 con time step orario;
- valori ambientali in cui si sono verificati i consumi reali dell’anno 2012.

Tramite la metodologia di calcolo applicata nel presente elaborato, è stato possibile ricostruire e stimare un riferimento quantificabile annuo che determini la base di comparazione delle performance energetiche dell’edificio COM.

6.2.3.1 *Dati meteo*

Tutti i programmi per la simulazione in regime dinamico degli edifici utilizzano file che contengono dati temporali sulle condizioni climatiche locali. Un file meteo sviluppato negli Stati Uniti nel ‘95 è il TMY2 (typical meteorological year 2) [114]: rispetto ad altri, ad esempio il suo predecessore TMY, contiene un numero maggiore di informazioni riguardo alla radiazione solare ed all’illuminazione, ha mostrato inoltre di essere una migliore approssimazione dell’andamento climatico nel lungo termine [115]. Il file meteo usato in EnergyPlus è una riformattazione del formato TMY2 con l’aggiunta di due nuovi campi di dati, uno per le misure della radiazione infrarossa, l’altro con il tempo di rilevamento dei dati,

in minuti, in modo da consentire l'utilizzo di misure derivate da scansioni temporali fitte ma non necessariamente complete su tutto il periodo di simulazione.

Per simulare l'edificio modello è stato generato un file .epw (Easy Plot Weather), partendo dai dati meteo orari forniti dall'Osservatorio Geofisico dell'Università di Modena e Reggio Emilia per l'anno 2012 (dati registrati al Campus Universitario con sensore e strumenti collocati a norme WMO, temperature su prato a 2 m dal suolo, vento a 10 m e time step orario) [116], [117], [118], così da poter confrontare il modello e l'edificio reale con le stesse condizioni ambientali al contorno.

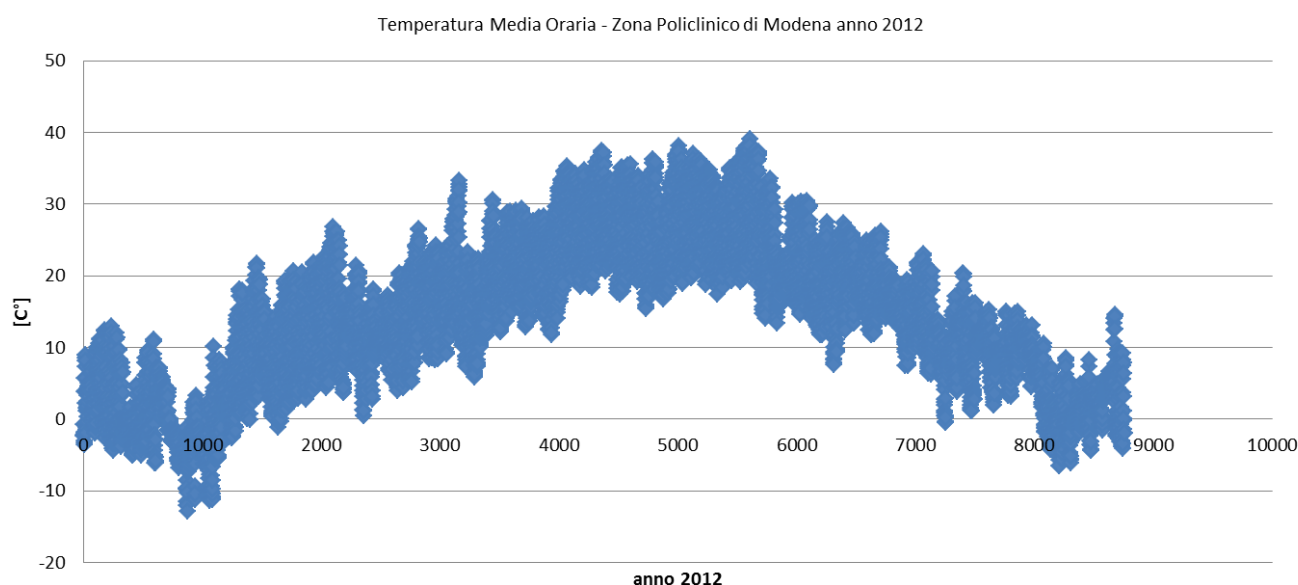


Figura 6.27: Andamento orario della temperatura anno 2012 (Fonte: Osservatorio Geofisico dell'Università di Modena e Reggio Emilia)

Risulta fondamentale, ai fini della calibrazione di un modello in regime dinamico, utilizzare i dati meteo reali, registrati nel luogo in cui è ubicato l'edificio oggetto di analisi, con la stessa baseline e identico time step dei consumi reali in possesso [119], [120]. L'accuratezza degli output del modello e quindi della calibrazione, è fortemente correlata alla qualità dei dati meteo utilizzati per simulare la realtà [86], [121]. Come proposto da Kaplan [85], [122], la simulazione deve essere condotta su periodi brevi per fornire risultati realistici, mentre Koran [123] ha messo a confronto i risultati ottenuti con simulazioni di edifici realizzate utilizzando dati meteo campionati su base oraria o settimanale.

Tabella 6.7: Esempio dati meteo mensili - gennaio 2012 -registrati Fonte: Osservatorio Geofisico dell'Università di Modena e Reggio Emilia)

Data	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	Rad.sol MJ/m2
01/01/2012	-3,7	9,1	2,7	1022,5	75,0	0	0,6	SSW	1,44
02/01/2012	-2,1	5,1	1,5	1020,5	85,6	2	2,1	E	0,01
03/01/2012	0,1	7,4	3,8	1024,1	90,4	1	5	W	0,00
04/01/2012	-1,6	3,5	1,0	1020,1	93,3	0,2	2,1	W	0,00
05/01/2012	-2,3	10,2	4,0	1006,9	80,4	1,6	1,6	W	0,98
06/01/2012	1,1	11,3	6,2	1006,8	56,0	0	16,9	WNW	1,86
07/01/2012	-1,7	11,3	4,8	1017,8	52,9	0	4	W	1,96
08/01/2012	-2,8	12,7	5,0	1016,2	66,1	0	3,1	W	1,92
09/01/2012	-2,3	12,4	5,1	1023,2	60,2	0	4,8	W	2,06
10/01/2012	-2,8	13,1	5,2	1027,3	65,8	0	1,9	W	1,93
11/01/2012	-4,4	10,3	3,0	1032,0	76,1	0	1	W	1,83
12/01/2012	-3,5	12,1	4,3	1028,5	80,4	0	0,6	WSW	1,57
13/01/2012	-1,7	10,2	4,3	1018,9	85,8	0,2	1	SW	1,51
14/01/2012	-4	7,8	1,9	1020,8	89,1	0,2	1,1	NNE	1,17
15/01/2012	-2,8	0,2	-1,3	1021,1	92,4	0	1,9	WSW	0,00
16/01/2012	-2,4	0,4	-1,0	1024,4	90,1	0	4,2	WSW	0,00
17/01/2012	-4,5	1,9	-1,3	1028,2	87,5	0	3,9	W	1,43
18/01/2012	-5,2	0,8	-2,2	1032,3	91,4	0,2	2,1	WSW	1,59
19/01/2012	-4,4	4,9	0,3	1028,6	89,3	0	1,8	NE	0,95
20/01/2012	-3,5	3,9	0,2	1015,8	92,3	0	2,9	NNE	0,55
21/01/2012	-5,2	2,4	-1,4	1015,7	92,6	0,2	2,1	NNE	1,48
22/01/2012	-3,8	8,7	2,5	1011,3	89,3	0,2	1,3	ESE	1,36
23/01/2012	-4,4	9,7	2,7	1013,5	87,0	0	0,5	SSE	1,67
24/01/2012	-2,6	7,8	2,6	1014,5	89,2	0,2	2,7	WNW	1,10
25/01/2012	-3,7	11,4	3,9	1019,0	65,2	0	0,6	ESE	2,79
26/01/2012	-6,2	7,6	0,7	1020,1	64,2	0	0,8	WNW	1,39
27/01/2012	0,8	7,3	4,1	1024,4	71,9	0	1,3	NE	0,86
28/01/2012	-0,1	5,8	2,9	1024,8	76,1	0	1,3	S	0,12
29/01/2012	1,3	4,7	3,0	1022,2	72,3	0	3,5	ENE	0,00
30/01/2012	-1,7	4,3	1,3	1024,9	61,8	0	3,1	NE	0,87
31/01/2012	-3	0,2	-1,4	1021,6	74,1	0	4,5	NE	0,00
1° decade	-1,8	9,6	3,9	1018,5	72,5	4,8	4,2		12,2
2° decade	-3,6	5,3	0,8	1025,1	87,4	0,6	2,1		10,6
3° decade	-2,6	6,4	1,9	1019,3	76,7	0,6	2,0		11,6
MESE	-2,7	7,0	2,2	1020,9	78,8	6,0	2,7	W	34,4
<i>Min</i>	-6,2	0,2	-2,2	1006,8	52,9	0,0	0,5		0,0
<i>Max</i>	1,3	13,1	6,2	1032,3	93,3	2,0	16,9		2,8
<i>Dev.St.</i>	1,9	4,1	2,3	6,4	12,3	0,5	3,0		0,8

6.2.3.2 Software di simulazione in regime dinamico - EnergyPlus

Nel presente paragrafo viene presentato il software utilizzato per la simulazione dinamica dell'involucro edilizio e del sistema impiantistico del C.O.M., focalizzando l'attenzione sulla struttura e la tipologia dei moduli utilizzati. Nel caso studio in questione è stato utilizzato, per la simulazione dinamica dell'edificio, il software EnergyPlus (versione 7.2.0) [124].

EnergyPlus è un software basato sui programmi BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e DOE-2 [125], sviluppati negli Anni '80 per poter eseguire stime e simulazioni sui carichi energetici degli edifici. Nell'ambito dei programmi di simulazione termoenergetica degli edifici, EnergyPlus sta recentemente guadagnando un sempre maggiore consenso, in particolare nella comunità scientifica, per il notevole grado di dettaglio nella simulazione energetica degli edifici e per la caratteristica di essere un software integrato, che consente la simulazione di tutti i flussi di energia termica ed elettrica che attraversano le superfici di controllo dei sistemi oggetto di analisi. Un'alternativa affidabile a EnergyPlus è TRNSYS, che però è un software a pagamento che richiede maggior impegno, in termini di tempo, per la modellazione [126].

Il team che ha realizzato il programma è composto, oltre che dal DOE, dal CERL (US Army Construction Engineering Research Laboratories), dall'Università dell'Illinois, dal Lawrence Berkeley National Laboratory, dall'Università statale dell'Oklahoma e dalla GARD Analytics. Ne è nato un programma che combina gli algoritmi più dettagliati di DOE-2 e BLAST, ma che si configura come un nuovo software, essendo basato sulla simulazione integrata dell'ambiente e dell'impianto di climatizzazione, a differenza dei programmi precedenti in cui l'informazione sui carichi termici determinati in ambiente veniva in cascata inviata ai componenti impiantistici.

Il programma è essenzialmente modulare, per facilitare l'inserimento di nuovi moduli, anche sviluppati in parallelo da diversi estensori, ed eventuali link ad altri applicativi.

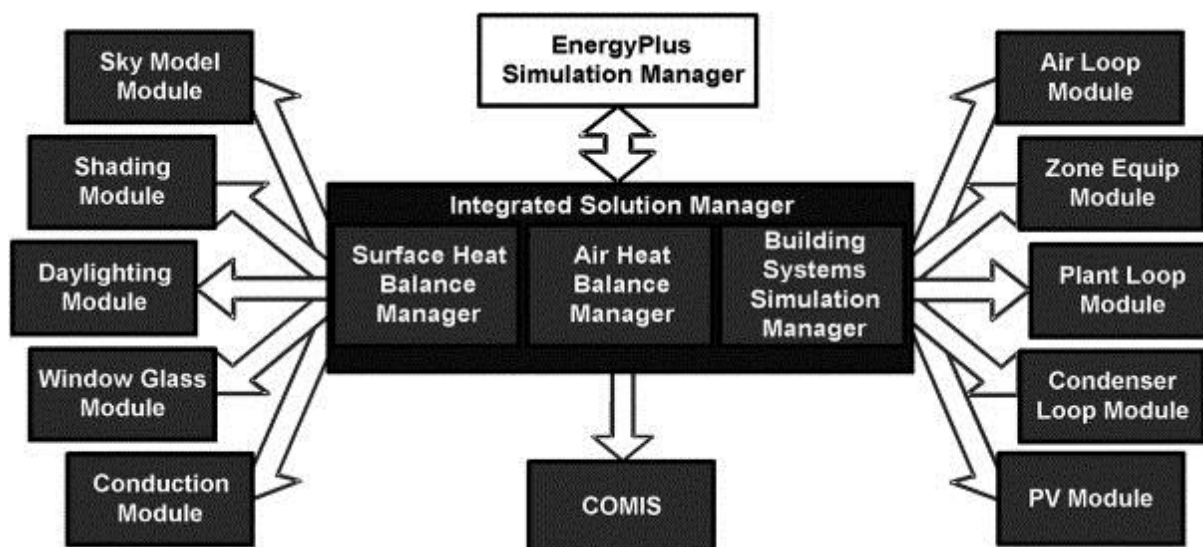


Figura 6.28: Schema logico dell'architettura del software EnergyPlus (Fonte: Manuale di EnergyPlus)

Nel modellare un sistema complesso che prevede l'interazione di tre sottosistemi come il complesso edificio- impianto, l'approccio più semplice è quello di operare in cascata, secondo questa logica l'interazione dell'ambiente esterno con la struttura dell'edificio definisce il carico che viene richiesto all'impianto; questo approccio non tiene però conto della reazione dell'ambiente all'azione dell'impianto e di come questa non sia né immediata né necessariamente adeguata alle necessità di termostatazione dell'ambiente.

Mentre un approccio di questo tipo è sufficiente in una simulazione statica, per un sistema in evoluzione dinamica non si può prescindere dalle interazioni complesse che si instaurano tra ambiente e impianto, è necessario perciò simulare simultaneamente tutti i componenti del sistema aggiornando iterativamente i risultati tramite, per esempio, il metodo delle sostituzioni di Gauss Siedel.

La gestione dei moduli è affidata a un Integrated Solution Manager che li attiva per operare un bilancio simultaneo dei tre componenti caratterizzanti il sistema:

- surface heat manager che simula le interazioni edificio/ambiente e tutti i carichi interni;
- air heat manager che tiene conto dell'aria dell'ambiente e dell'impianto;
- building systems simulation manager che simula l'impianto.

A ciascuno di detti moduli fanno poi riferimento i sottomoduli che vanno a simulare tutti i componenti del sistema edificio/impianto. L'interazione di questi tre elementi genera due loop

fluidi, air loop e water loop, ciascuno diviso in una demand side e una supply side; nel caso del water loop caratterizzante l'interazione impianto-aria, per esempio, la demand side raccoglierà tutte le informazioni relative ai terminali d'impianto mentre la supply side modellerà l'impianto e tutti gli elementi che concorrono a fornire la potenza necessaria.

Ciascun modulo dovrà essere caratterizzato definendo sia le peculiarità dei vari elementi che lo vanno a comporre sia le sue condizioni al contorno; schematicamente tali elementi possono così essere classificati:

- condizioni climatiche esterne;
- involucro, definito dalla geometria dell'edificio e dalle proprietà termofisiche delle sue superfici;
- zona termica, parte dell'edificio nella quale le caratteristiche termoigrometriche dell'aria sono omogenee;
- guadagni interni;
- controlli su temperatura ed umidità delle zone;
- controlli su temperatura e portata di punti dell'impianto;
- impianti di distribuzione dell'aria di condizionamento;
- impianti di raffrescamento e riscaldamento, che possono interagire con l'UTA o direttamente con la zona (ad esempio, impianto a radiatori).

L'involucro viene definito geometricamente assegnando le coordinate dei vertici dei parallelepipedi rappresentanti i vari ambienti, tali vertici servono poi evidentemente a definire anche le pareti che delimitano tali ambienti, quindi a ciascuna parete così definita viene associata quindi una stratigrafia, le condizioni al contorno e la funzione di strato limite per lo scambio convettivo.

Vengono così calcolate la trasmittanza e la massa frontale della parete e i coefficienti di scambio convettivo interno ed esterno [127], questi parametri, contestualmente a quelli relativi allo scambio radiativo, vengono poi utilizzati per calcolare il flusso di calore attraverso le pareti. Seppure, il fenomeno della conduzione può risultare elementare in un sistema stazionario, la trattazione dinamica può portare delle difficoltà, la parete, infatti, non solo risponde alle condizioni di temperatura presenti istantaneamente all'interno o all'esterno del locale, ma, attraverso la sua capacità, risente anche delle temperature che nel tempo si

sono succedute; una formulazione di questo tipo di problema si ha attraverso i fattori di risposta:

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t} - j\delta + \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t} - j\delta \quad (6.1)$$

Come si può vedere, concorrono alla definizione del flusso di calore attraverso la parete due serie infinite di temperature, per fortuna queste serie decadono molto rapidamente e, grazie alla similarità dei termini maggiori, è possibile sostituirle con serie storiche dei flussi di calore. La nuova soluzione contiene elementi noti come funzioni di trasferimento (FDT) [128], [129], [130].

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} + \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t} - j\delta + -Y_o T_{o,t} \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t} - j\delta + + \sum_{j=1}^{nz} \phi_j q''_{ki,t} - j\delta \quad (6.2)$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t} - j\delta + -X_o T_{o,t} \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t} - j\delta + \sum_{j=1}^{nz} \phi_j q''_{ko,t} - j\delta \quad (6.3)$$

Dove:

X_j = FDT esterna, $j=0,1,2,\dots,nz$

Y_j = FDT Scambio

Z_j = FDT interna

ϕ_j = FDT flusso

T_i = temperatura della faccia interna

T_o = temperatura della faccia esterna

q''_{ko} = flusso di calore attraverso la faccia esterna

q''_{ki} = flusso di calore attraverso la faccia interna

In questa forma il flusso attraverso sia la faccia interna che esterna della parete dipende linearmente dalle temperature correnti e da un certo numero di valori precedenti delle temperature e del flusso [131]. Attraverso un semplice calcolo matriciale è inoltre possibile

eliminare la dipendenza dei flussi dalle temperature interne in modo da esprimere il vettore degli output come espressione unicamente del vettore degli input (le temperature esterne) [128]. In definitiva il problema si presenta così:

$$C \frac{dt_1}{dt} = hA(T_o - T_1) + \frac{T_2 - T_1}{R} \quad (6.4)$$

$$C \frac{dt_2}{dt} = hA(T_i - T_2) + \frac{T_1 - T_2}{R} \quad (6.5)$$

$$q_i'' = h(T_i - T_1) \quad (6.6)$$

$$q_o'' = h(T_1 - T_o) \quad (6.7)$$

Dove:

$$R = \frac{l}{kA}$$

$$C = \frac{\rho c_p l A}{2}$$

A = superficie esposta alla temperatura ambiente

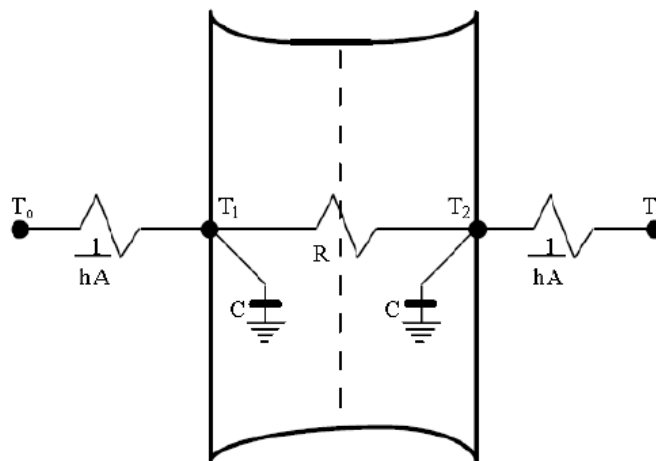


Figura 6.29: Rappresentazione della parte nell'analogia elettrica derivante dal modello a parametri concentrati (Fonte: Manuale di EnergyPlus)

Nel bilancio sulla parete, lato interno, i termini da considerare sono evidenziati nella figura di seguito riportata:

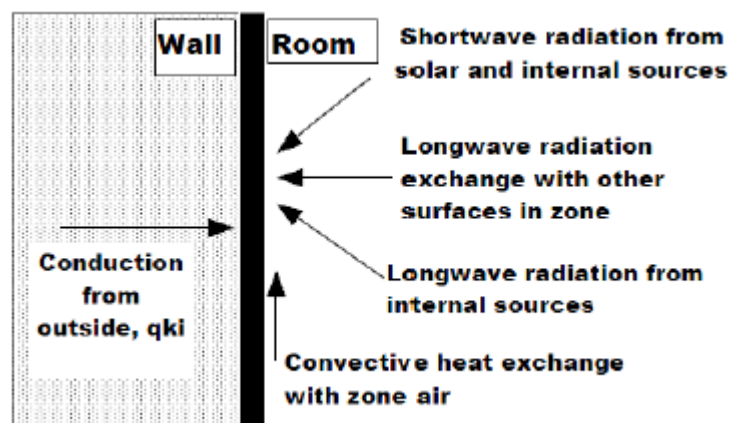


Figura 6.30: Contributi allo scambio attraverso le pareti, lato interno (Fonte: Manuale di EnergyPlus)

L'irraggiamento nell'infrarosso è modellato ipotizzando che le superfici siano opache e riflettenti in maniera diffusa, e che la temperatura sia uniforme su ognuna di esse; si può inoltre linearizzare la relazione dello scambio termico per irraggiamento. L'irraggiamento solare è considerato sia nella componenti diretta che diffusa. Gli algoritmi per il calcolo della convezione interna sono molteplici:

- semplice: coefficiente di scambio costante;
- dettagliato: coefficienti dipendenti dalla t
- modello di diffusore a soffitto;
- modello di parete Trombe.

La conduzione attraverso le pareti è affidata ad uno schema monodimensionale a coefficienti costanti, risolto da un algoritmo di tipo CFT (Conduction Transfer Function) [132], che può essere integrato da uno schema alle differenze finite, nel caso in cui ci sia la necessità di introdurre una conducibilità termica variabile.

Il bilancio energetico sulla parete, lato esterno, lo si può schematizzare come illustrato nell'immagine di seguito riportata.

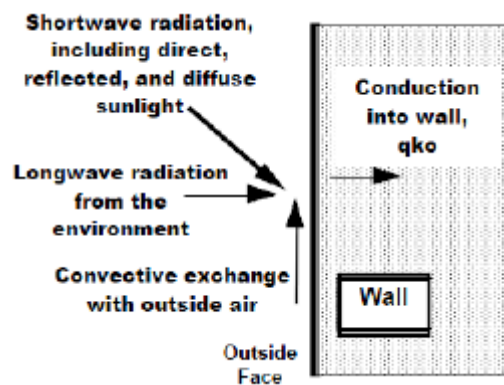


Figura 6.31: Contributi allo scambio attraverso alle pareti, lato esterno (Fonte: Manuale di EnergyPlus)

Anche per la convezione esterna sono implementati più algoritmi:

- semplice: dipendenza quadratica dalla velocità del vento;
- dettagliato, BLAST, TARP: suddividono il coefficiente di convezione nella componente naturale (calcolata come nel caso di parete interna) e forzata (correlazione Sparrow, Ramsey, Mass).

Per descrivere e realizzare il bilancio per la zona si adotta un modello a parametri concentrati suddividendo i vari contributi tra i diversi elementi che scambiano calore con l'ambiente [133]; questo approccio è applicabile anche a elementi di grandi dimensioni come le pareti se queste hanno una forma semplice. In un primo momento si effettua un'analisi stazionaria, come accennato precedentemente, nella quale il contributo dei terminali d'impianto figura come valore di chiusura dell'equazione; successivamente il calore immesso nell'ambiente dai terminali sarà uno degli elementi caratterizzanti l'ambiente modellato come un sistema in evoluzione temporale. Si riporta di seguito il bilancio complessivo dell'ambiente riscaldato, chiaramente per ottenere il bilancio stazionario basta porre pari a zero il membro sinistro dell'equazione.

$$C_z \frac{dt_z}{d\tau} = \sum_{i=1}^{Nc.int} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{Nsurf} h_i A_i (t_{s,i} + t_z) + \sum_{i=1}^{Nsurf} \dot{m} C_p (t_{z,i} + t_z) + m_{inf} C_p (t_{\infty} + t_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (6.8)$$

Il programma è principalmente pensato per simulare impianti ad aria, il calore introdotto dal sistema viene quindi simulato come una massa d'aria introdotta nella zona a una temperatura τ tale calore risulta quindi:

$$\dot{Q}_{sys} = \dot{m}_{sys} C_p (t_{sup} + t_z) \quad (6.9)$$

$$C_z \frac{dt_z}{dt} = \sum_{i=1}^{Nc.int} \dot{Q}_l + \sum_{i=1}^{Nsurf} h_i A_i (t_{s,i} + t_z) + \sum_{i=1}^{Nzone} \dot{m} C_p (t_{z,i} + t_z) + \dot{m}_{inf} C_p (t_{\infty} + t_z) + \dot{m}_{sys} C_p (t_{sup} + t_z) \quad (6.10)$$

Con C_z si intende, non solo la capacità termica dell'aria presente nell'ambiente, ma la capacità termica complessiva dell'aria e di tutte le strutture che si considerano in equilibrio termico con la zona analizzata. Per simulare numericamente i termini derivativi si fa ricorso, infine, al metodo delle differenze finite e, per quanto tale metodo sia di ordine basso e quindi si corra il rischio di accumulare eccessivamente gli errori di troncamento, la natura ciclica della simulazione energetica degli edifici tende a ridurre tale rischio.

Discretizzati i termini differenziali si procede raggruppando tutti i termini contenenti la temperatura media di zona e ponendoli nel membro sinistro e raggruppando poi a destra tutti gli altri valori che, essendo incogniti al tempo presente verranno ritardati di un time-step.

$$C_z \frac{T_z^t - T_z^{t-\delta t}}{dt} + T_z^t \left(\sum_{i=1}^{Nsurf} h_i A_i + \sum_{i=1}^{Nzone} \dot{m} C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p \right) = \sum_{i=1}^{Nc.int} \dot{Q}_l + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup}^t + \left(\sum_{i=1}^{Nsurf} h_i A_i T_{s,i} + \sum_{i=1}^{Nzone} \dot{m} C_p T_{z,i} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p \right)^{t-\delta t} \quad (6.11)$$

Un ultimo passaggio consiste nello spostare la temperatura di zona ritardata nel membro destro dell'equazione, mettere in evidenza la temperatura di zona al tempo t e dividere, si ottiene così la seguente espressione per la temperatura di zona:

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{Nc.int} \dot{Q}_l + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup}^t + \left(C_z \frac{T_z^{t-\delta t}}{dt} + \sum_{i=1}^{Nsurf} h_i A_i T_{s,i} + \sum_{i=1}^{Nzone} \dot{m} C_p T_{z,i} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p \right)^{t-\delta t}}{C_z + \left(\sum_{i=1}^{Nsurf} h_i A_i + \sum_{i=1}^{Nzone} \dot{m} C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p \right)} \quad (6.12)$$

Comunque, per permettere l'utilizzo di time-step maggiori senza incorrere in problemi di stabilità dovuti agli errori di troncamento si è preferito adottare un' approssimazione alle differenze finite del terzo ordine quindi l'espressione definitiva per la temperatura di zona risulta:

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{Nc.int} \dot{Q}_l + m_{sys} C_p T_{sup}^t + \sum_{i=1}^{Nsurf} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{Nzone ad.} \dot{m} C_p T_{zi} + m_{inf} C_p T_{\infty} + m_{sys} C_p + \left(\frac{C_z}{dt}\right) \left(-3T_z^{t-\delta t} + \frac{3}{2}T_z^{t-2\delta t} - \frac{1}{2}T_z^{t-3\delta t}\right)}{\left(\frac{11}{6}\right)\frac{C_z}{dt} + \left(\sum_{i=1}^{Nsurf} h_i A_i + \sum_{i=1}^{Nzone ad.} \dot{m} C_p + m_{inf} C_p + m_{sys} C_p\right)}$$

(6.13)

Dove:

C_z = capacità termica del volume d'aria della zona considerata;

T_z = temperatura media della zona;

T_s = temperatura della superficie della parete;

T_{∞} = temperatura esterna;

$\sum_{i=1}^{Nc.int} \dot{Q}_l$ = somma dei guadagni interni convettivi;

$\sum_{i=1}^{Nzone ad.} \dot{m} C_p (t_{z,i} + t_z)$ = scambio termico per ventilazione interzone;

$\sum_{i=1}^{Nsurf} h_i A_i (t_{s,i} + t_z)$ = scambio termico convettivo con le pareti;

$m_{inf} C_p (t_{\infty} + t_z)$ = scambio termico per ventilazione esterna (incluse le infiltrazioni);

Q_{sys} = potenza termica dell'impianto.

I guadagni interni sono suddivisi in sei categorie:

- persone;
- luci;
- apparecchiature elettriche;
- apparecchiature a gas;
- generatori di vapore;
- termobattiscopa a regolazione climatica.

Ogni elemento è gestito da una scheda di funzionamento creata dall'utente che regola l'intensità del guadagno in funzione del tempo. Tramite la definizione di queste schede si ottiene una caratterizzazione della destinazione d'uso delle varie zone. Il programma è in grado di simulare un controllo effettuato tramite termostati e psicrometri di zona che misurano la temperatura e l'umidità effettivamente presenti nell'ambiente e, in base alla differenza con il valore di set-point (che può essere fisso o variabile) impongono il carico all'impianto. Nella realtà un tipo di controllo del genere è molto efficiente in quanto il dato di riferimento viene continuamente rilevato dalla sonda e la risposta dell'impianto ha un tempo caratteristico

molto minore rispetto a quello della zona, questo si traduce in una temperatura di zona mantenuta costantemente uguale a quella di set-point o, al limite, lievemente oscillante. Nella simulazione numerica, d’altro canto, non è possibile effettuare misure di temperatura continue ma a intervalli di tempo che, spesso, per non appesantire eccessivamente il calcolo devono essere dell’ordine del tempo caratteristico della zona se non maggiori; questa situazione porta al rischio di soluzioni divergenti o oscillanti.

Per ovviare a questo problema la strategia scelta in EnergyPlus è quella di sfruttare la capacità che il programma ha di conoscere il legame tra la differenza di temperatura e l’effettivo carico; l’applicazione di tale strategia è in effetti analoga al metodo predittivo correttivo utilizzato per calcolare simultaneamente le condizioni di ambiente, impianto e sistema aria insieme, fa infatti riferimento al carico di zona calcolato con un bilancio analogo a quello visto precedentemente ma privo dell’apporto dell’impianto.

6.2.3.3 *Software DesignBuilder*

Per la progettazione dell’edificio “modello” si è fatto uso della versione studenti del software DesignBuilder 3.0.0.105, sviluppato e commercializzato da DesignBuilder Software Ltd. Si tratta di una suite integrata che combina caratteristiche di modellazione rapida degli edifici con la possibilità di effettuare simulazioni di efficienza energetica: infatti, DesignBuilder integra una versione appositamente modificata del software di simulazione EnergyPlus, precedentemente presentato.

L’utilità di DesignBuilder si è manifestata, soprattutto, per lo stadio di progettazione dell’edificio di riferimento da simulare: infatti, le sue funzionalità di produttività rapida hanno consentito a utenti inesperti di modellare un edificio abbastanza articolato in tempi brevi.

DesignBuilder, infatti, include un modellatore solido basato su OpenGL [134], che permette di assemblare modelli di edifici posizionando, ridimensionando e tagliando “blocchi” in uno spazio tridimensionale. Realistici elementi 3-D forniscono un feedback visuale dello spessore di ciascun elemento e dei volumi e delle aree delle stanze; sebbene l’edificio d’esempio fornito presenti delle stanze rettangolari, non ci sono limitazioni di forma o superficie di alcun genere.

I tempi di progettazione sono stati ulteriormente ridotti grazie alla presenza di modelli di dati che consentono di caricare all’interno del design i più comuni modelli di edifici, attività svolte, sistemi HVAC e di illuminazione mediante una semplice selezione in un menu a tendina –volendo, è possibile fornire modelli generati dall’utente [135]. Questa caratteristica,

combinata con l’ereditarietà dei dati, permette di effettuare cambiamenti globali a livello di edificio, blocco o zona. Si può anche controllare il livello di dettaglio di ciascun edificio, cosa che permette l’utilizzo del tool in ognuno dei diversi stadi del processo di valutazione del design. DesignBuilder, programma creato da DesignBuilder Software Ltd, è una di queste interfacce [31], [136]. DB riprende la struttura modulare di Energy Plus componendosi di diverse schede ciascuna imputata a un diverso tipo di input:

- Layout
- Attività
- Costruzione
- Aperture
- Illuminazione
- HVAC

Esiste anche una scheda di impostazione di calcolo CFD che non è stata utilizzata e che quindi non compete alla trattazione.

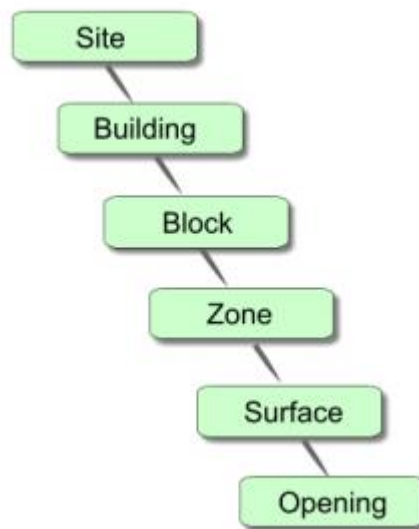


Figura 6.32: Flow Chart costruzione modello (Fonte: DesignBuilder [134]).

Tramite una finestra CAD è possibile modellare agevolmente la geometria dell’edificio ed assegnare le proprietà fisiche alle varie strutture:

Analoghe finestre consentono l’importante impostazione e gestione dei programmi delle attività, in cui è possibile definire, per ogni zona precedentemente creata, la destinazione d’uso, i set-point di temperatura e umidità, e i modelli occupazionali e di utilizzo di macchinari, illuminazione e acqua calda sanitaria.

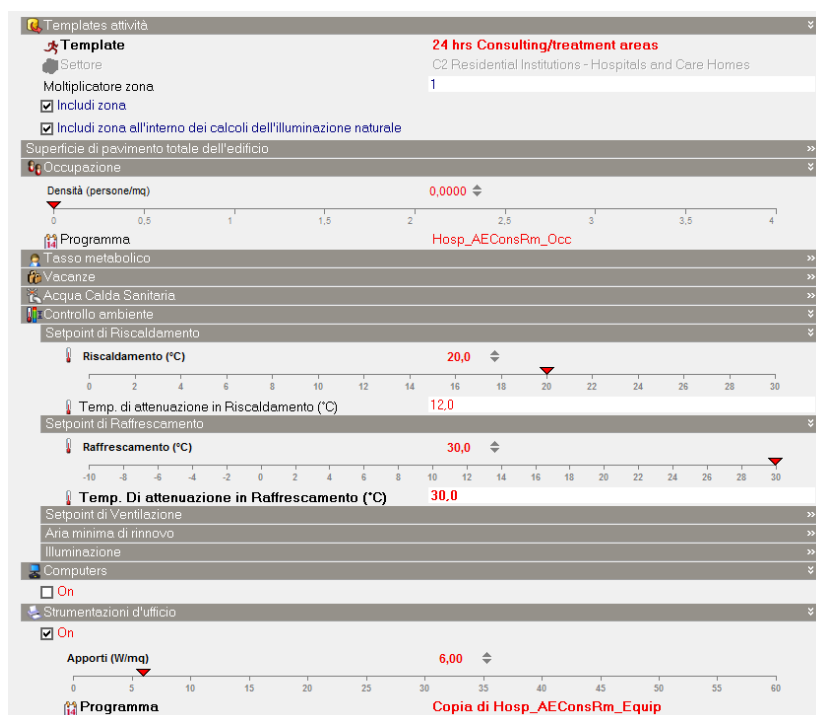


Figura 6.33: Scheda attività (Fonte: DesignBuilder).

Definita la geometria e la funzionalità degli ambienti, in questa scheda si passa a definire la composizione delle diverse strutture murarie e delle coperture. Nella scheda costruzione è possibile definire eventuali sottosuperfici, la massa frontale di eventuali pareti interne presenti nella zona e il tipo di algoritmo che EnergyPlus, come precedentemente mostrato, utilizzerà nel calcolo della convezione superficiale. A conclusione della descrizione dell’edificio, nella scheda riguardante l’illuminazione, è possibile impostare la tipologia di corpi illuminanti, la potenza per metro quadro installata e le schede di funzionamento.

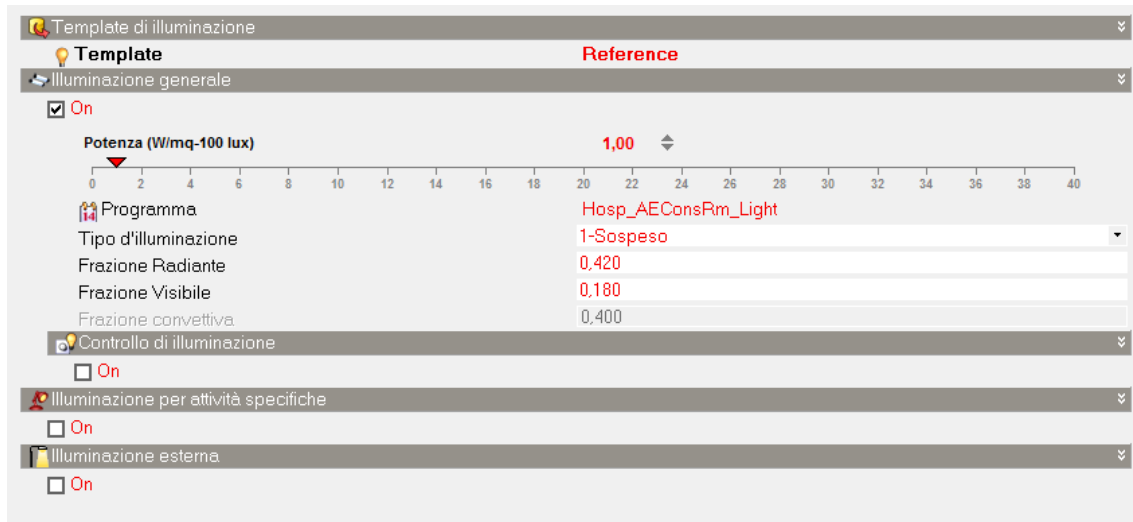


Figura 6.34: Scheda illuminazione (Fonte: DesignBuilder).

Dopo aver descritto l'edificio è possibile descrivere l'impianto che sia in grado di fornire la potenza necessaria per la climatizzazione dell'edificio, andando a definire tutte le caratteristiche dell'impianto HVAC, dalla generazione alla regolazione:

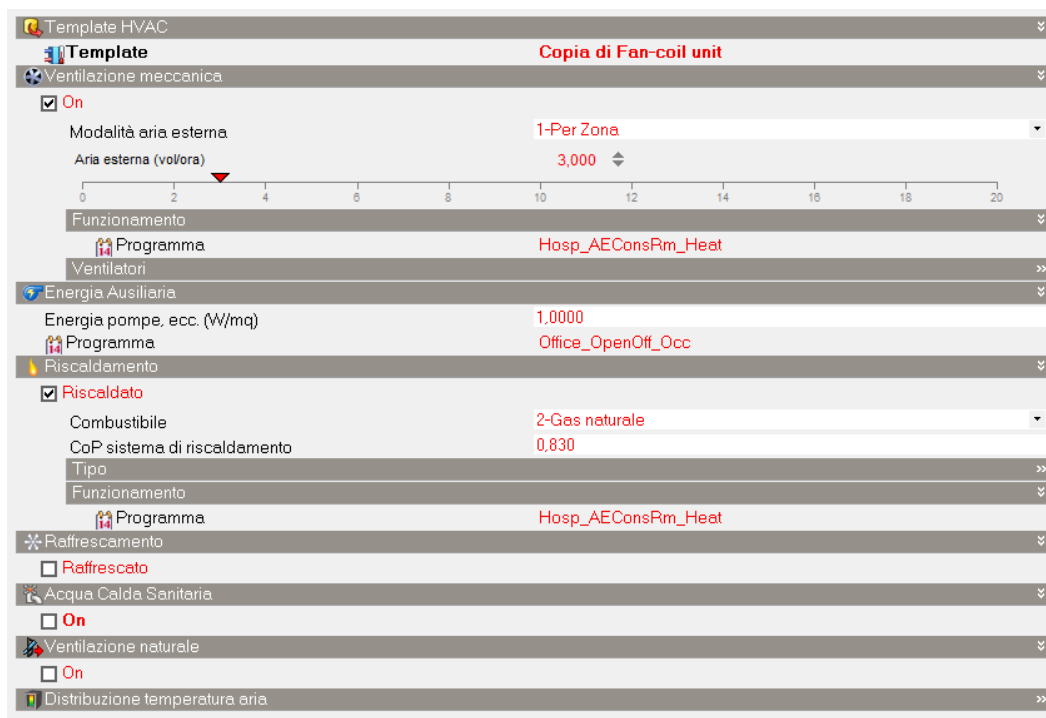


Figura 6.35: Scheda HVAC (Fonte: DesignBuilder).

I risultati possono essere richiesti come sintesi annuale o a passi temporali più fitti, fino ad arrivare alla cadenza pari a quella del passo temporale usato nella simulazione; possono

inoltre essere aggregati a livello dell'intero edificio o di singola zona. Di seguito si riporta un esempio di tabella di dati mensili, per un intero edificio:

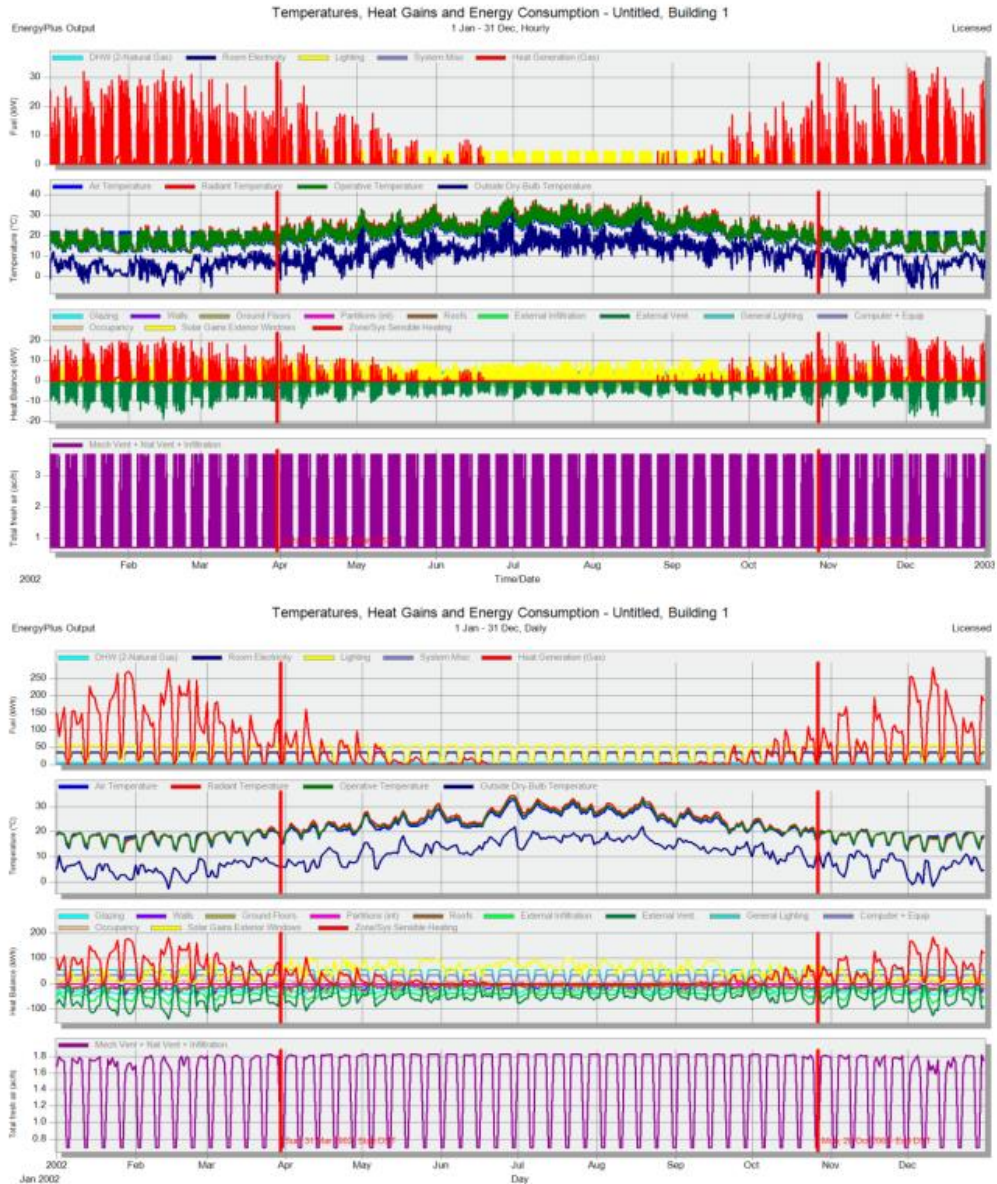


Figura 6.36: Scheda dettaglio consumi del COM per i mesi di febbraio – aprile 2012.

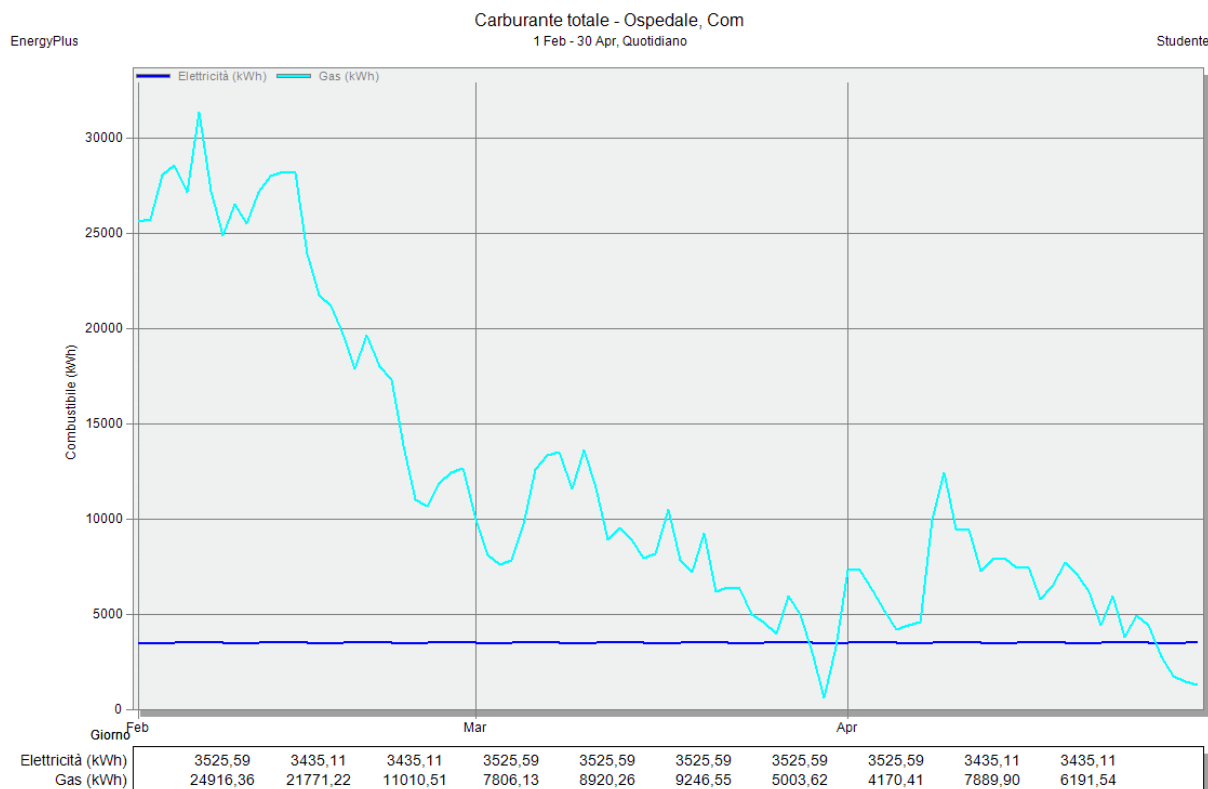


Figura 6.37: Scheda consumi totali del COM per i mesi di febbraio – aprile 2012.

EnergyPlus, senza un interfaccia grafica come Design Builder, risulterebbe uno strumento ostico per la modellazione di edifici dalla geometria complessa come quella di un ospedale; accoppiato con un interfaccia grafica presenta invece notevoli potenzialità, soprattutto nella descrizione dettagliata dell’edificio. In conclusione il programma presenta notevoli capacità, soprattutto come supporto alla progettazione, in quanto permette un notevole caratterizzazione dei vari ambienti e di ogni singola struttura mettendo il progettista nella condizione di verificare l’impatto dei carichi interni e della disposizione degli ambienti già in sede di progetto [31]; anche la caratterizzazione dell’impianto HVAC, con l’aggiunta del nuovo modulo di dettaglio [134], permette di modellare con precisione tutte le caratteristiche tecniche e gestionali degli impianti di condizionamento a servizio di un ospedale.

6.2.3.4 Modellazione del “sistema edificio-impianto” del COM – “Modello Base”

Tramite l’analisi dei documenti di progetto, i dati raccolti in fase di Audit Energetico, i valori ambientali e di consumo dell’anno 2012 elaborati dal sistema di monitoraggio Nextep, è stato possibile, con l’ausilio di EnergyPlus e Design Builder, realizzare un dettagliato modello del sistema edificio impianto del Centro Oncologico Modenese, denominato “Modello Base”.

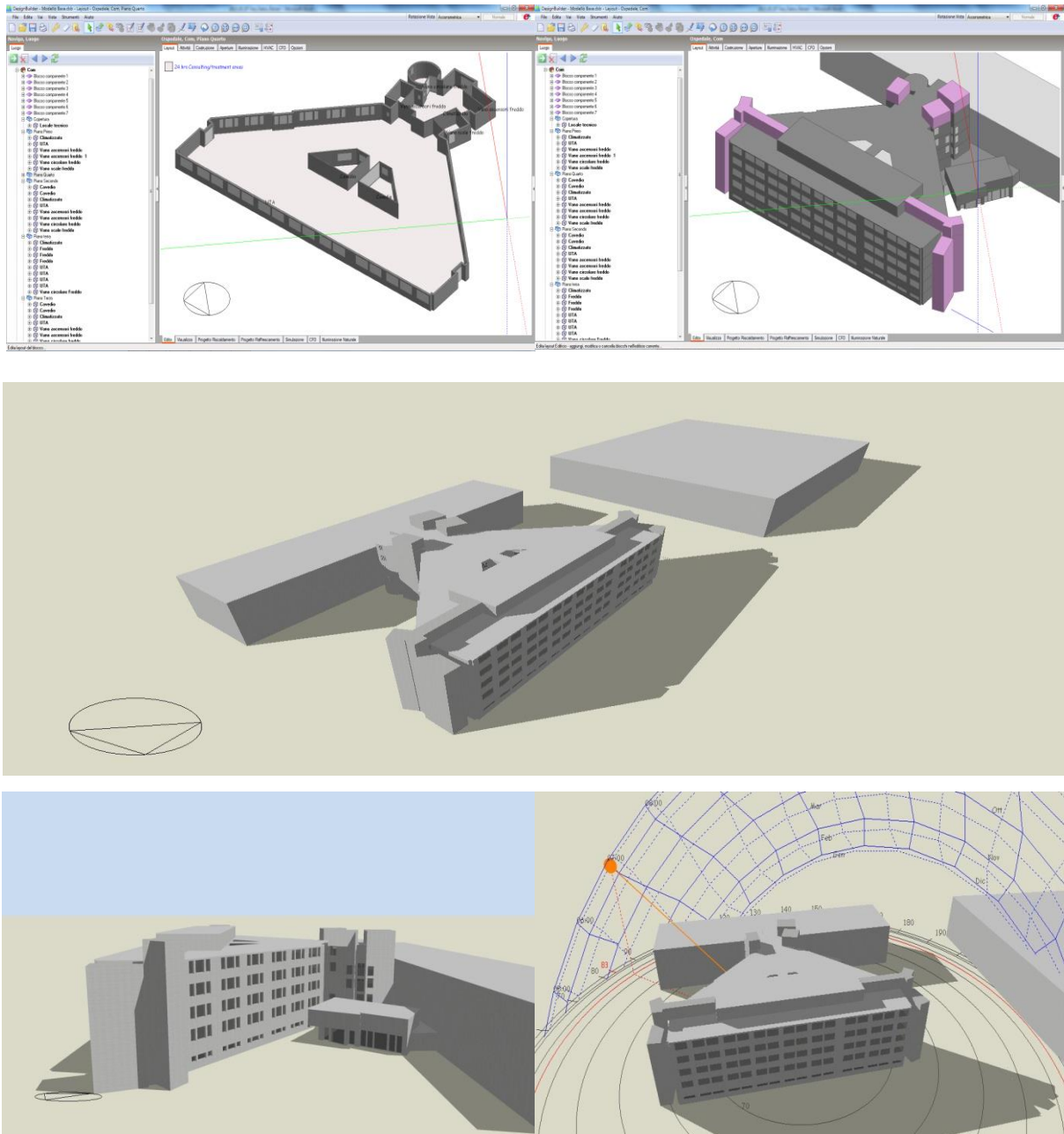


Figura 6.38: Fasi della modellazione dell’involucro del COM.

Dopo aver realizzato un preciso modello dell’involucro, seguendo i valori riportati nella legge 10/91 dell’edificio e corretti dalle misure realizzate durante i sopralluoghi, è stato modellato l’impianto meccanico che serve la struttura con l’ausilio dei documenti “as built” e dei valori ricavati dal sistema Hneywell che telecontrolla il sistema impiantistico.

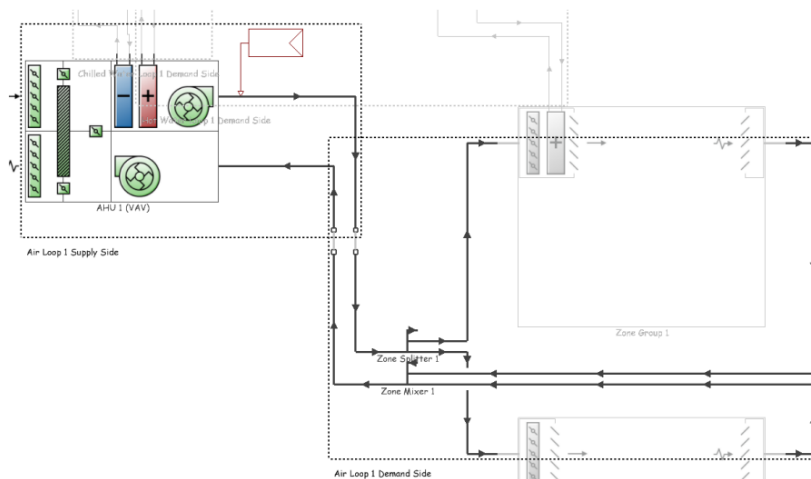


Figura 6.39: Modello dettagliato delle UTA a servizio del COM.

Infine, per completare il “sistema COM”, sono state compilate le schedul inserendo set-point, profili di utilizzo delle apparecchiature e occupazione delle strutture. A modello ultimato, dopo aver controllato i parametri inseriti, è stata lanciata la simulazione per valutare i profili di consumo.

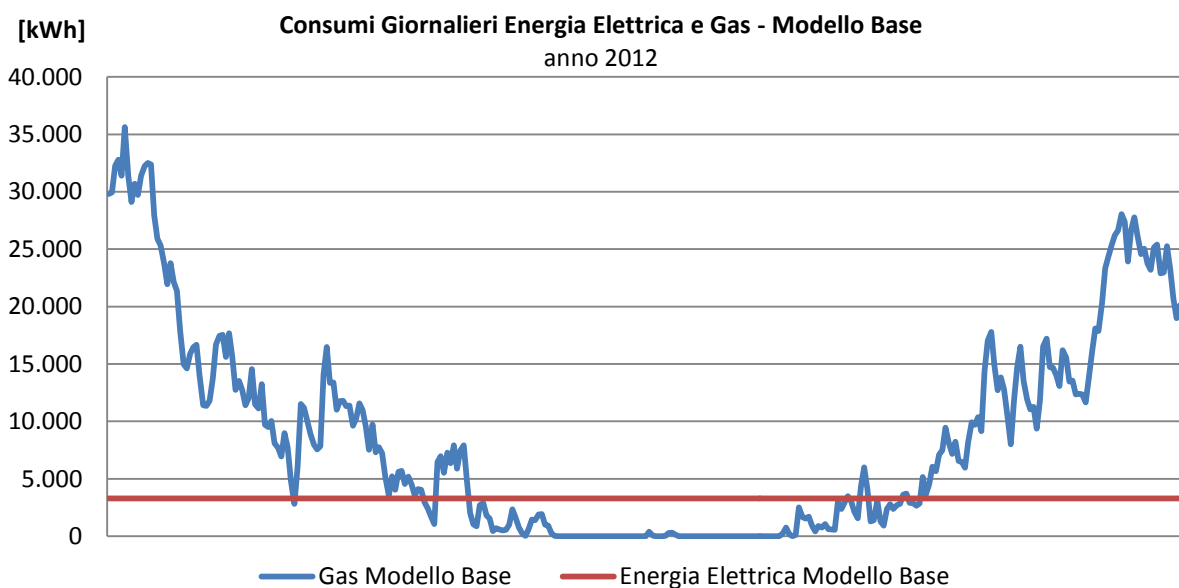


Figura 6.40: Consumi giornalieri di energia elettrica e gas Modello Base COM per l’anno 2012.

EnergyPlus Mese	Carburante totale - Ospedale, Com										
	1.Feb - 30 Dic, Mensile										
Elettricità (MWh)	91,24	100,91	97,81	101,18	99,21	104,12	104,24	97,84	101,09	97,71	97,71
Gas (MWh)	729,95	357,92	289,05	125,88	17,09	1,19	1,30	61,74	227,12	397,41	709,18

Figura 6.41: Consumi mensili di energia elettrica e gas del COM per l'anno 2012 (Fonte: DesignBuilder)

Nonostante il sistema edificio-impianto virtuale sia stato costruito con particolare attenzione, per rispettare i valori raccolti in campo ed elaborati, durante la fase di modellazione è stata evidenziata la presenza di alcuni parametri “incogniti”. Tali dati di input, per la mancanza di precise informazioni, sono stati stimati in base alle poche informazioni di cui si disponeva. Data la complessità della struttura indagata, si è pensato di inserire i valori più cautelativi. Si riporta di seguito una tabella che illustra i dettagli dei cinque input incerti del modello e i valori inseriti nel “modello base”.

Tabella 6.8: Parametri “incogniti” del modello COM.

PARAMETRI INCOGNITI MODELLO COM		
Parametro	Valore Modello Base	Causa Incertezza
Set-Point Riscaldamento	23 °C	Dato no omogeneo
Infiltrazioni	0,5 vol/ora	Stimato da normativa
Apporti Interni	5 W/mq	Dato non omogeneo
Trasmittanza Pareti Ext.	0,36 w/m ² K	Parete ventilata
Trasmittanza Vetro	2,665 w/m ² K	Dato da legge 10/91

6.2.4 Firma energetica

Calcolare correttamente la prestazione energetica di un sistema edificio-impianto non è semplice, l'unico modo per acquistare esperienza e competenza e validare gli strumenti di calcolo è quello di confrontare il risultato dei calcoli con i consumi reali, che sono il solo e vero obiettivo dei calcoli e l'unico dato di confronto disponibile. E' pertanto necessario iniziare le valutazioni dallo studio dei consumi reali verificando i calcoli del modello attraverso il confronto dei consumi calcolati con quelli reali. I calcoli dell'energia primaria ai fini della certificazione energetica e dell'ottenimento del titolo abilitativo a costruire sono eseguiti ipotizzando un uso “standard” dell'edificio: 20°C costanti nelle 24 ore, abbondante

prelievo di acqua calda sanitaria. Questa tipologia di calcolo si definisce “calcolo standard”. E’ evidente che le condizioni climatiche e di utilizzo reali saranno diverse da quelle ipotizzate in un calcolo standard. E’ quindi naturale che i consumi reali siano diversi da quelli determinati con un calcolo standard.

Se si vuole effettuare il confronto fra consumi calcolati e consumi reali, una prima strada potrebbe essere il ricalcolo dei consumi tenendo conto delle condizioni climatiche e di utilizzo reali, effettuando un “calcolo di diagnosi” (tailored rating). Il calcolo di diagnosi corretto deve necessariamente portare ai consumi reali. Si tratta però di una strada complicata e che richiede dati di consumo precisi e costanti. Per poter confrontare i consumi calcolati con quelli reali sarebbe quindi utilissimo uno strumento più semplice ed affidabile [137]. Il metodo della “firma energetica”, codificato nel pacchetto normativo EPBD, nell’allegato B alla norma EN 15603, risponde a nostro avviso a questo scopo, come si cercherà di illustrare nel prosieguo di questo paragrafo.

Per gli edifici non residenziali, come nel caso del modello COM, il confronto fra consumi calcolati e consumi reali è più complicato, almeno per i seguenti motivi.

- Le condizioni di utilizzo degli edifici non residenziali sono estremamente varie e spesso profondamente diverse dall’uso continuo ipotizzato nei calcoli standard.
- Sono presenti elevati consumi energetici per servizi diversi dal riscaldamento, ancora mal inquadrati dalle norme di calcolo, come la ventilazione e la climatizzazione estiva.

Anche in questo caso, un metodo di correlazione agile fra consumi calcolati e consumi reali può fornire un buon contributo alla migliore messa a punto degli strumenti di calcolo utilizzati. Calcolo e misura dei consumi non sono né alternativi né in conflitto: sono sinergici, nel senso che per la diagnosi e la certificazione energetica servono necessariamente dei calcoli validati dal confronto e correlazione con i consumi reali. La firma energetica può essere utilizzata in molti casi come semplice correlazione per verificare la congruenza fra consumi calcolati e consumi reali [137].

6.2.4.1 Costruzione della firma energetica

La firma energetica è sostanzialmente l’analisi della relazione che intercorre fra la temperatura esterna e la potenza termica media assorbita da un edificio.

La firma energetica è uno strumento di valutazione del comportamento del sistema edificio impianto che è stato sviluppato negli anni ‘80 dal Governo statunitense. La metodologia di analisi è stata affinata negli anni e recentemente è stata recepita nell’allegato B della norma UNI EN 15603:2008 “Energy performance of building – Overall energy use and definition of energy ratings” [10]. La firma energetica di un edificio è un metodo di valutazione e monitoraggio che consente di dare una rappresentazione grafica a un consumo (ad esempio di energia) in funzione di una variabile che influenza direttamente il tipo di consumo considerato. Ad esempio nel caso dei consumi legati alla climatizzazione invernale o estiva, che saranno oggetto delle nostre analisi, la variabile esterna, riportata sull’asse delle ascisse è la temperatura esterna: sostanzialmente si ipotizza che i consumi dell’edificio siano proporzionali a questa grandezza.

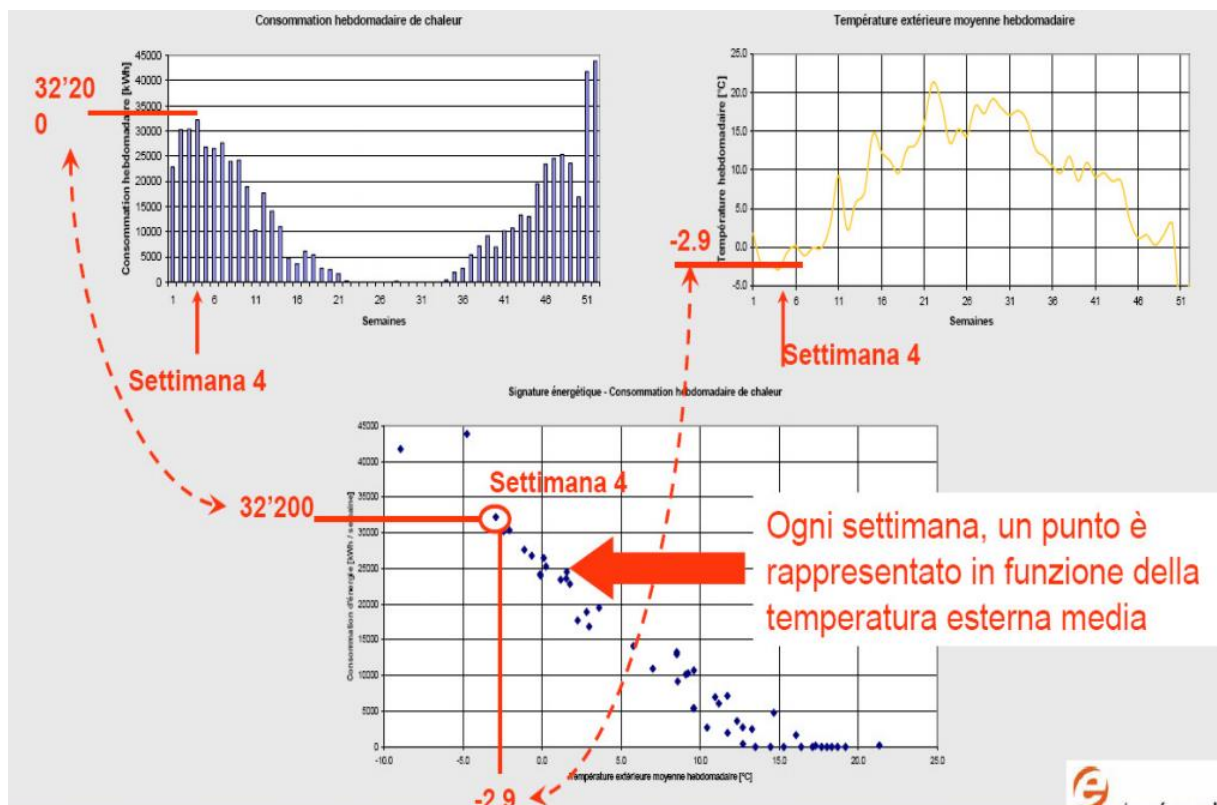


Figura 6.42: Costruzione della Firma Energetica (Fonte: Soccavo [138]).

La Firma Energetica è la rappresentazione grafica di un consumo (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ecc.) o potenza in funzione di un parametro esterno, in genere la temperatura, ed è utilizzata per analizzare i consumi reali di un edificio, per confrontare i valori calcolati ed i consumi reali o per verificare la validità di un intervento di riqualificazione energetica. La Firma Energetica non dà indicazione sul consumo ottimale di un edificio; si tratta unicamente di uno strumento di analisi qualitativa, le variazioni rispetto alla curva di riferimento forniscono infatti le informazioni utili per capire il funzionamento degli impianti ed il comportamento di un edificio.

In ambito CEN la metodologia per la costruzione della Firma Energetica, descritta dalla norma UNI EN 15603:2008 “Prestazione energetica degli edifici - Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica”, parte dall’ipotesi che la temperatura interna sia costante e quella esterna sia il parametro che maggiormente influenza il comportamento energetico dell’edificio. Il metodo, quindi, non è adatto per edifici i cui apporti interni sono variabili o in presenza di sistemi solari passivi o in presenza di strutture termicamente isolate.

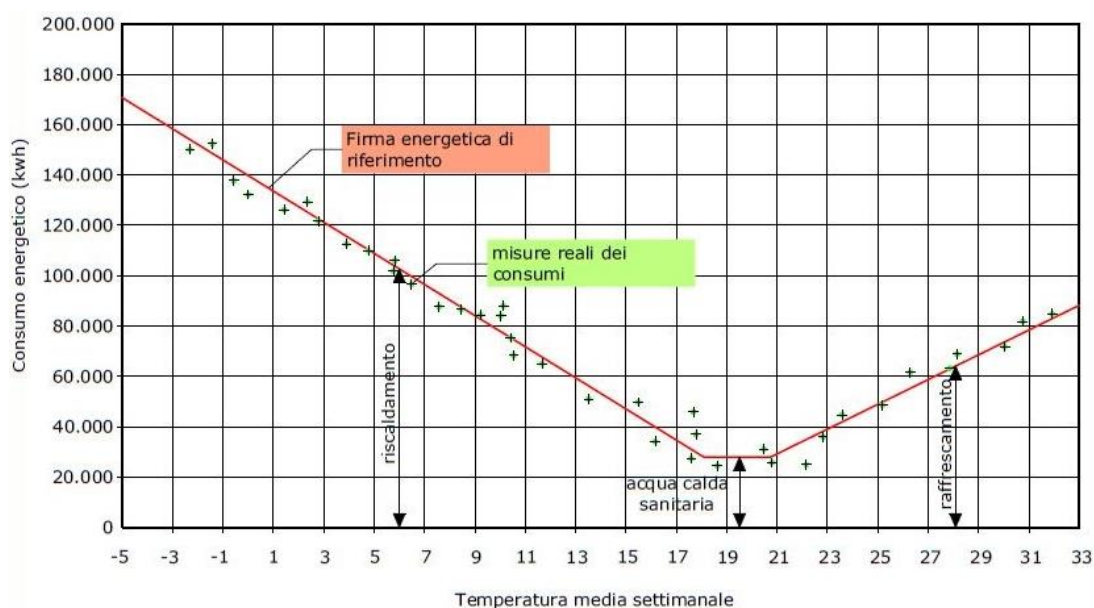


Figura 6.43: Esempio di firma energetica dei consumi settimanali di energia termica ed elettrica in funzione della temperatura esterna (Fonte: Laurent Socal [137], [139]).

Per poter determinare la Firma Energetica di un edificio è necessario raccogliere una serie di dati rappresentativi di un periodo il più lungo possibile relativamente ai consumi energetici. Il

grafico della Firma Energetica viene costruito ponendo sull’asse delle ascisse il parametro esterno (temperatura media esterna, gradi giorno, giorni di riscaldamento) e sull’asse delle ordinate il parametro rilevato (consumo energetico, lettura del contatore). La valutazione dei consumi con la Firma Energetica prevede innanzitutto la determinazione di una curva di riferimento (Firma Energetica di riferimento o di progetto), su base annuale; le letture, tipicamente settimanali, sono poi confrontate con la curva di riferimento. Lo scostamento del valore rilevato dalla curva di riferimento evidenzia una possibile disfunzione dell’involucro o dell’impianto analizzato. In accordo a tale metodologia la Firma Energetica di progetto dipende dal coefficiente di dispersione termica H , determinato in funzione delle perdite di trasmissione e di ventilazione dell’edificio.

Tale coefficiente rappresenta la pendenza della curva, espressa con la seguente formula:

$$\Phi = \Phi_0 - H \cdot \theta_e \quad (6.14)$$

Dove:

Φ è la potenza media;

θ_e è la temperatura esterna media;

Φ_0 è la potenza corrispondente ad una temperatura esterna di 0°C ;

H è il coefficiente di dispersione termica.

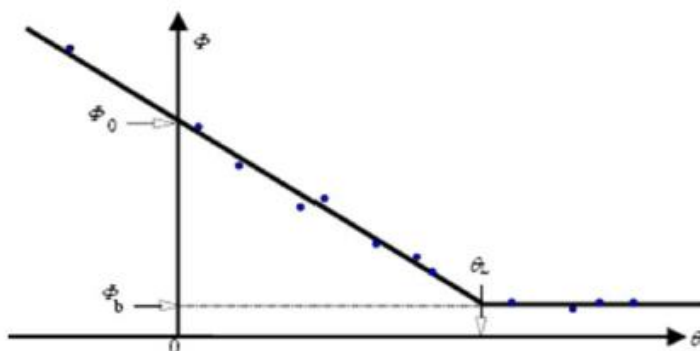


Figura 6.44: Firma Energetica (Fonte: UNI EN 15603:2008).

I dati necessari alla sua determinazione sono:

θ_e è la temperatura esterna di progetto;

Φ_{prog} la potenza di progetto corrispondente ad una temperatura esterna di progetto;

Φ_b la potenza base che non tiene conto di altre produzioni (ad es. la produzione di acs);

θ_L la temperatura esterna limite di accensione dell’impianto di riscaldamento;

H è il coefficiente di dispersione termica.

La Firma Energetica reale è la curva che meglio interpola i consumi rilevati e rappresenta l’effettivo comportamento energetico dell’edificio. Essa è rappresentata dalla curva di regressione dei consumi rilevati. Nel caso più semplice, la Firma Energetica reale è rappresentata dalla regressione lineare dei dati.

La frequenza ottimale delle letture è settimanale:

- Letture quotidiane sarebbero troppo frequenti in quanto la durata non è sufficiente a mediare l’effetto dei transitori quotidiani di funzionamento dell’impianto. Si avrebbe una dispersione dei punti troppo elevata.
- Un periodo settimanale è molto vicino ai cicli di variazione climatica e la durata è sufficiente a mediare i transitori. E’ così compresa nell’analisi anche l’effetto dell’eventuale ciclicità tipicamente settimanale nell’uso dell’edificio.
- Un periodo mensile darebbe valori mediati, ma poco correlati alle variazioni climatiche; la durata sarebbe inoltre eccessiva per consentire l’adozione di provvedimenti tempestivi.
- Un periodo annuale di osservazione non fornirebbe informazioni utili, salvo che per il dimensionamento del generatore o per la costruzione di una firma di riferimento.

Se l’impianto fornisce anche acqua calda sanitaria, oppure se è caratterizzato da perdite fisse o batterie di post-riscaldamento delle UTA, la firma energetica si modifica e diventa simile a quella riportata nella figura sotto riportata. Al ramo “invernale” si aggiunge quello estivo, rappresentato dai punti alla destra della temperatura esterna di spegnimento dell’impianto. Il ramo estivo (sul combustibile) ha di solito un andamento costante. Indica gli eventuali consumi promiscui (d’estate manca solo il riscaldamento) per cui consente di effettuare verifiche molto precise sull’efficienza dell’impianto di produzione dell’acqua calda sanitaria.

6.2.4.2 L’interpretazione della firma energetica

La firma energetica è rappresentata da una retta, che meglio approssima i punti posizionati sul piano cartesiano (Temp,kWh), definita retta di interpolazione lineare. Pertanto se la retta non

è parallela all'asse y , la sua equazione $ax + by + c = 0$ può essere esplicitata rispetto a y (in quanto deve essere $b \neq 0$) e si può scrivere nella forma esplicita $y = mx + q$, che ha rilevanza per il significato assunto dai coefficienti m e q così definiti:

- m è detto coefficiente angolare della retta e misura la sua inclinazione rispetto all'asse x ; più precisamente, si ha $m = \tan \alpha$ dove α è l'angolo antiorario che la retta forma con il semiasse positivo delle ascisse;
- q è detto ordinata all'origine e coincide con l'ordinata del punto in cui la retta interseca l'asse x .

Il significato delle caratteristiche della firma è riportato nella figura seguente:

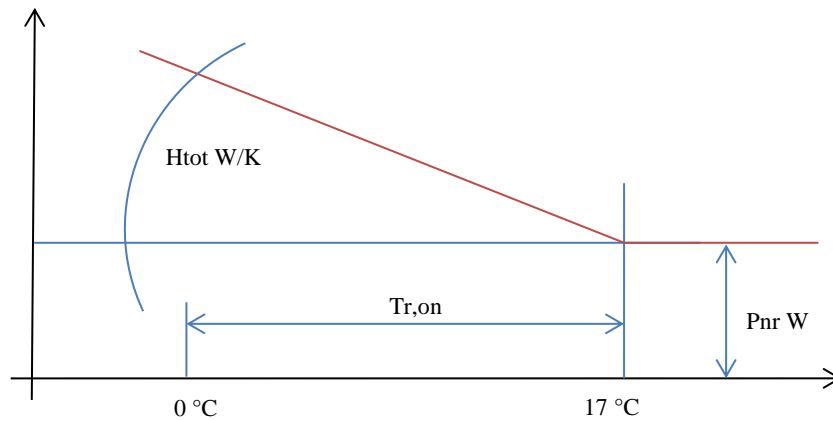


Figura 6.45: Parametri caratteristici della Firma Energetica.

- Pendenza della retta H_{tot} [W/K]: è legata ad effetti proporzionali alla temperatura esterna come:

- dispersioni dell'edificio;
- perdite proporzionali dell'impianto;

Se si coibenta un edificio o si aumenta il rendimento dell'impianto, la pendenza della firma energetica deve diminuire.

- Ascissa $T_{r,on}$ [°C] del vertice dell'angolo: temperatura esterna alla quale si inizia a riscaldare l'edificio, che dipende da:
 - l'entità degli apporti gratuiti;
 - temperatura interna regolata.

Se si coibenta un edificio, la Tr_{ON} si deve ridurre in quanto aumenta l'importanza relativa degli apporti gratuiti. Se si aumenta il rendimento dell'impianto, Tr_{ON} rimane invariata.

- ordinata P_{nr} [W] del vertice dell'angolo, dipende da:
 - potenza degli usi diversi dal riscaldamento (produzione di acqua calda sanitaria, uso cottura, ecc.);
 - dispersioni fisse dell'impianto di riscaldamento (ad esempio, dispersioni di un anello primario).

6.2.4.3 Conclusioni

Come si è visto, la firma energetica è uno strumento semplice e potente di verifica delle condizioni di funzionamento complessive del sistema edificio/impianto. Essa consente di correlare i consumi reali con quelli calcolati, eliminando automaticamente l'influenza della stagione e permettendo di riconoscere l'eventuale comportamento anomalo dell'utenza. Le sue modificazioni nel tempo evidenziano chiaramente gli effetti di qualsiasi intervento sul sistema edificio-impianto e sulla sua gestione. Non si tratta di uno strumento di analisi e diagnosi energetica: la firma energetica non ci può indicare se i consumi elevati siano dovuti all'isolamento scadente dell'edificio oppure a scarso rendimento dell'impianto, informazione ricavabile solo da un modello di calcolo [139].

Si tratta invece di uno strumento per:

- Gestione degli impianti;
- La verifica dei risultati conseguiti con interventi di risparmio energetico;
- La correlazione tra consumi calcolati e consumi reali;
- Il dimensionamento dei generatori di calore.

6.2.4.4 La Firma Reale di riferimento

Tramite i dati meteo e di consumi reali registrati durante l'anno 2012, precedentemente illustrati, è stata costruita la firma energetica elettrica e termica del COM. Il campionamento dei dati ambientali e di consumo è stato eseguito con un time step giornaliero. Pertanto è stato possibile costruire una “firma energetica reale” su dati medi giornalieri (valore minimo

sommato al massimo diviso due), per poi estrapolare firme energetiche con time step settimanali e mensili.

Si riportano di seguito le firme energetiche reali per l'anno 2012 del COM, costruite considerando il time step giornaliero, settimanale e mensile.

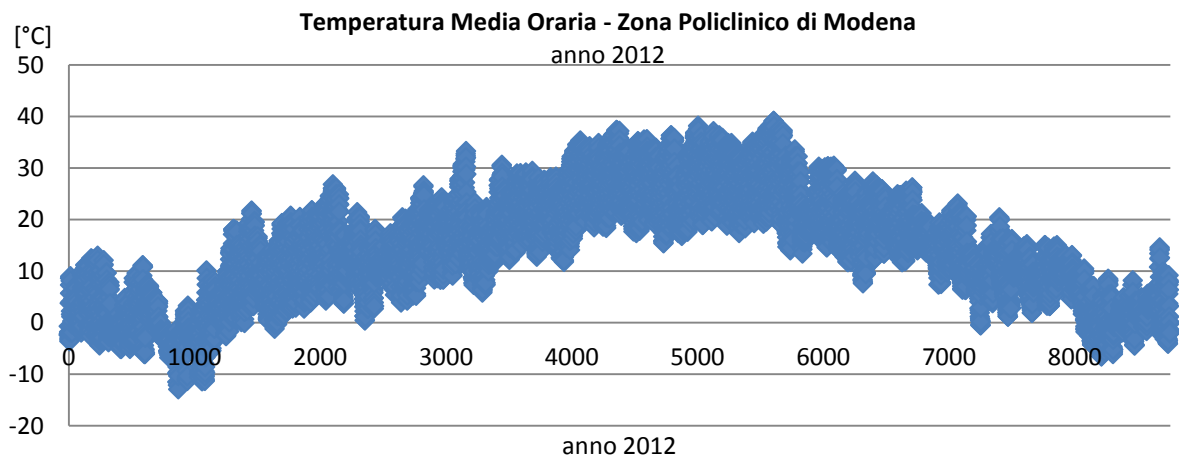


Figura 6.46: Andamento della temperatura media oraria per l'anno 2012.

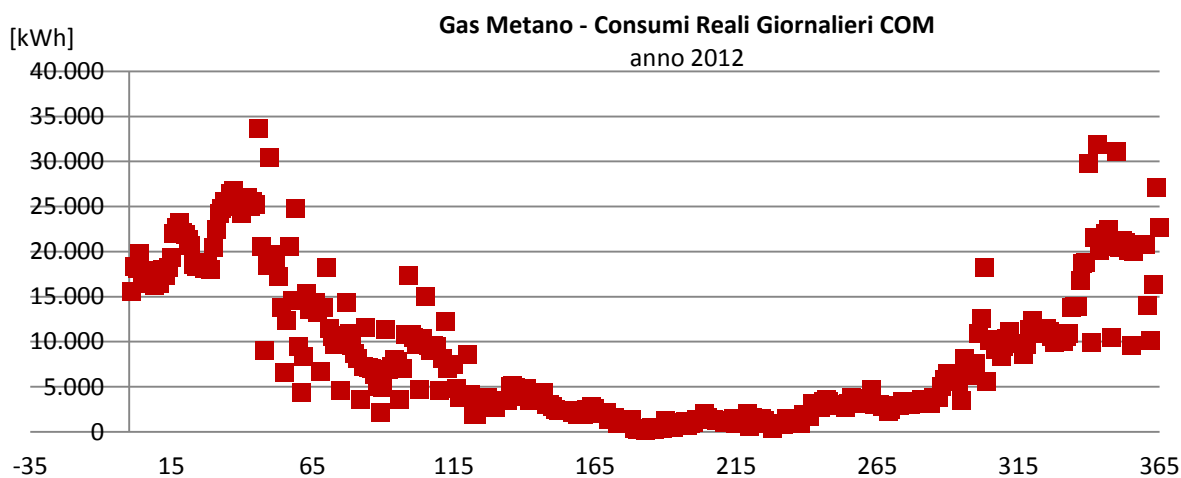


Figura 6.47: Andamento dei consumi reali medi giornalieri per l'anno 2012.

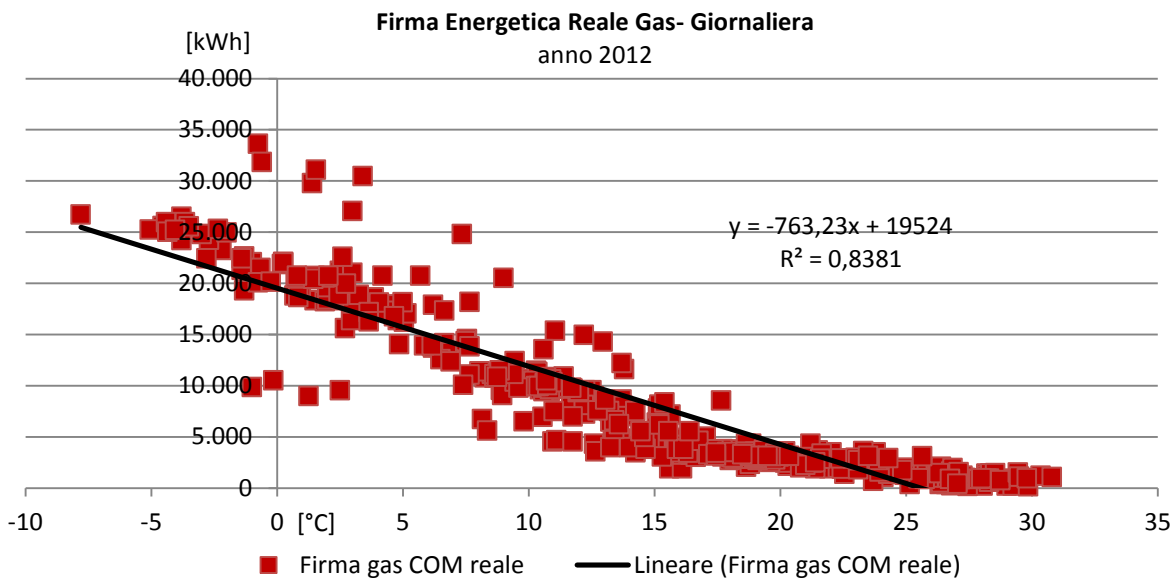


Figura 6.48: Firma energetica gas reale giornaliera.

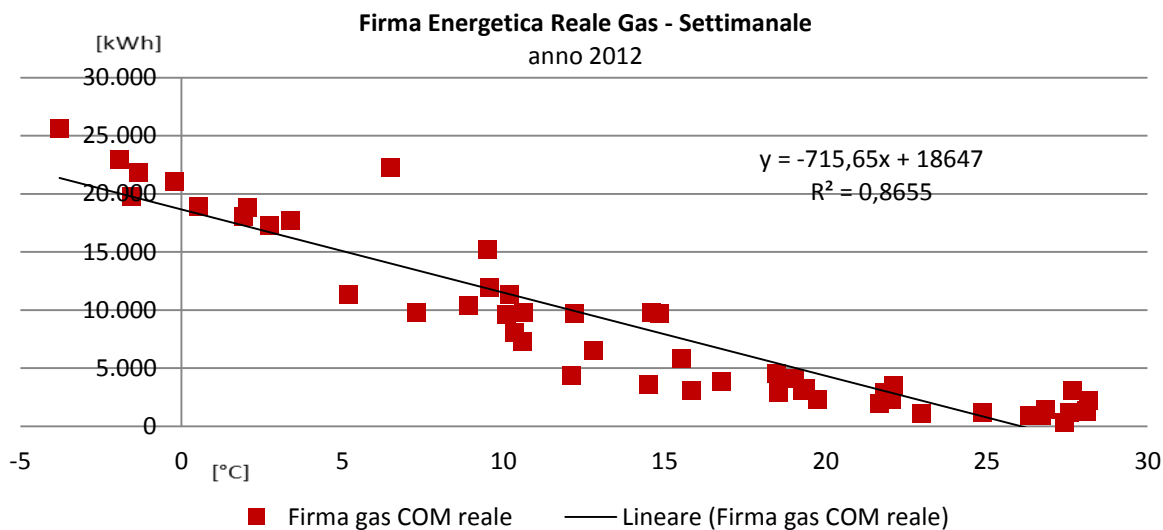


Figura 6.49: Firma energetica gas reale settimanale.

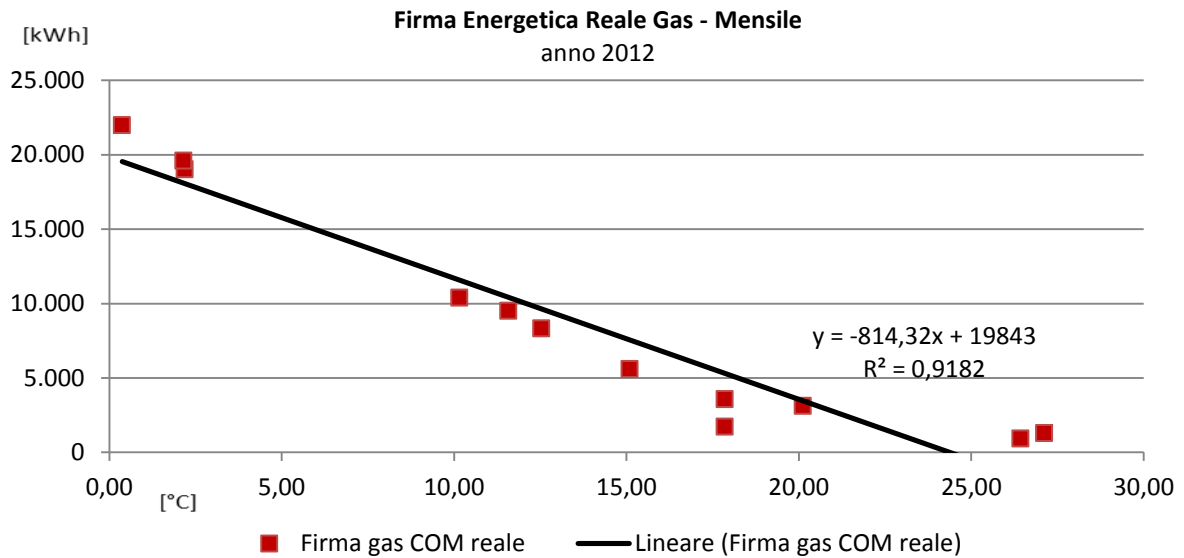


Figura 6.50: Firma energetica gas reale mensile.

Le firme energetiche gas reale, mostrano un andamento abbastanza “compatto” dei punti misurati, soprattutto le firme con time step settimanale e mensile presentano un coefficiente R^2 significativo.

Di seguito vengono illustrate le firme energetiche costruite facendo riferimento ai dati reali meteo e di energia elettrica per l’anno 2012 del COM.

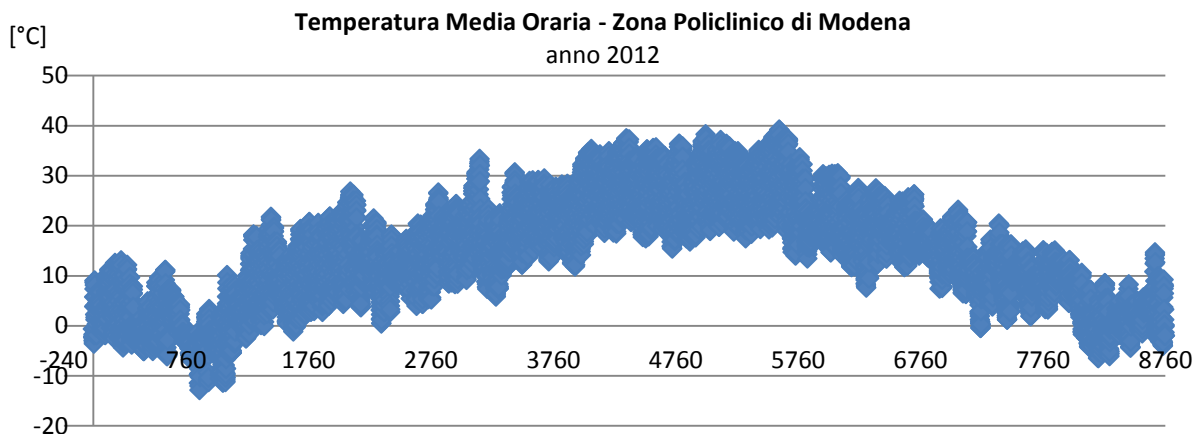


Figura 6.51: Andamento della temperatura media oraria per l’anno 2012.

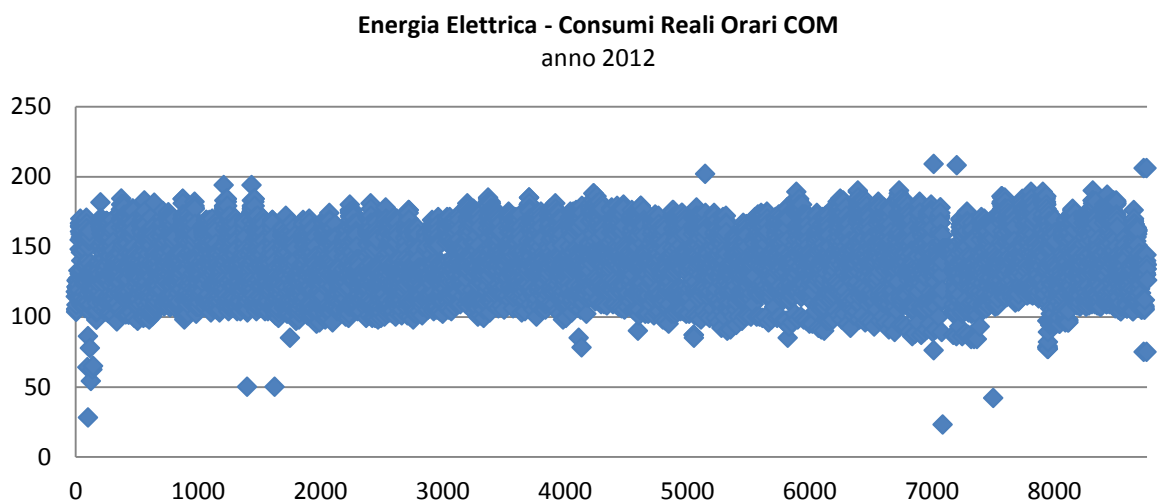


Figura 6.52: : Andamento dei consumi reali medi orari per l'anno 2012 (Fonte: Elaborazione Nextep)

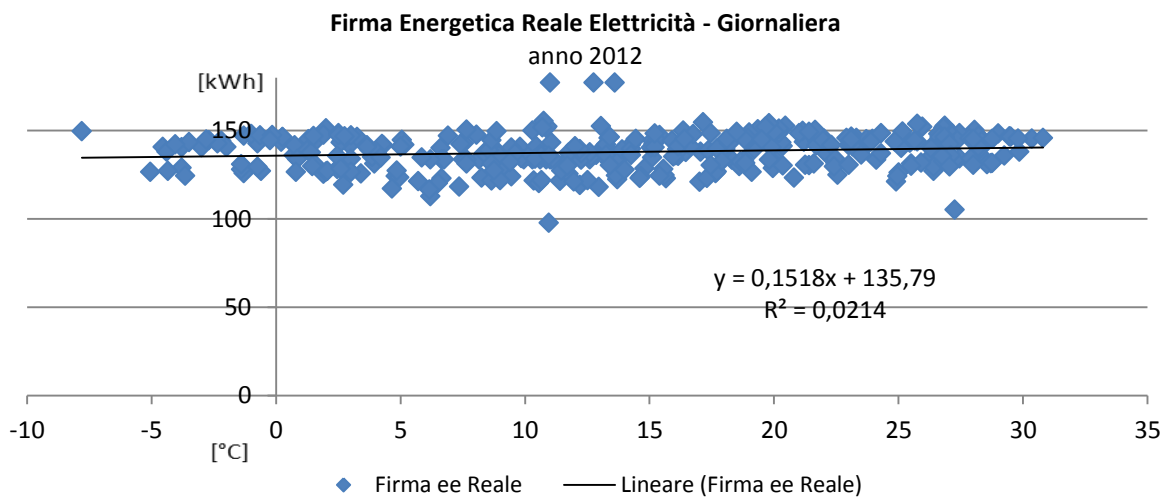


Figura 6.53: Firma energetica Energia Elettrica reale giornaliera.

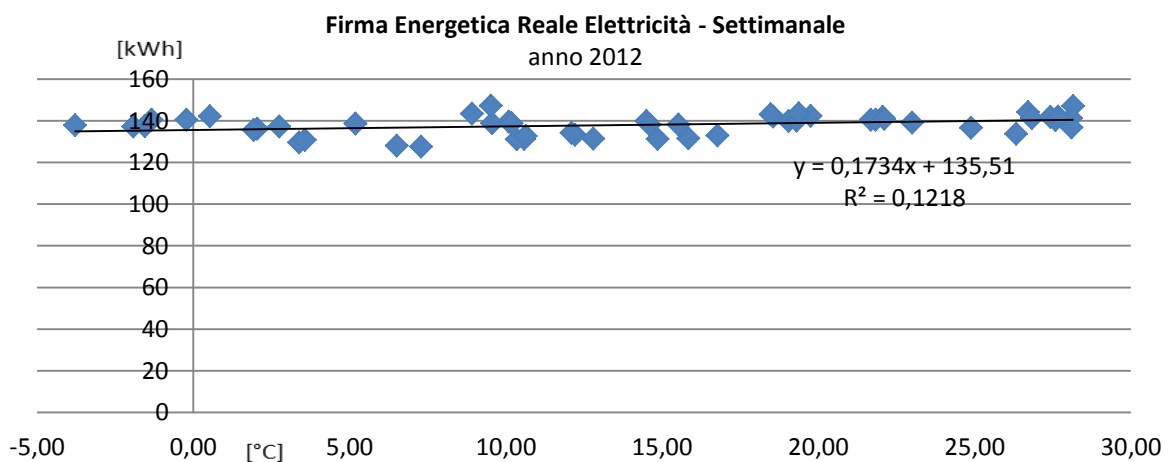


Figura 6.54: Firma energetica Energia Elettrica reale settimanale.

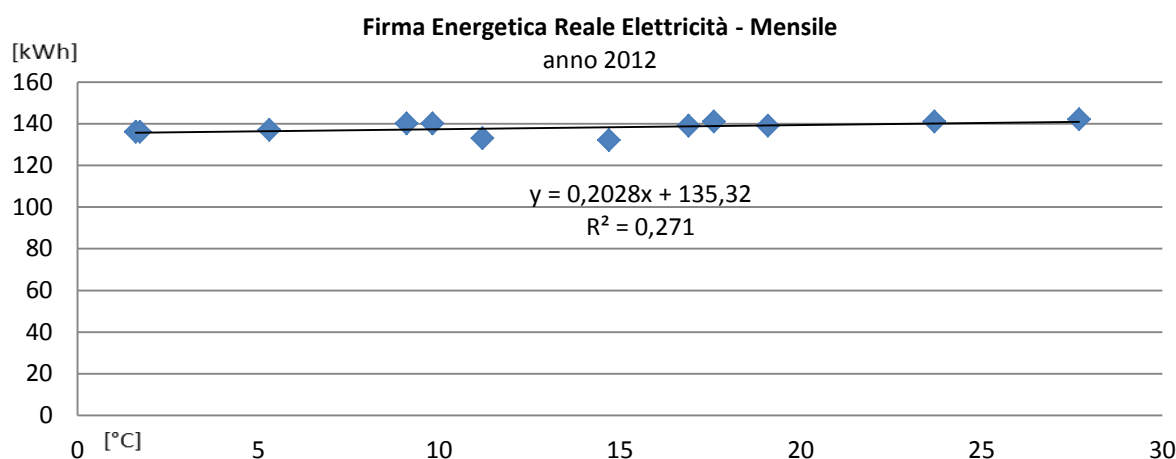


Figura 6.55: Firma energetica Energia Elettrica reale mensile.

Analizzando i consumi illustrati sul grafico della firma elettrica reale, si nota che il COM presenta valori costanti di assorbimento per tutto l'anno. In effetti i consumi elettrici oscillano attorno ai 140 kWh. Come ci si aspettava, dopo aver realizzato l'audit energetico, non sono presenti consumi estivi imputabili al condizionamento, essendo il COM servito da una centrale frigo che alimenta tutti gli stabili del Policlinico di Modena. L'incremento di consumo che si registra quando le temperature superano i 22 °C sono imputabili al maggior assorbimento dei molteplici frigo presenti al COM a piano terra e delle poche unità di condizionamento monoblocco presenti.

Come riferimento per le successive analisi di calibrazione e validazione del modello, verranno prese in considerazione le sole firme energetiche settimanali, sia per quanto riguarda il gas metano sia per l'energia elettrica. Un periodo settimanale è molto vicino ai cicli reali di variazione climatica e la durata è sufficientemente lunga per mediare i transitori. E' così compresa nell'analisi anche l'effetto dell'eventuale ciclicità tipicamente settimanale nell'uso dell'edificio ospedaliero.

6.2.4.5 La Firma Virtuale - Modello base

Con i dati meteo reali e i valori calcolati di consumo per l’anno 2012, ricavati dal “Modello Base” simulato in EnergyPlus, è possibile costruire la “firma energetica virtuale” elettrica e termica del COM. Di seguito vengono illustrate le firme energetiche del modello virtuale di riferimento, illustrato nel paragrafo 6.2.3.4.

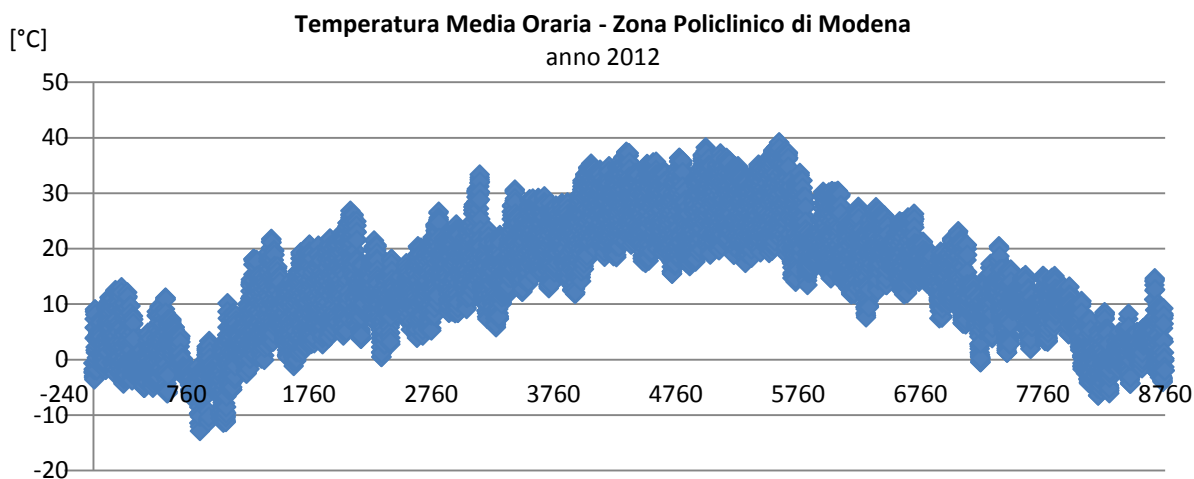


Figura 6.56: Andamento della temperatura media oraria per l’anno 2012.

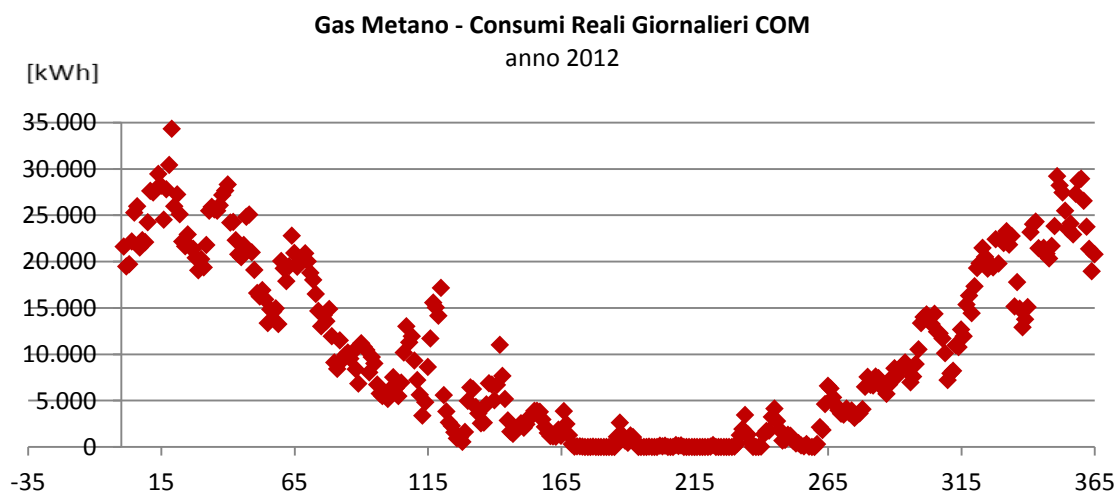


Figura 6.57: Andamento dei consumi simulati medi giornalieri per l’anno 2012 – Modello Base.

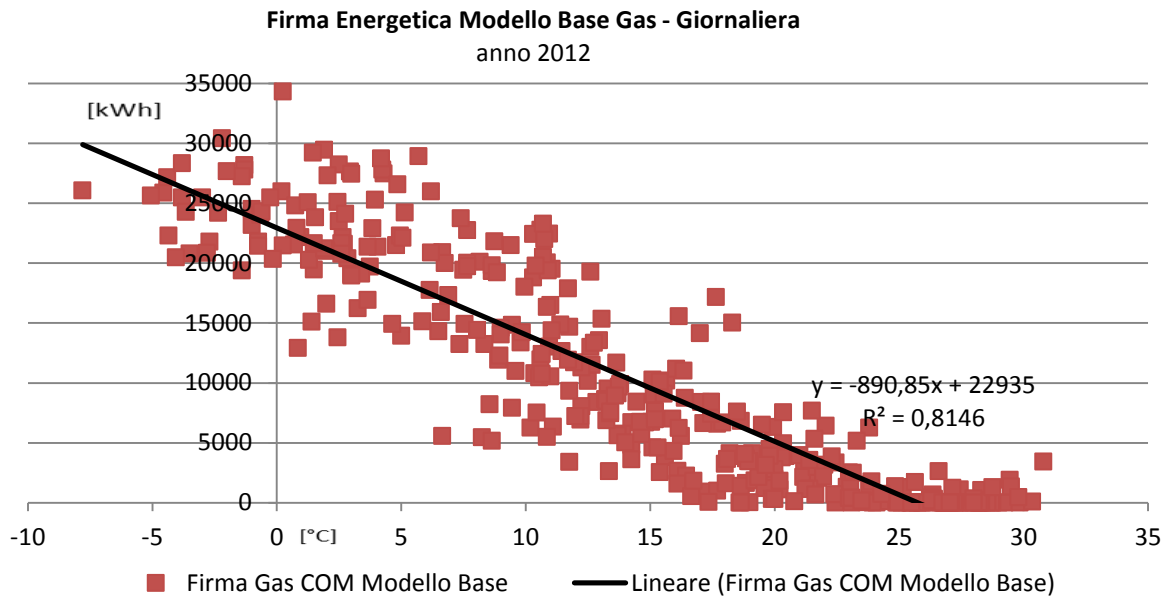


Figura 6.58: Firma energetica Modello Base Gas simulata giornaliera.

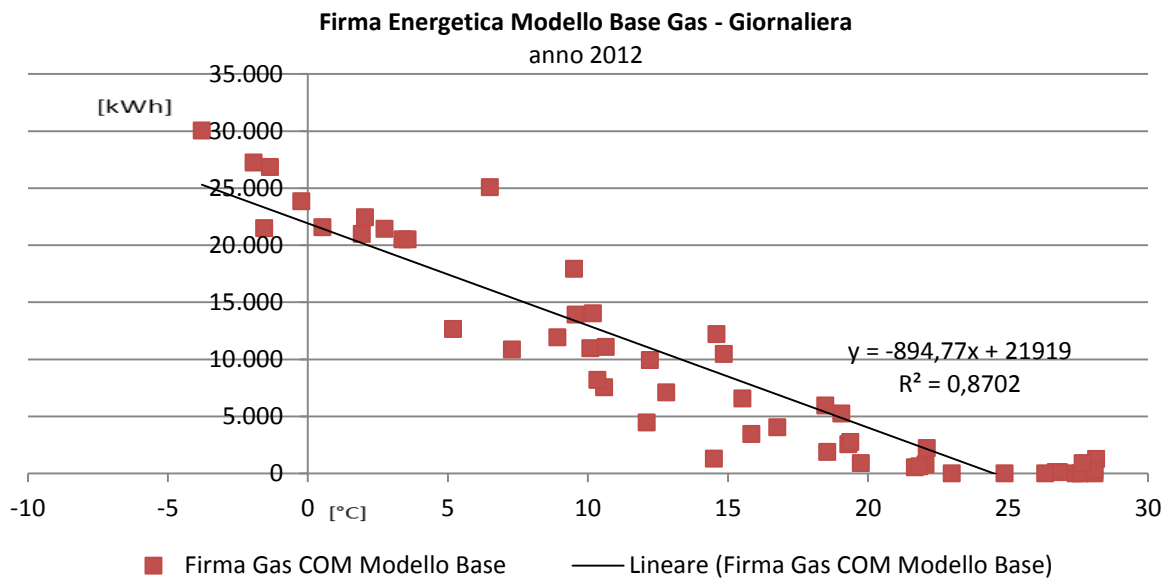


Figura 6.59: Firma energetica Modello Base Gas simulata settimanale.

Di seguito vengono illustrate le firme energetiche costruite facendo riferimento ai dati reali meteo e simulati, da Modello Base energia, di elettrica per l'anno 2012.

Dai dati estrapolati dal monitoraggio del COM, si è notato che la struttura oggetto di analisi presenta i consumi elettrici costanti per tutti i giorni dell'anno, pertanto viene di seguito mostrata la sola firme energetiche giornaliera riferita al Modello Base.

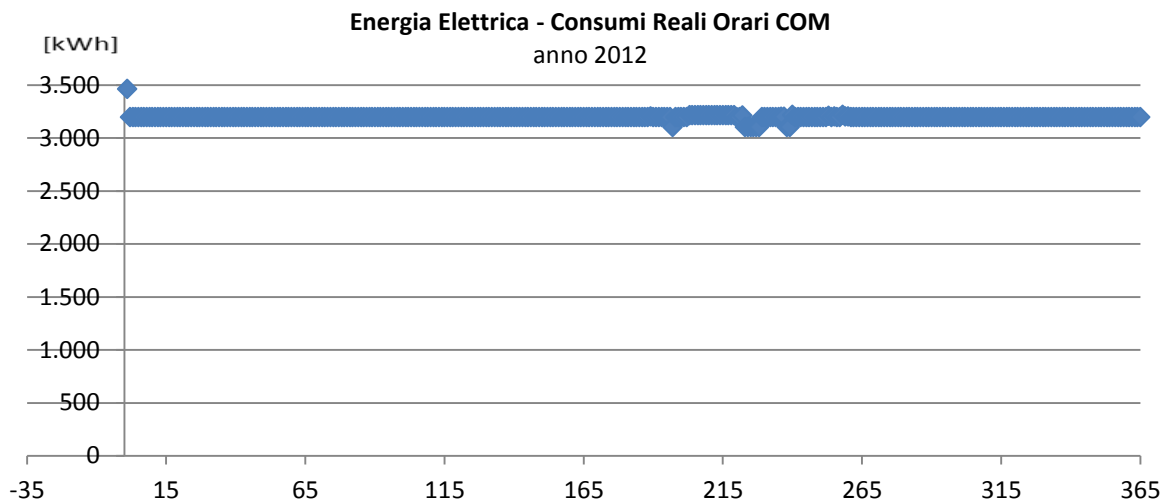


Figura 6.60: : Andamento dei consumi simulati medi orari per l'anno 2012 del Modello Base.

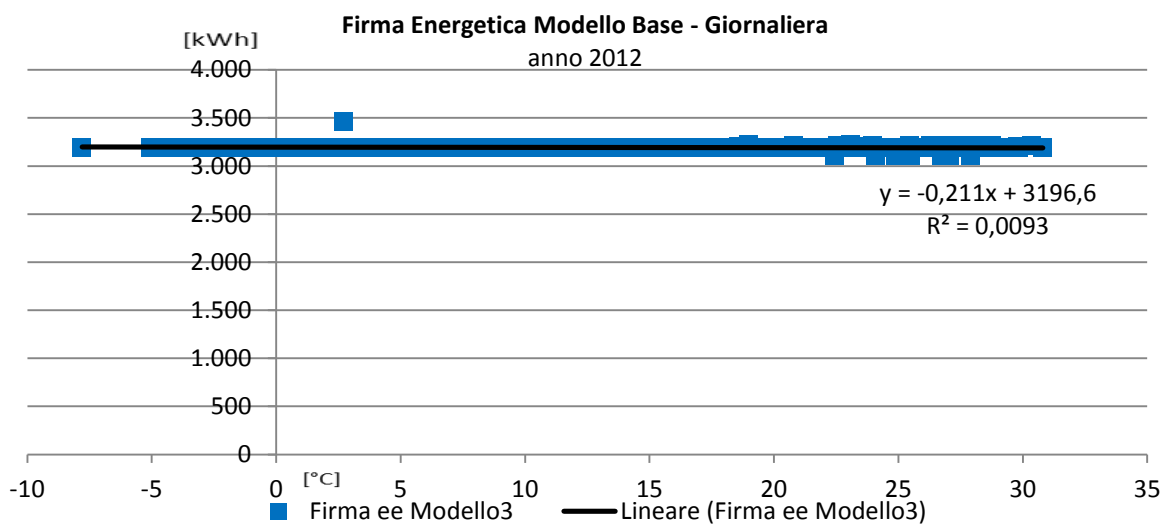


Figura 6.61: Firma energetica Modello Base Energia Elettrica simulata.

6.2.5 Valutazione dei modelli

6.2.5.1 Introduzione

I modelli di simulazione non sostituiscono la realtà, ma sono piuttosto un mezzo per organizzarla, studiarla e modificarla senza vincoli. Quando il modello è utilizzato per analizzare un sistema edificio-impianto attuando simulazioni, è importante capire come esso rappresenta i processi presenti nella struttura oggetto di indagine. La conoscenza del modello è infatti prerequisito fondamentale per l'utente che voglia valutarne le capacità previsionali in condizioni di sicurezza. In questo paragrafo vengono esaminati alcuni elementi utili nel valutare le capacità previsionali dei modelli di simulazione, valutando inoltre i possibili errori nell'uso degli stessi modelli.

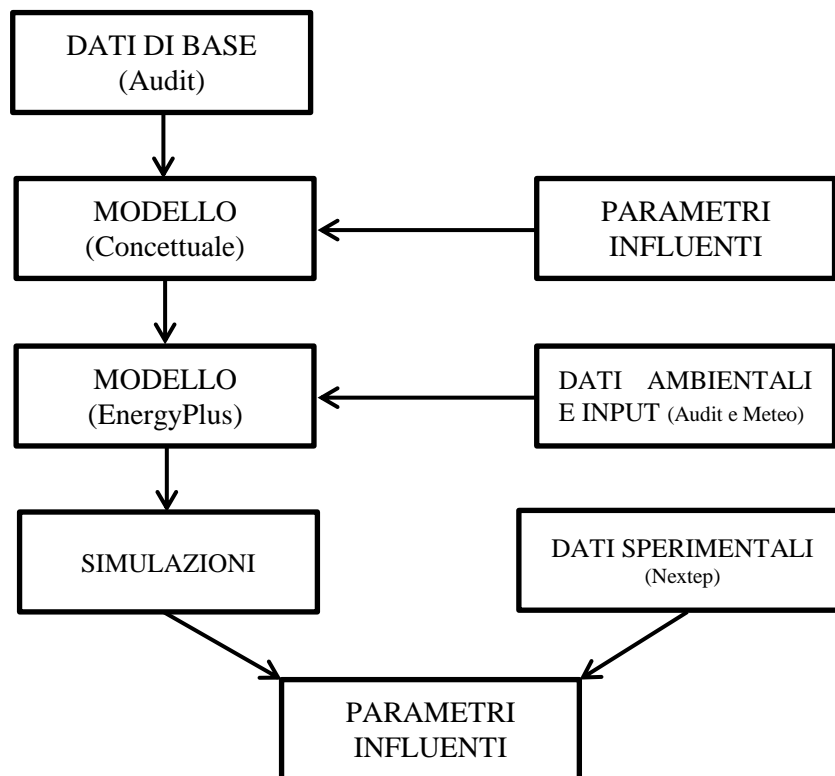


Figura 6.62: Flow chart analisi modelli.

Come regola generale, quando si verifica una scarsa corrispondenza tra dati simulati e dati misurati, la struttura del modello dovrebbe essere l'ultima ad essere considerata responsabile per il risultato ottenuto. Le possibili ragioni per la mancata corrispondenza tra dati simulati e misurati possono essere diverse e spesso concomitanti nel determinare gli esiti delle

simulazioni. Di seguito si cerca di schematizzare le operazioni che vanno dai dati che sono alla base del modello sino agli studi di validazione, nei quali viene controllata la corrispondenza tra valori simulati dal modello e valori misurati in prove sperimentali.

6.2.5.2 Differenza tra dati simulati e misurati sperimentalmente

Dall'esame di dati provenienti da uno o più analisi sperimentali condotte vengono formulate le teorie che costituiscono il modello e che definiscono i parametri necessari per la quantificazione dei processi. Scelte una o più prove sperimentali i cui risultati si vogliono confrontare con le stime del modello, vengono forniti in input al modello stesso i dati che descrivono le condizioni in cui sono svolte le prove: dati climatici, dati relativi occupazione, valori dei carichi elettrici e termici [122].

Con questi dati in input si eseguono le simulazioni i cui risultati sono confrontati con i dati misurati nelle prove sperimentali. Frequentemente i dati simulati non coincidano con i dati misurati. Si possono desumere cinque tipi di errori che possono essere alla base delle discordanze osservate. Questi errori sono:

1. Modello inadeguato;
2. Modello non calibrato;
3. Errori nell'elaborazione dei dati del modello;
4. Errori negli input;
5. Errori nei risultati sperimentali.

Benché questi errori possano egualmente incidere sugli esiti negativi di uno studio di validazione, è molto frequente che la causa della mancata concordanza tra dati stimati e misurati sia attribuita al punto 1 e 2. Vengono di seguito indicati le azioni possibili per individuare e cercare di ridurre l'influenza degli errori citati.

Per poter esprimere effettivamente un parere sull'inadeguatezza del modello, dobbiamo preliminarmente verificare se:

- Nel modello sono inclusi tutti i processi significativi;
- I processi sono modellati correttamente.
- L'intervallo di variazione dei dati che sono stati utilizzati per definire i modelli di processo era sufficientemente ampio.

È necessario effettuare una calibrazione prima di poter fare un uso applicativo del modello, in quanto non esiste un modello universale che possa essere utilizzato in qualsiasi combinazione di parametro influente (occupazione, set-pint temperatura, profili di utilizzo delle apparecchiature; etc.). Nella calibrazione si possono variare i parametri entro l'intervallo di variazione noto per ciascuno di essi. Far assumere ai parametri valori al di fuori dell'intervallo noto, degrada il modello al livello dei modelli regressivi di tipo statistico [140]. I modelli, anche se costruiti rappresentando i processi reali, hanno comunque una base di empirismo che può rendere necessario un aggiustamento di parametri per rappresentare effettivamente il sistema in studio. Inoltre, talvolta la variabile indipendente usata come regressore in un submodello (es di submodello: HVAC) è variabile surrogata di altre non indipendenti tra di loro, il che rende il submodello stesso tanto più instabile quanto maggiore è la correlazione tra le variabili che sono surrogate nel regressore [140].

Per cercare di risolvere i problemi legati agli errori presenti nelle prime versioni dei programmi di elaborazione dati, che in genere vengono individuate ed eliminate con l'uso del modello, sono:

- Verificare se i risultati delle simulazioni rientrano nella realtà indagata;
- Provare il modello con un input molto variabile. Un modello che produce simulazioni verosimili con un data set in input può produrre risultati totalmente inaccettabili con un altro, il che porta a sospettare un errore nella codifica.

Per esempio, bisogna evitare l'uso di file di dati meteorologici senza aver prima prodotto dei grafici delle variabili verso il tempo, controllando andamenti ed eventuali anomalie rispetto alla norma. Il fatto che i dati siano stati raccolti da una stazione automatizzata non garantisce dall'assenza di errori anche macroscopici, così come il fatto che i dati vi siano stati forniti da esperti nel settore non garantisce sulla loro qualità. Nei dati utilizzati come input possono comunque esserci errori di microscala, per esempio quando si usino dati di una stazione meteorologica anche non molto distante dal sito nel quale sono stati condotti gli esperimenti, ma che però non è rappresentativa del clima nella località in studio [120].

I dati sperimentali misurati possono essere affetti da errore. Se da un lato considerare un intervallo fiduciario per i dati sperimentali porterebbe troppo spesso alla conclusione che il

modello comunque è adeguato, dall'altro il considerare le medie dei dati misurati come se fossero le medie della popolazione in luogo di considerarle come stime delle medie conduce praticamente sempre alla valutazione che il modello ha capacità previsionali nulle. Non esiste via per valutare oggettivamente un modello, quale che sia l'impegno posto nel farlo; nei prossimi paragrafi vengono presentati alcuni criteri numerici per confrontare i modelli. In questo paragrafo si è solo voluto sottolineare che non si può operare, realizzando modelli e confronti, come se i dati sperimentali fossero esenti da errore.

6.2.5.3 Grafico valori stimati

Una rappresentazione grafica molto efficace della concordanza tra dati simulati e dati misurati è data dai grafici di tipo valori stimati vs. dati misurati. In questi grafici è possibile valutare la dispersione dei dati intorno alla retta identità, essendo i dati al di sopra di questa retta sovrastime del modello ed essendo i dati al di sotto della retta sottostime. Possono quindi essere individuati trend particolari in rapporto alla variabile in studio o può essere individuato un intervallo di valori nel quale le capacità previsionali del modello possono essere scarse o insufficienti. In questo tipo di grafico il confronto tra dati simulati e misurati è talvolta presentato in modo non corretto e da ciò ne consegue una valutazione errata sulle capacità previsionali del modello del modello. Ciò accade quando vengono presentati gruppi di dati diversi sia come origine, sia come intervallo di variazione. I dati individuati da un valore simulato e uno misurato tendono a collocarsi sulla retta identità, tanto che spesso vengono calcolati i parametri della retta stimati vs. misurati. La pendenza è spesso vicina ad uno (se la calibrazione del modello è stata effettuata correttamente) e l' R^2 (coefficiente di determinazione) assume valori elevati (benché ciò possa non avere rilevanza in assoluto).

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = 1 - \frac{RSS}{TSS} \quad (6.15)$$

Dove:

- $ESS = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ è la somma dei quadrati degli scarti dalla media, è un indice di dispersione dei dati (devianza);
- $TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ è la devianza totale;
- $RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ è la devianza residua.

Dove:

- y_i sono i dati osservati;
- \bar{y} è la loro media;
- \hat{y}_i sono i dati stimati dal modello ottenuto dalla regressione.

Il coefficiente di determinazione R^2 varia tra 0 ed 1: quando è 0 il modello utilizzato non spiega per nulla i dati; quando è 1 il modello spiega perfettamente i dati.

6.2.5.4 Il grafico valori stimati e misurati vs. il tempo

Un ulteriore metodo per confrontare graficamente gli esiti delle simulazioni con i dati misurati è dato dai grafici in cui sono riportati i valori simulati e misurati della variabile sotto esame in ordinata e il tempo, generalmente espresso in giorni, in ascissa. Dal momento che l'intervallo d'integrazione nei modelli è in genere piuttosto breve, l'output del modello contiene una serie continua di dati che viene rappresentata con una linea; viceversa, essendo i dati misurati molti di meno, essi vengono rappresentati come punti. Questi grafici permettono di valutare la presenza di eventuali "effetti deriva" nelle simulazioni e, se la scala è sufficientemente ampia, eventuali effetti stagionali. Nella valutazione di modelli dinamici è pertanto opportuno rappresentare il confronto tra dati simulati e misurati anche rispetto al tempo. Anche in questi grafici sarebbe opportuno indicare la dispersione dei dati osservati intorno alla media [141].

6.2.5.5 Indici numerici per la valutazione della calibrazione dei modelli

Gli indici numerici per la valutazione di modelli appartengono essenzialmente a due categorie: quelli che misurano la correlazione tra i valori osservati e valori stimati ($Q_{mis,i}$ e $Q_{sim,i}$) e quelli che misurano la differenza tra i due valori. Il calcolo di un indice quantitativo di associazione, covariazione o correlazione tra un valore stimato ed uno osservato può assumere una quantità di forme; tuttavia, l'indice usato quasi esclusivamente è il coefficiente di correlazione di Pearson (r^2) o il suo quadrato. Willmott [142] obietta sull'uso di questo coefficiente in quanto esso non è coerentemente legato all'accuratezza delle previsioni, dove per accuratezza delle previsioni si intende la misura con cui le previsioni si avvicinano al dato osservato. Sempre Willmott [143] ha dimostrato che insiemi di dati stimati vs. osservati assai diversi possono tutti raggiungere valori del coefficiente di correlazione di

Pearson prossimi ad 1; inoltre, diversi lavori di comparazione tra modelli illustrano come questi coefficienti non siano validi per confrontare le capacità previsionali di modelli. Accade inoltre che differenze modeste tra $Q_{mis,i}$ e $Q_{sim,i}$ diano luogo a valori molto bassi o negativi del coefficiente di correlazione di Pearson. In conclusione, l'uso di r o r^2 non sembra appropriato nel valutare le capacità previsionali di modelli di simulazione.

Fox [144] indica diversi indici per la valutazione delle capacità previsionali dei modelli e tra questi individua come più importanti la deviazione standard (RMSE: Root Mean Squared Error) e l'errore assoluto medio (MAE: Mean Absolute Error). Kreider and Haberl [145], [146]. Anche l'MBE (Mean Bias Error) risulta un indice importante per la taratura dei modelli BES, ma ha lo svantaggio che se gli errori sono grandi, può portare a un valore nullo [73]. Questi indici sono calcolati come:

$$MBE (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{mis,i} - Q_{sim,i})}{n} * \frac{100}{Q_{mis}} \quad (6.16)$$

Minimizzare l'MBE è molto importante se si vuole utilizzare la baseline del modello calibrato per valutare i risparmi conseguibili da azioni di retrofit [147].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{mis,i} - Q_{sim,i})^2}{n}} \quad (6.17)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{mis,i} - Q_{sim,i}|}{n} \quad (6.18)$$

L'importanza di questi due indici è legata al fatto che essi riassumono in essi la differenza tra $Q_{mis,i}$ e $Q_{sim,i}$. Il MAE è meno sensibile a valori estremi di quanto non sia RMSE. Talvolta RMSE è riportato come misura relativa, dividendo RMSE per la media dei $Q_{data,i}$; questo è il modo con cui lo propongono Loague e Green [140] indicandolo ancora come CV(RMSE) (Coefficient of Variation of Root Mean Square Error) anche se è più propriamente un coefficiente di variabilità:

$$CV(RMSE)(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{mis,i} - Q_{sim,i})^2}{n}} * \frac{100}{\overline{Q_{mis}}} \quad (6.19)$$

Dove:

$Q_{sim,i}$ = valori simulati durante il periodo di riferimento i;

$Q_{mis,i}$ = valori misurati durante il periodo di riferimento i;

$\overline{Q_{mis}}$ = valori medi misurati durante il periodo di riferimento i;

Waltz [148] ritiene che una differenza massima del 5% tra il dato di consumo di energia registrato e quello calcolato sia un obiettivo realistico per la calibrazione del modello BES. Le tre norme che si occupano della calibrazione dei modelli e importanti articoli scientifici [67], indicano come il CV(RMSE) e l'MBE gli indici maggiormente significativi per la calibrazione dei modelli BES considerando i dati di consumo energetico. I valori proposti da ASHRAE indirizzo 14-2002 e FEMP sono gli stessi, ma molto diverso da quelli proposti da IPMVP.

Tabella 6.9: Errori accettati per la calibrazione di modelli energetici.

(Fonte: ASHRAE Guideline 14-2002 [12], M&V Guidelines FEMP [69] e il Protocollo IPMVP [14]).

Indice	ASHRAE 14 (%)	IPMVP (%)	FEMP (%)
MBE _{mese}	±5	±20	±15
MBE _{anno}	-	-	±10
CV (RMSE _{mese})	±15	±5	±10

Kaplan [122] ha proposto differenti set di tolleranza a seconda degli usi energetici presenti nell'edificio oggetto di analisi (luci, condizionamento, riscaldamento, fan-coil, etc.), e a seconda del periodo di calibrazione (baseload) considerato.

Tabella 6.10: Tolleranze per gli usi finali di energia (Fonte: Kaplan [122]).

End-Use	Tuning Period Weather Type	Monthly End-Use Tolerances	Daytype Profile Tolerances
INT. LIGHT	ALL	± 5%	± 15%
EXT. LIGHT	ALL	± 5%	± 15%
DHW	ALL	± 5%	± 15%
RECEPTACLES	ALL	± 5%	± 15%
HEATING	COLD	± 15%	± 25%
HEATING	TEMPERATE	± 25%	± 35%
COOLING	HOT	± 15%	± 25%
COOLING	TEMPERATE	± 25%	± 35%
FANS	HOT, COLD	± 15%	± 25%
FANS	TEMPERATE	± 25%	± 35%
BLDG TOTAL	ALL	± 10%	± 15%

Wilmott [149] sostiene però che il rapportare l'RMSE alla media dei dati osservati è in generale assai discutibile, in quanto l'indice è instabile in conseguenza del fatto che il valore osservato può assumere valori prossimi allo 0. Per contro, rapportare l'errore alla media consente di confrontare le capacità previsionali di un modello rispetto a variabili i cui ordini di grandezza sono diversi. Loague e Green [140] propongono, fra gli altri, due indici che appaiono estremamente utili: l'efficienza della modellazione (EF) e il coefficiente di massa residua (CRM). Questi due indici sono calcolati secondo le seguenti formule:

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6.20)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (6.21)$$

Il valore ottimale per EF è 1; valori maggiori di 0 indicano che le stime del modello sono migliori della media delle osservazioni, mentre valori negativi ci informano che la media delle osservazioni è perdite migliore del modello. Il valore ottimale di CRM è invece 0; valori positivi ci informano che il modello tende a sottostimare i dati misurati, mentre valori negativi indicano il contrario. In conclusione, per valutare la calibrazione dei modelli proposti nel presente elaborato, s'è fatto riferimento al CV(RMSE) e ai valori limiti indicati nella ASHRAE Guideline 14-2002 [12].

6.2.5.6 La validazione del modello

Il metodo della firma energetica fa riferimento alla regressione statistica che è basata sull'esistenza degli errori di misura, cioè sul fatto che il risultato di una misura è descritto da una parte deterministica (legge fisica) e da una parte casuale (statistica) definita errore.

L'approssimazione ai minimi quadrati è una tecnica di ottimizzazione volta a determinare una funzione analitica che approssimi un insieme di dati senza necessariamente passare per i dati stessi (interpolazione), o meglio che si avvicini il più possibile ad un'interpolazione di un insieme di dati (tipicamente punti del piano). Infatti, se i dati provengono da misure sperimentali e sono quindi affetti da errore oppure se non sono molto precisi allora è

opportuno approssimare ai minimi quadrati anziché interpolare. In particolare la funzione trovata deve essere quella che minimizza la somma dei quadrati delle distanze dai punti [150].

Si abbiano a disposizione N misure x_1, x_2, \dots, x_N e le corrispondenti N misure y_1, y_2, \dots, y_N . A causa dell'inevitabile verificarsi di errori di misura, i punti (x_i, y_i) non si disporranno esattamente sulla relazione prevista tra le due grandezze fisiche, ma cadranno in prossimità alla retta che la descrive. L'obiettivo è quello di trovare la retta che meglio si adatta alle misure, cioè in pratica trovare la miglior stima per le costanti m e q utilizzando le N coppie di dati a disposizione (x_i, y_i)

$$y = mx + q \quad (6.22)$$

Il metodo dei minimi quadrati consente quindi di determinare, una volta fissata la natura della funzione deterministica, i parametri della funzione che minimizzano la parte statistica. È chiaro come la minimizzazione dell'errore possa essere compiuta efficacemente aumentando il grado di complessità della funzione. In particolare, è ovvio come dati N dati sperimentali, questi sono perfettamente descritti da un polinomio di grado N .

La scelta della funzione però non può essere arbitraria, in quanto spetta alla descrizione fisica del fenomeno decidere il tipo di relazione che lega le grandezze oggetto del problema. La scelta della funzione di regressione non può essere orientata alla minimizzazione dell'errore in quanto l'errore diminuisce aumentando il numero di parametri da stimare, e quindi il grado di complessità della funzione. Il criterio con il quale si possono confrontare differenti funzioni è quello della stima (predizione) di dati non utilizzati durante la fase di calibrazione. In pratica, il data set di calibrazione viene diviso in due porzioni, una per la calibrazione, cioè la stima dei parametri, e l'altra per la validazione cioè per la misura della capacità di predizione del modello stimato. Ad esempio consideriamo il set di dati di seguito rappresentati nel piano x - y .

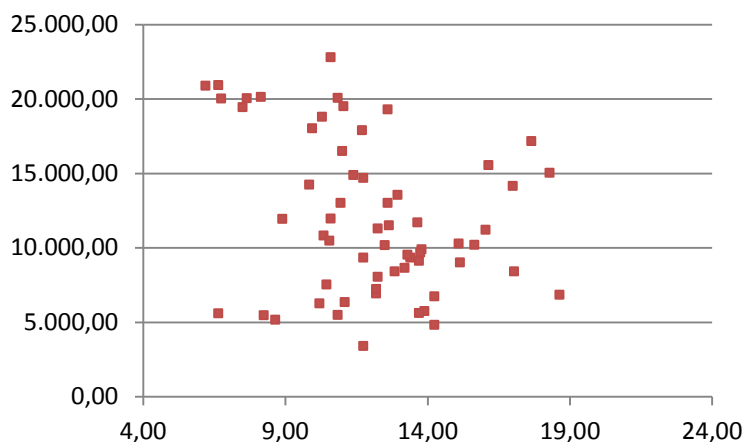


Figura 6.63: Distribuzione set di valori sul piano cartesiano.

Volendo trovare la relazione deterministica che lega le due sequenze di dati (x, y) supponendo che la relazione tra y e x si a $y=f(x)+e$. Dove $f(x)$ è la parte deterministica ed e l'errore, si possono considerare tre tipi di funzioni possibili: una funzione lineare, una moderatamente non lineare, ed una altamente non lineare (un polinomio di grado 6).

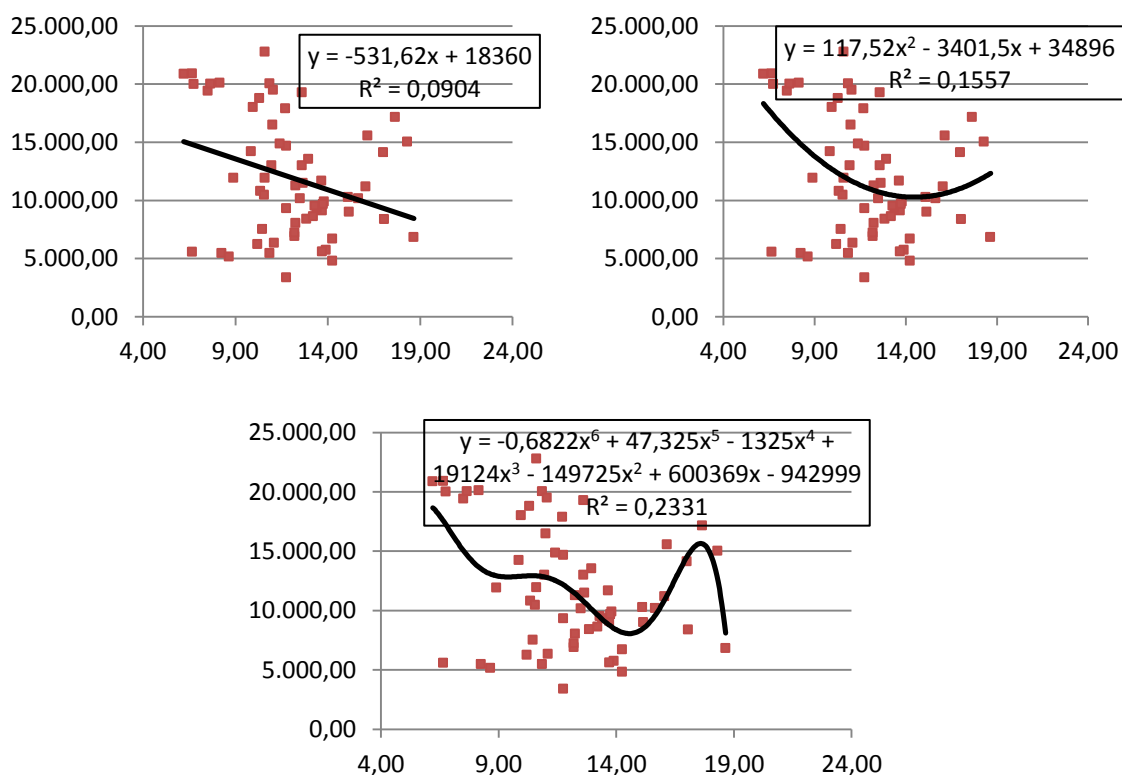


Figura 6.64: Differenti polinomi di regressione.

Ovviamente la terza scelta è quella che rende minimo l’errore di calibrazione, in pratica nella funzione che descrive i dati diminuisce in modo significativo il termine statistico e.

Nel metodo della validazione si tolgono dall’insieme di calibrazione alcuni dati che vengono utilizzati successivamente per misurare la capacità del modello sviluppato di predire il valore vero della variabile y conoscendo la variabile x . È quindi necessario definire alcune quantità che rendono possibile la misura della capacità di predizione [150].

Nel seguente capitolo si procederà come sopra suggerito, andando a selezionare due porzioni di valori misurati, una per la calibrazione, cioè la stima dei parametri correttivi da applicare al modello, e l’altra per la validazione cioè per la misura della capacità di predizione del modello stimato.

Capitolo 7: Calibrazione e Validazione del Modello COM

7.1 Introduzione

In questo capitolo viene presentata e applicata la metodologia di calibrazione del “Modello COM”. La procedura viene realizzata avvalendosi degli strumenti precedentemente illustrati (Cfr. Capitolo 6:), avvalendosi come strumento di confronto della firma energetica, reale e virtuale, come mezzo di immediata lettura e interpretazione delle anomalie. La metodologia proposta ha sviluppato precedentemente i seguenti passaggi:

1. Audit Energetico approfondito per realizzare il modello concettuale dell’edificio, descritto nel paragrafo 6.2.1;
2. Modello dettagliato di simulazione in regime dinamico, realizzato tramite il software EnergyPlus, del sistema edificio-impianto, costruito a partire dai dati raccolti in fase di

Audit e dalle relazioni “as built”, descritto nel paragrafo 6.2.3 e successiva creazione della firma energetica del “Modello Base” (Cfr. paragrafo 6.2.4.5);

3. Analisi della “Firma Energetica Reale”, strumento interpretativo del comportamento del sistema edificio-impianto basato sui consumi e sui dati ambientali monitorati tramite Nextep, descritta nel paragrafo 6.2.4;

Nel presente capitolo si illustrano i successivi passaggi volti alla calibrazione e validazione del “Modello COM”:

4. Confronto e analisi delle firme energetiche precedentemente costruite tramite gli strumenti per valutare la calibrazione dei modelli energetici, illustrata nel paragrafo 6.2.5.5;
5. Costruzione del “Manuale Firma Energetica - Parametri Incogniti” per calibrare il modello facendo rientrare lo scostamento tra la firma energetica “Modello Base” e la “Firma Energetica Reale”, nei valori indicati nei principali manuali inerenti la modellazione di edifici in regime dinamico;
6. Calibrazione tramite l’applicazione delle correzioni evidenziate dal Manuale e validazione del Modello COM.

La metodologia proposta, prevede di realizzare un confronto, tramite la firma energetica, tra i valori misurati e quelli simulati, con le stesse condizioni meteo al contorno, utilizzando come baseline i valori dell’anno 2012. Come dimostrato in letteratura [98], la calibrazione risulta più affidabile quando le fluttuazioni del clima esterno sono particolarmente ampie e per periodi brevi (2-3 mesi), utilizzando i rimanenti dati misurati per validare il modello precedentemente calibrato. Partendo da tali considerazioni l’analisi proposta prevede di dividere in due set i valori misurati, considerando due periodi dell’anno 2012, con le seguenti specificità:

1. Febbraio, Marzo e Aprile – saranno i mesi su cui si realizzerà il confronto tra la firma energetica reale e quella realizzata a partire dai dati estrapolati dal Modello Base (Cfr. paragrafo 6.2.4.5), per calibrare il modello;
2. Settembre, ottobre e Novembre – saranno i set di dati in cui si validerà il modello.

Dopo aver analizzato la “Firma Energetica Reale” e quella del “Modello Base” (Cfr. paragrafo 6.2.4), considerando anche le indicazioni provenienti dalla letteratura [137], si è definito il time-step di misura settimanale (media dei valori settimanali), come miglior periodo di monitoraggio per rappresentare le specificità della realtà indagata. I motivi di tale decisione risiedono nel fatto che un periodo settimanale è molto vicino ai cicli di variazione climatica e la durata è sufficiente a mediare i transitori. Considerando la media dei valori settimanali si comprende nell’analisi anche l’effetto dell’eventuale ciclicità tipicamente settimanale nell’uso dell’edificio. Il coefficiente di determinazione R^2 della firma energetica con dati medi settimanali, tende a 1, indicando che il modello spiega perfettamente i dati processati.

La calibrazione viene considerata raggiunta quando gli indici illustrati precedentemente (Cfr. paragrafo 6.2.5.5), rispettano i seguenti valori proposti in letteratura:

*Tabella 7.1: Errori accettati per la calibrazione di modelli energetici.
(Fonte: ASHRAE Guideline 14-2002 [12], M&V Guidelines FEMP [69] e il Protocollo IPMVP [14]).*

Indice	ASHRAE 14 (%)	IPMVP (%)	FEMP (%)
MBE _{mese}	±5	±20	±15
MBE _{anno}	-	-	±10
CV (RMSE _{mese})	±15	±5	±10

7.2 Confronto firma energetica reale - firma modello base

Vengono ora presentate la “Firma Energetica Reale” e la “Firma Modello Base” costruite con i dati di consumo termici, riferite al periodo di confronto febbraio, marzo e aprile 2012.

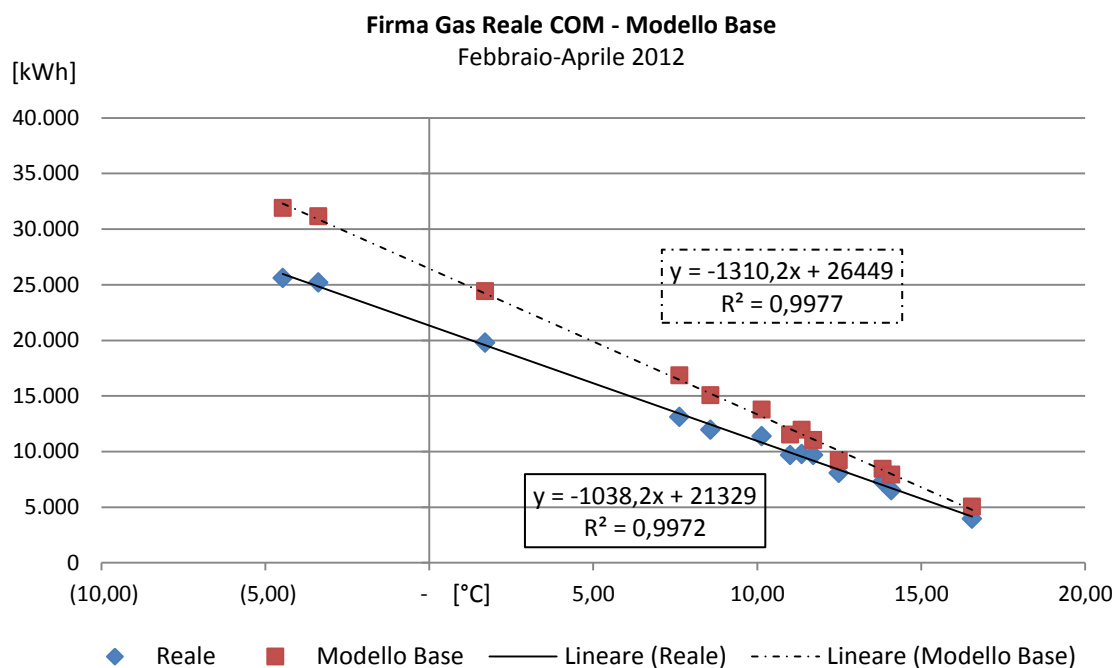


Figura 7.1: Confronto tra la Firma Energetica Reale e la Firma Energetica “Modello Base”.

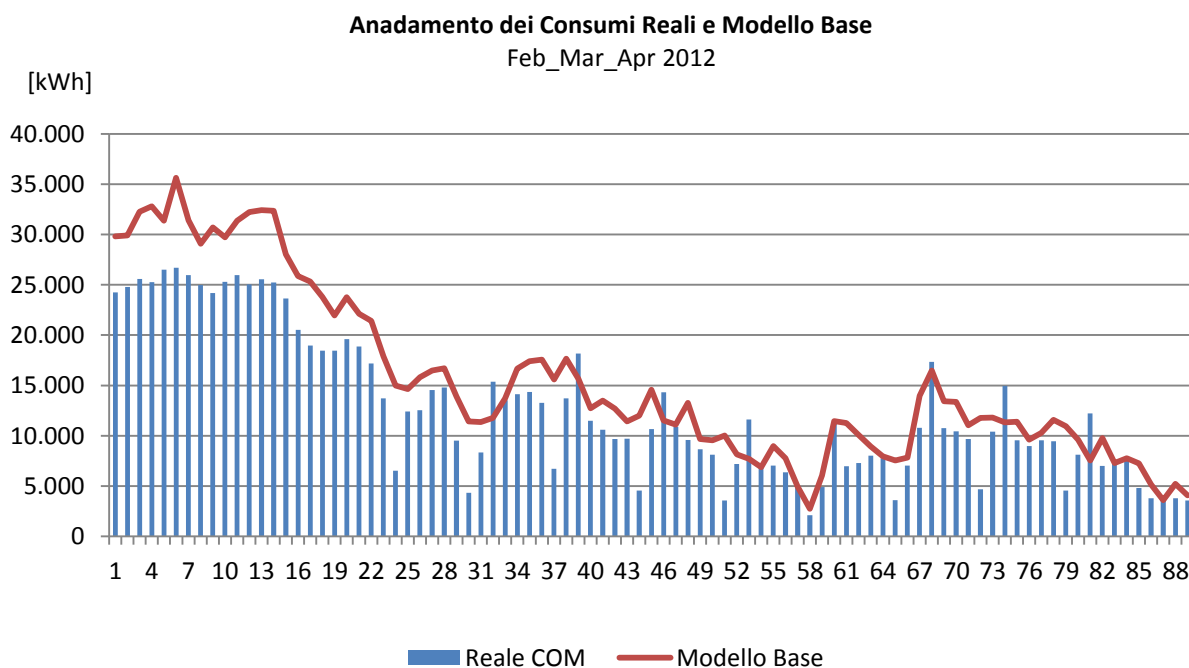


Figura 7.2: Andamento dei consumi reali e simulati rispetto al tempo.

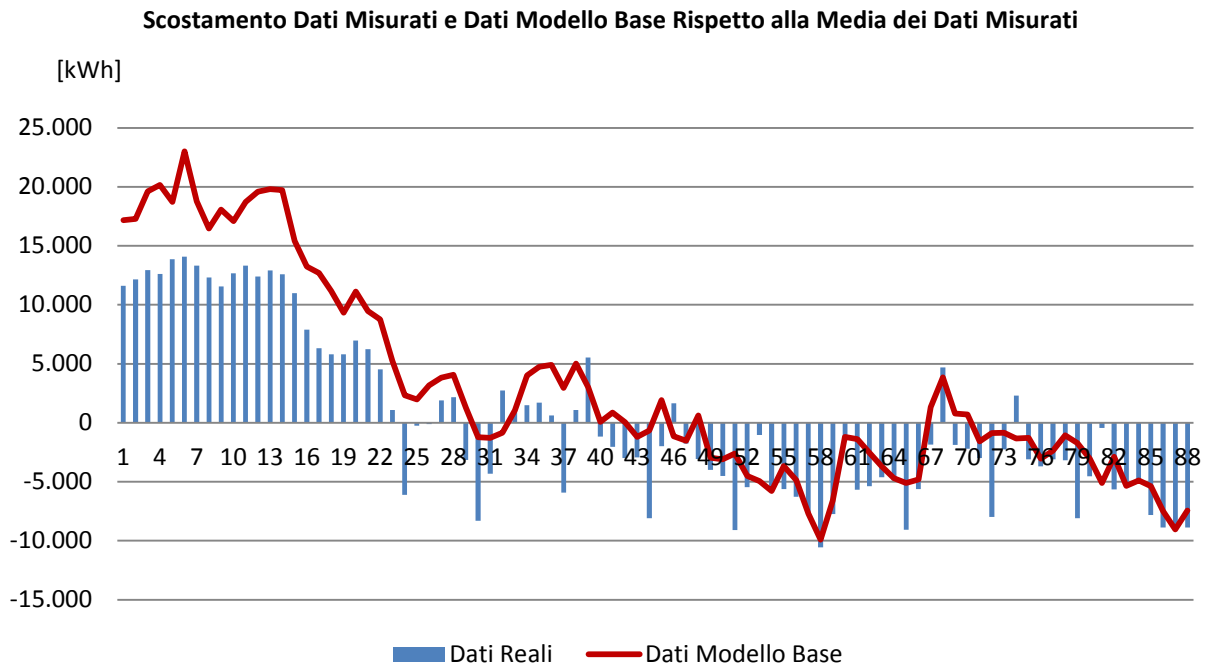


Figura 7.3: Andamento dello scostamento dei dati reali e simulati rispetto al valore medio reale.

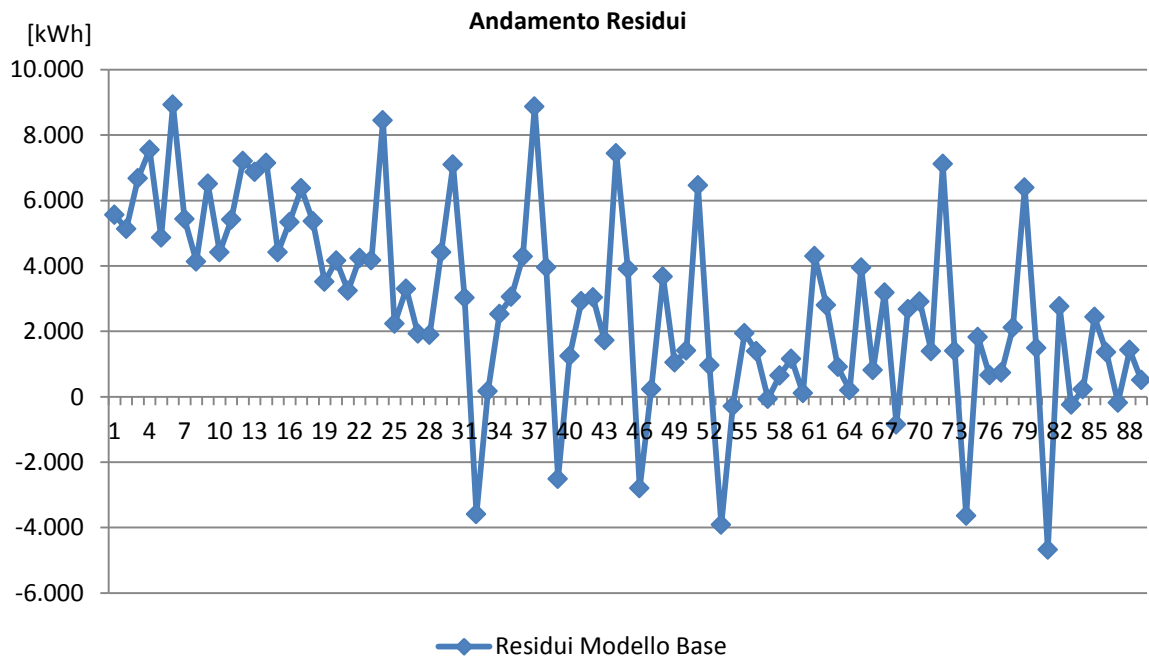


Figura 7.4: Andamento dei residui rispetto al tempo.

Tramite l'analisi degli indici di valutazione della calibrazione, si verifica la relazione del Modello Base con i dati reali misurati.

Tabella 7.2: Confronto tra errore Modello Base e Valori Accettati.

Indice	Modello Base	ASHRAE 14 (%)	IPMVP (%)	FEMP (%)
MBE _{mese}	22,40	±5	±20	±15
CV(RMSE _{mese})	32,23	±15	±5	±10

Il Modello Base non risulta essere calibrato per ogni valore fornito dai manuali presi a riferimento, pertanto bisogna intervenire sul modello per verificare i parametri e corregger i valori di input errati, così da ottenere un modello il più simile al sistema edificio-impianto.

Per quanto riguarda la firma energetica elettrica, possiamo notare, dal grafico sotto riportato, che lo scostamento tra la firma annua simulata e quella reale è visivamente modesto. Possiamo ritenere il “Modello Base” sia calibrato, sull’anno 2012, dal punto di vista elettrico. Infatti il COM, come evidenziato precedentemente dalle elaborazione ricavate dal software di monitoraggio, presenta consumi elettrici costante per tutto l’anno.

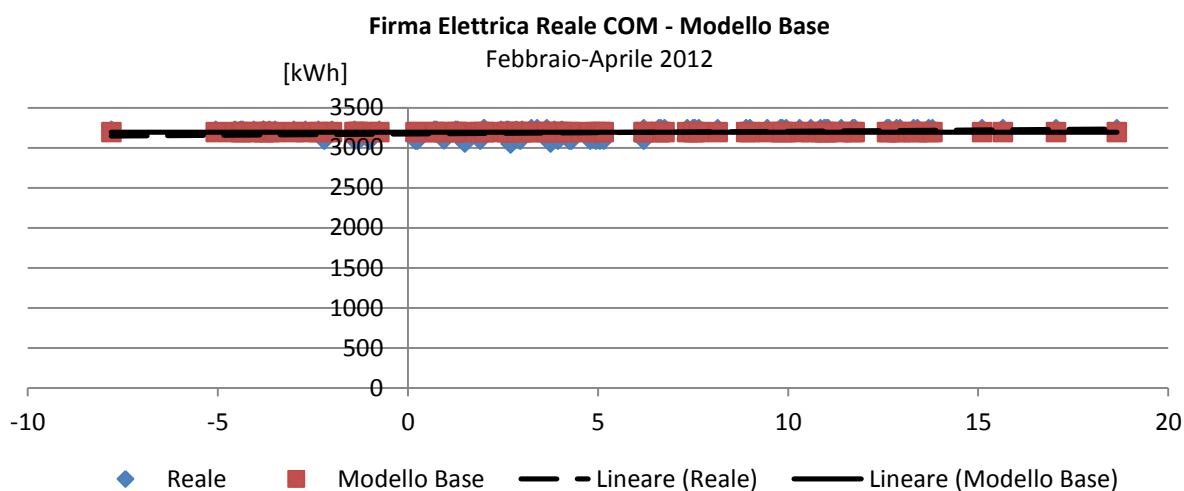


Figura 7.5: Confronto tra la Firma Energetica Reale e la Firma Energetica “Modello Base”.

Tabella 7.3: Confronto tra errore Modello Base e Valori Accettati.

Indice	Modello Base	ASHRAE 14 (%)	IPMVP (%)	FEMP (%)
MBE _{mese}	2,85	±5	±20	±15
CV(RMSE _{mese})	1,77	±15	±5	±10

Il Modello Base si può considerare calibrato, di seguito verrà presa in considerazione la sola firma energetica gas.

7.3 Calibrazione del modello

Sono stati precedentemente definiti parametri “doppi” (Cfr. paragrafo 6.2.3.4), tutti i valori inseriti nel software di simulazione a software di cui non si ha la certezza del valore. Durante la raccolta dati e l’audit energetico, non è stato possibile ricavare i valori precisi di alcuni parametri fondamentali per la modellazione. Questi valori, per la tipologia di struttura indagata, risultano di difficile determinazione e verifica, se non dopo aver eseguito specifiche prove e opportuni rilievi in campo. Per l’edificio da noi analizzato tali parametri risultano essere:

Tabella 7.4: Parametri “incogniti” del modello COM.

PARAMETRI INCOGNITI MODELLO COM		
Parametro	Valore Modello Base	Causa Incertezza
Set-Point Riscaldamento	23 °C	Dato non omogeneo
Infiltrazioni	0,5 vol/ora	Stimato da normativa
Apporti Interni	5 W/mq	Dato non omogeneo
Trasmittanza Pareti Ext.	0,36 w/m ² K	Parete ventilata
Trasmittanza Vetro	2,665 w/m ² K	Dato da legge 10/91

La metodologia di calibrazione propone di far variare i “parametri incogniti”, rispetto al dato, maggiormente attendibile, fino al 50% in positivo e in negativo per valutare la variazione della firma della energetica nelle sue componenti m e q.

Firma energetica che, come già mostrato, è descritta con la relazione $y = mx + q$, che ha rilevanza per il significato assunto dai coefficienti m e q così definiti:

- m è detto coefficiente angolare della retta e misura la sua inclinazione rispetto all’asse x; più precisamente, si ha $m = \tan \alpha$ dove α è l’angolo antiorario che la retta forma con il semiasse positivo delle ascisse;
- q è detto ordinata all’origine e coincide con l’ordinata del punto in cui la retta interseca l’asse x.

Pertanto dopo aver calcolato i coefficienti m e q per ogni firma del manuale ottenuta dalla simulazione, si confronta la Firma Modello Base con La Firma Reale individuando le correzioni da apportare a modello per far si che si ottenga la calibrazione.

7.3.1 Analisi dei “parametri incogniti”

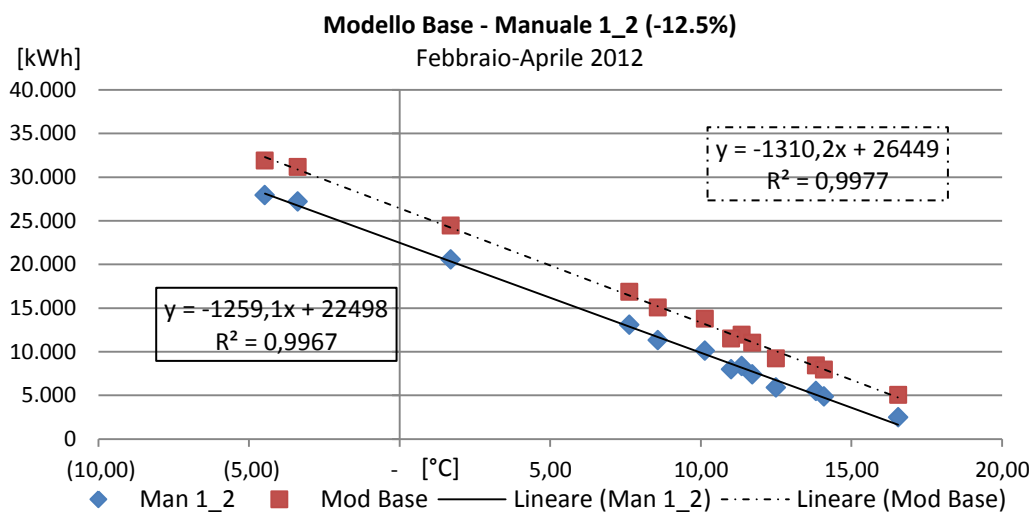
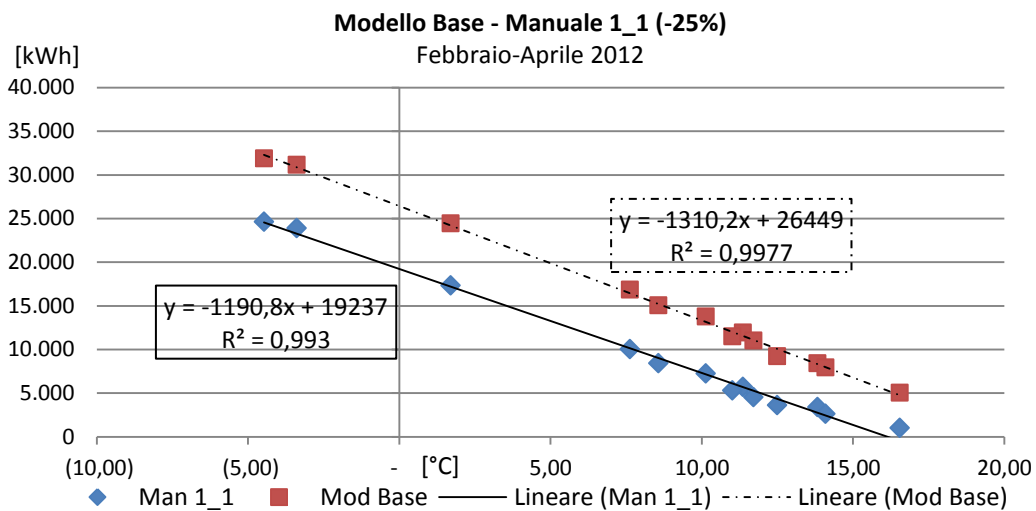
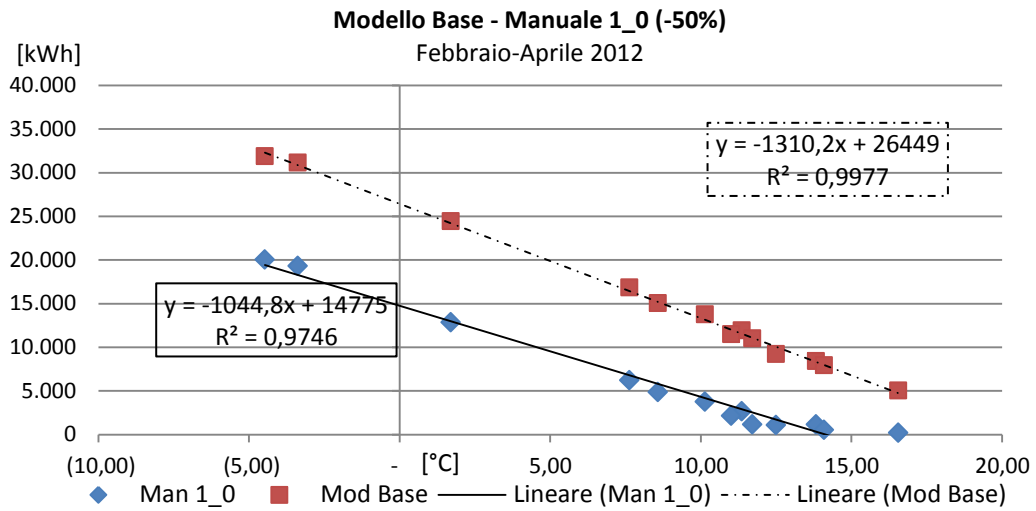
I parametri “incogniti, vengono fatti variare come illustrato nella tabella seguente.

Tabella 7.5: Variazione dei parametri “incogniti” del Modello Base.

Modello Base	Set.Point. Risc. [°C]	Modello Base	Infiltrazio ni [vol/ora]	Modello Base	Apporti Int [W/mq]	Modello Base	U Pareti Ext [W/m2K]	Modello Base	U Vetro [W/m2K]
	23,000		0,500		5,000		0,360		2,665
Man 1_0	ModBase -50%	Man 2_0	ModBase -50%	Man 3_0	ModBase -50%	Man 4_0	ModBase -50%	Man 5_0	ModBase -50%
	11,500		0,250		2,500		0,180		1,333
Man 1_1	ModBase -25%	Man 2_1	ModBase -25%	Man 3_1	ModBase -25%	Man 4_1	ModBase -25%	Man 5_1	ModBase -25%
	17,250		0,375		3,750		0,270		1,999
Man 1_2	ModBase -12,5%	Man 2_2	ModBase -12,5%	Man 3_2	ModBase -12,5%	Man 4_2	ModBase -12,5%	Man 5_2	ModBase -12,5%
	20,125		0,438		4,375		0,315		2,332
Man 1_3	ModBase +12,5%	Man 2_3	ModBase +12,5%	Man 3_3	ModBase +12,5%	Man 4_3	ModBase +12,5%	Man 5_3	ModBase +12,5%
	25,875		0,563		5,625		0,405		2,998
Man 1_4	ModBase +25%	Man 2_4	ModBase +25%	Man 3_4	ModBase +25%	Man 4_4	ModBase +25%	Man 5_4	ModBase +25%
	28,750		0,625		6,250		0,450		3,331
Man 1_5	ModBase +50%	Man 2_5	ModBase +50%	Man 3_5	ModBase +50%	Man 4_5	ModBase +50%	Man 5_5	ModBase +50%
	34,500		0,750		7,500		0,540		3,998

7.3.2 Manuale di calibrazione

7.3.2.1 Manuale 1 – Set-Point riscaldamento



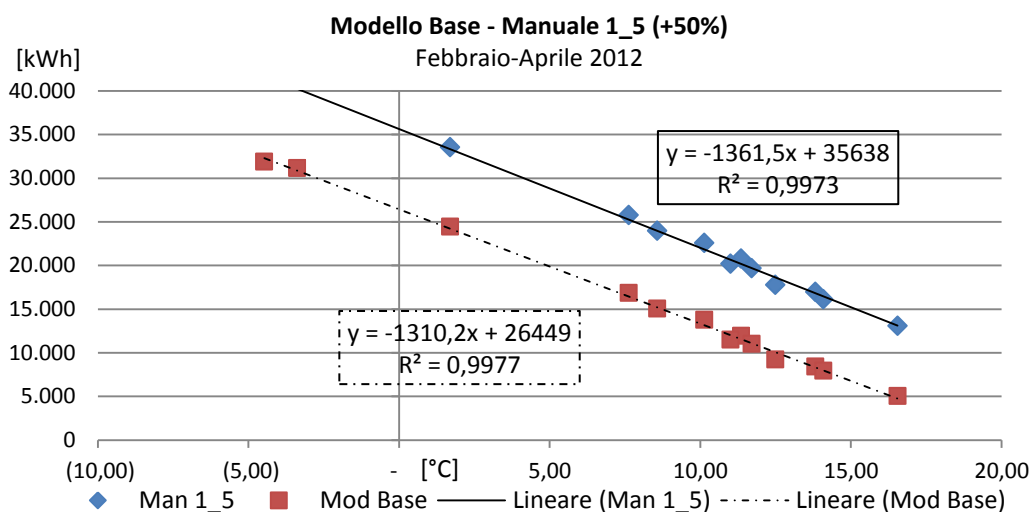
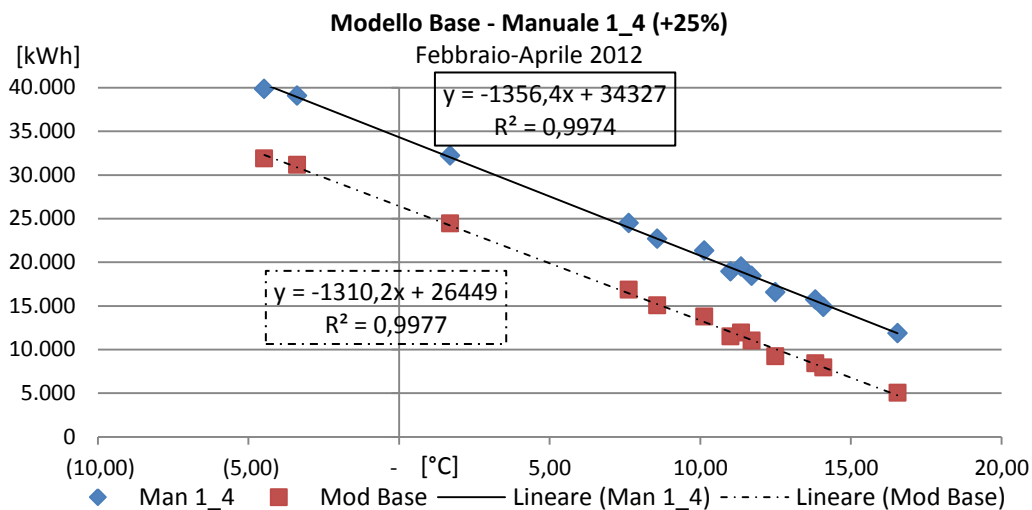
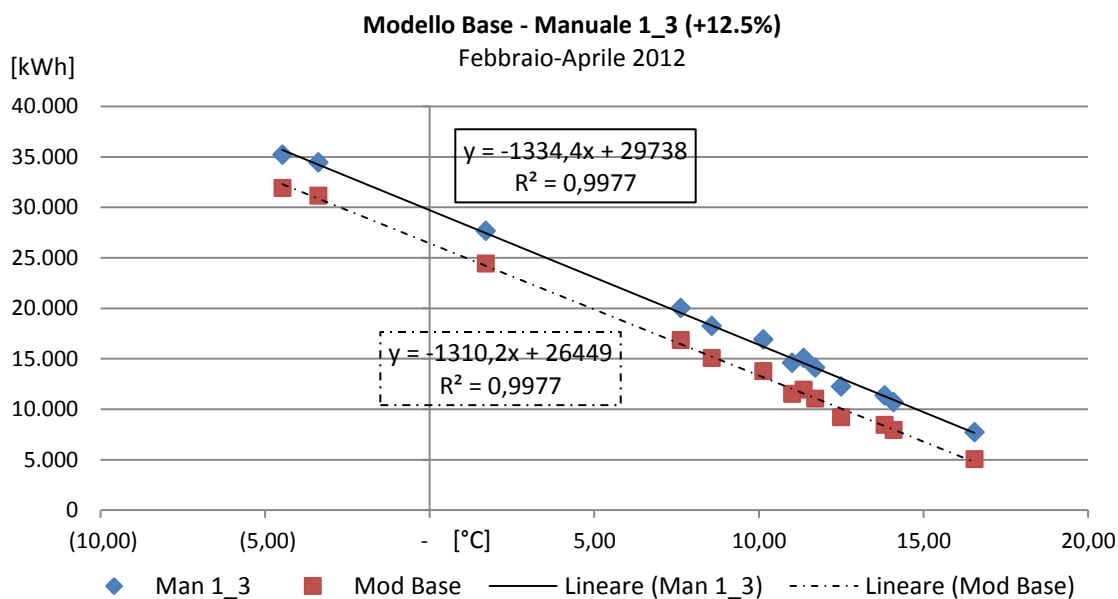


Figura 7.6: Firms Energetiche Manuale 1 – Variazione valore di set-pointi riscaldamento.

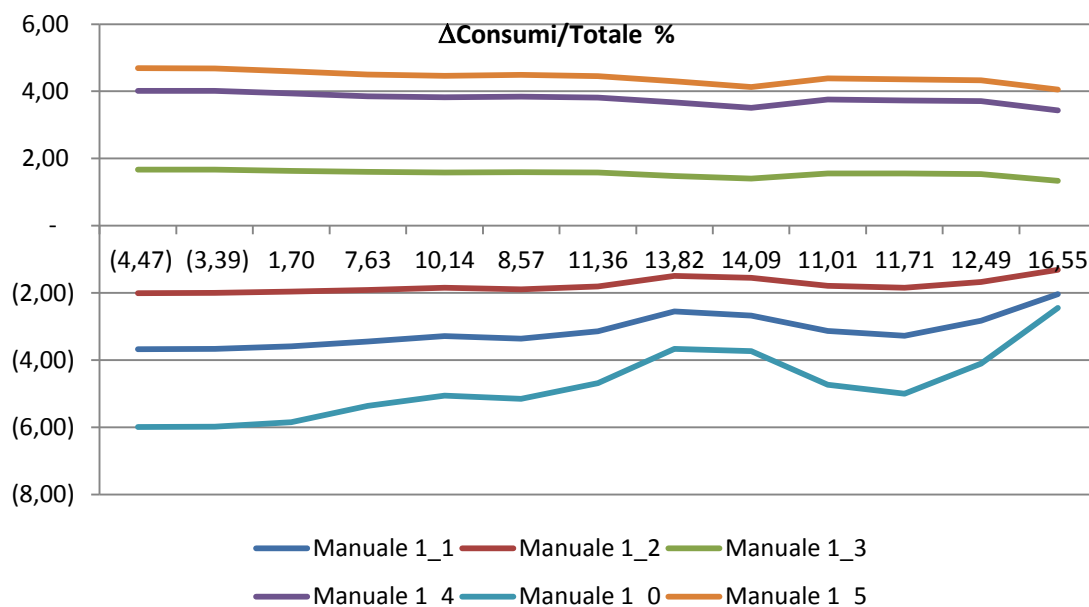
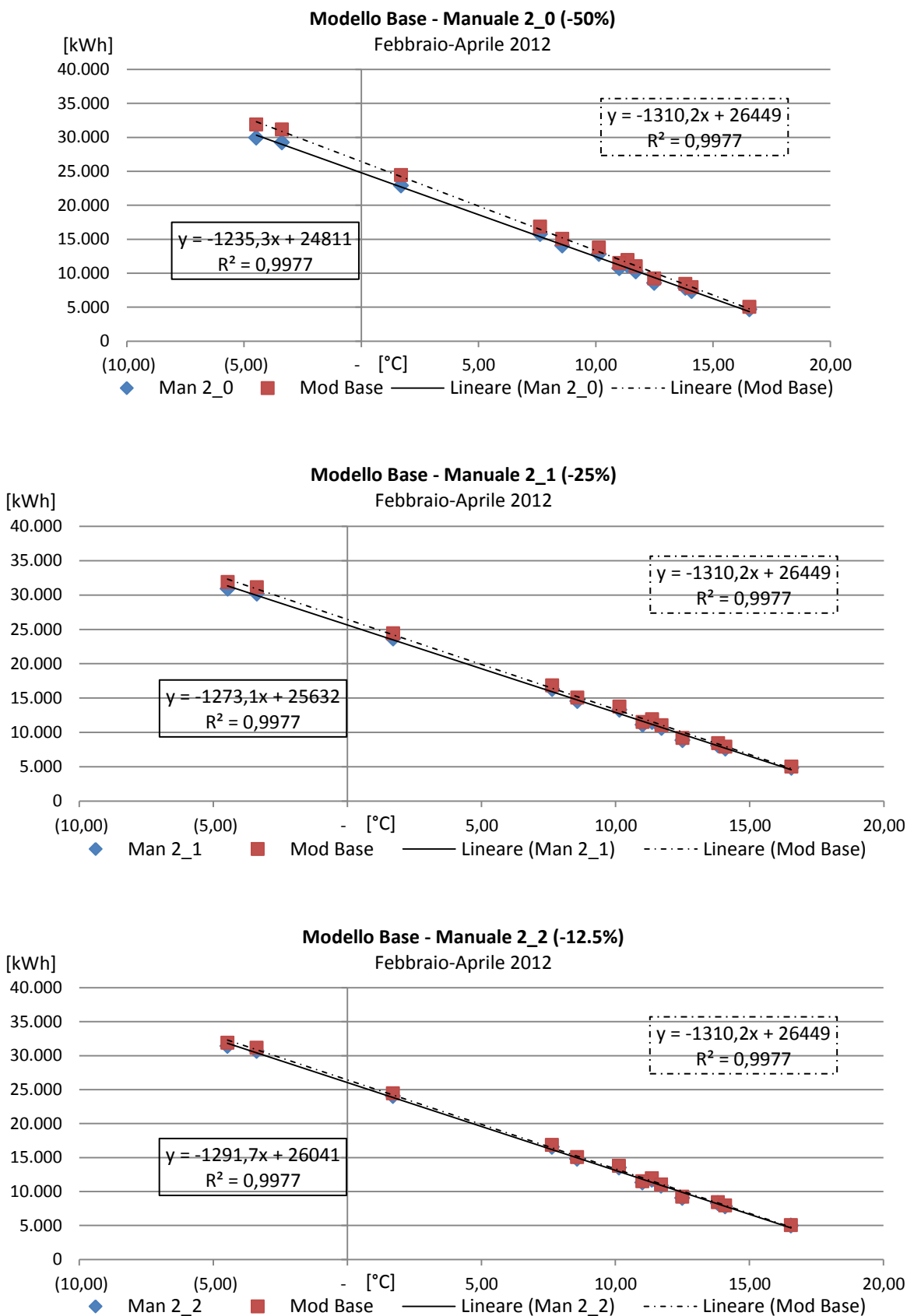


Figura 7.7: Firme Energetiche Manuale 1 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello Base.

Tabella 7.6: Firme Energetiche Manuale 1 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.

	Manuale 1_0		Manuale 1_1		Manuale 1_2	
	ModBase -50%	11,50	ModBase -25%	17,25	ModBase -12,5%	20,125
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1044,8	14775	-1190,8	19237	-1259,1	22498
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	-20,256	44,138	-9,113	27,268	-3,900	14,938
	Manuale 1_3		Manuale 1_4		Manuale 1_5	
	ModBase +12,5%	25,875	ModBase +25%	28,75	ModBase +50%	34,5
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1334,4	29738	-1356,4	34327	-1361,5	35638
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	1,847	-12,435	3,526	-29,786	3,915	-34,742

7.3.2.2 Manuale 2 – Infiltrazioni



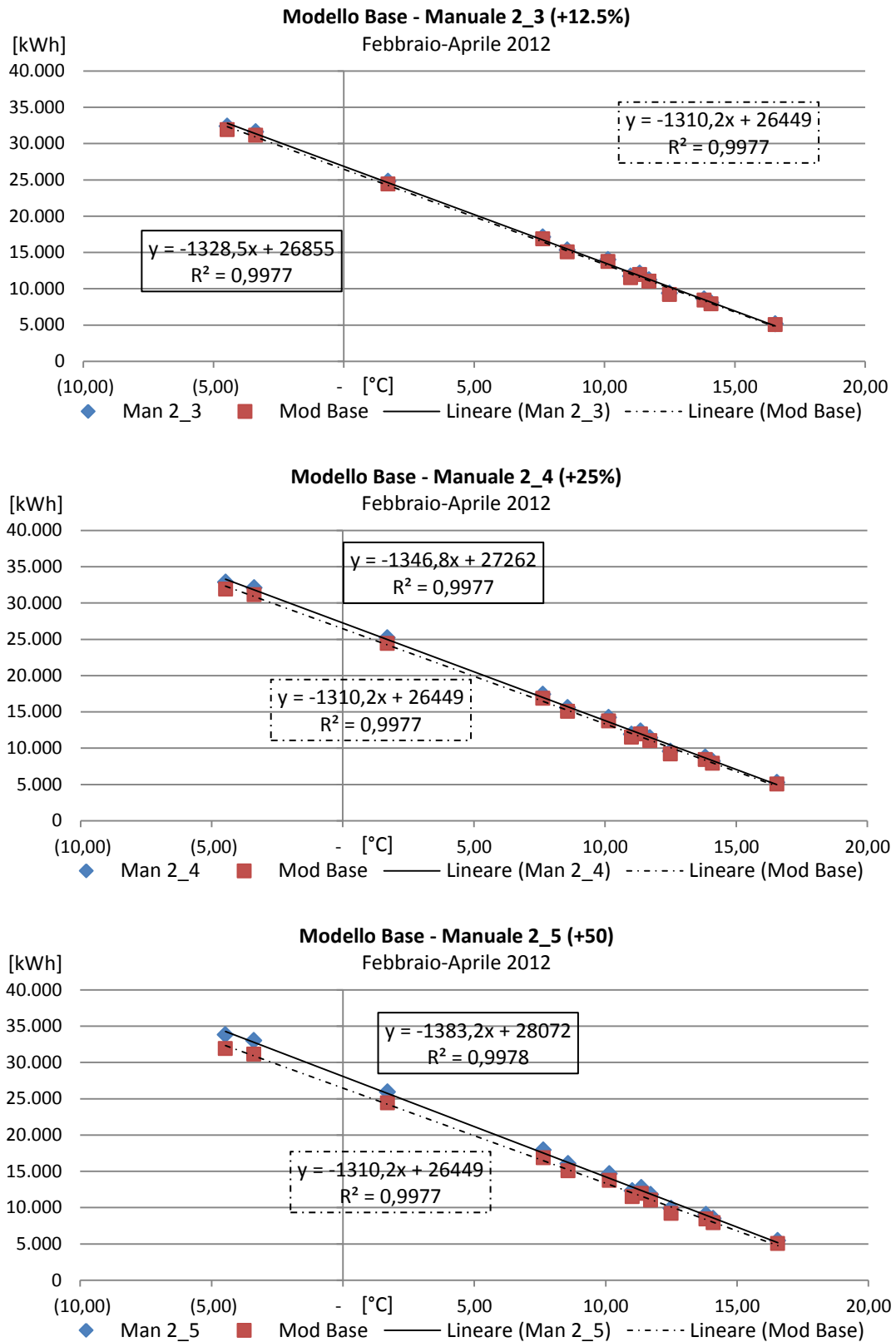


Figura 7.8: Firme Energetiche Manuale 2 – Variazione valore Infiltrazioni.

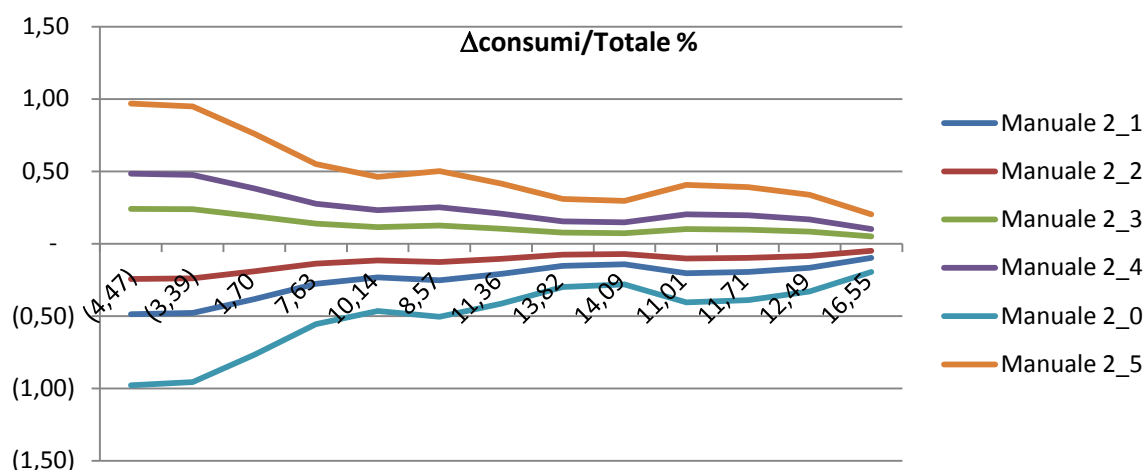
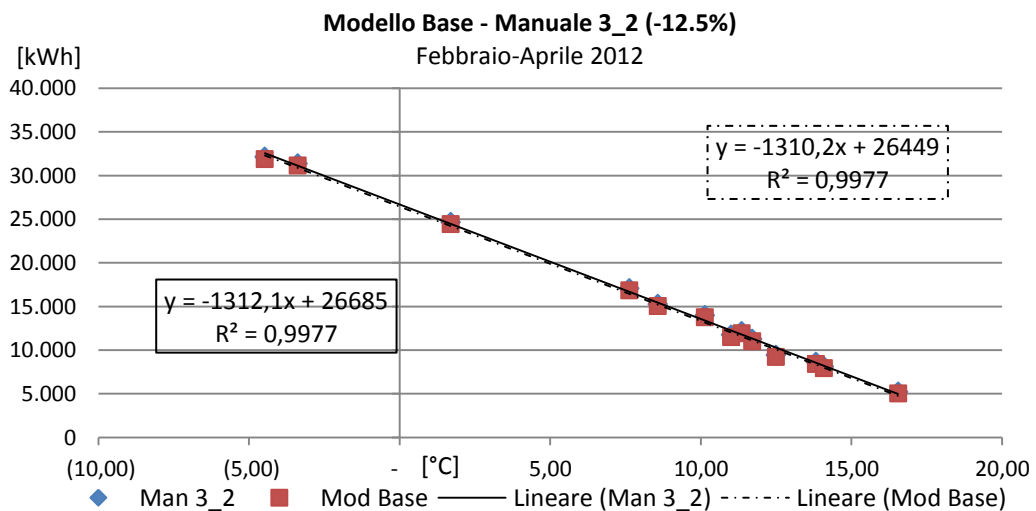
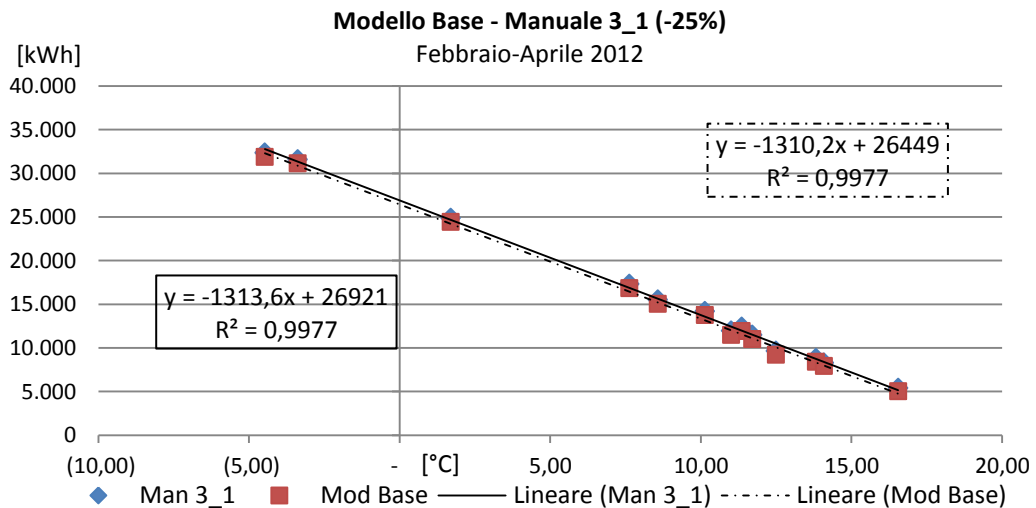
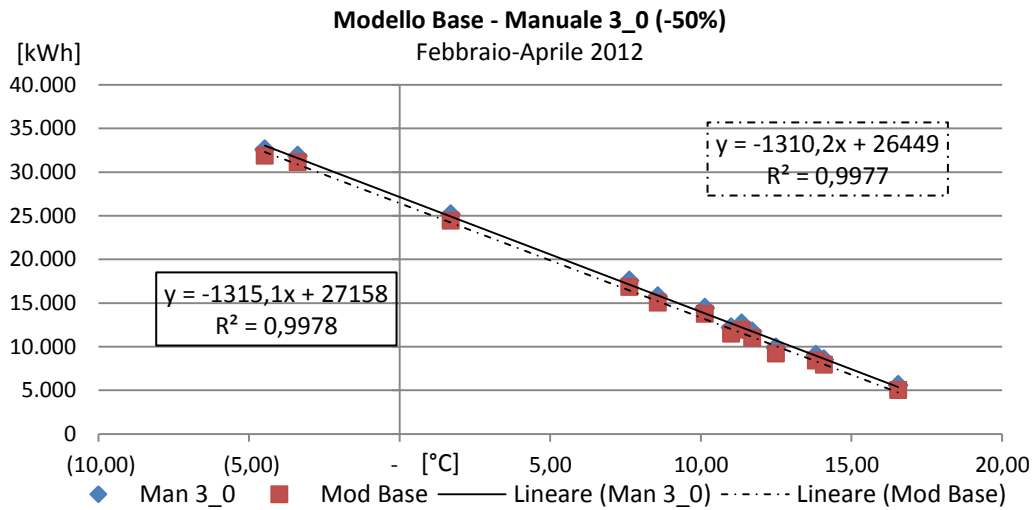


Figura 7.9: Firme Energetiche Manuale 2 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello Base.

Tabella 7.7: Firme Energetiche Manuale 2 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.

	Manuale 2_0		Manuale 2_1		Manuale 2_2	
	ModBase -50%	0,25	ModBase -25%	0,375	ModBase -12,5%	0,4375
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1235,3	24811	-1273,1	26632	-1291,7	26041
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	-5,717	6,193	-2,832	-0,692	-1,412	1,543
	Manuale 2_3		Manuale 2_4		Manuale 2_5	
	ModBase +12,5%	0,5625	ModBase +25%	0,625	ModBase +50%	0,75
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1328,5	26855	-1346,8	27262	-1383,2	28072
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	1,397	-1,535	2,793	-3,074	5,572	-6,136

7.3.2.3 Manuale 3 – Apporti interni



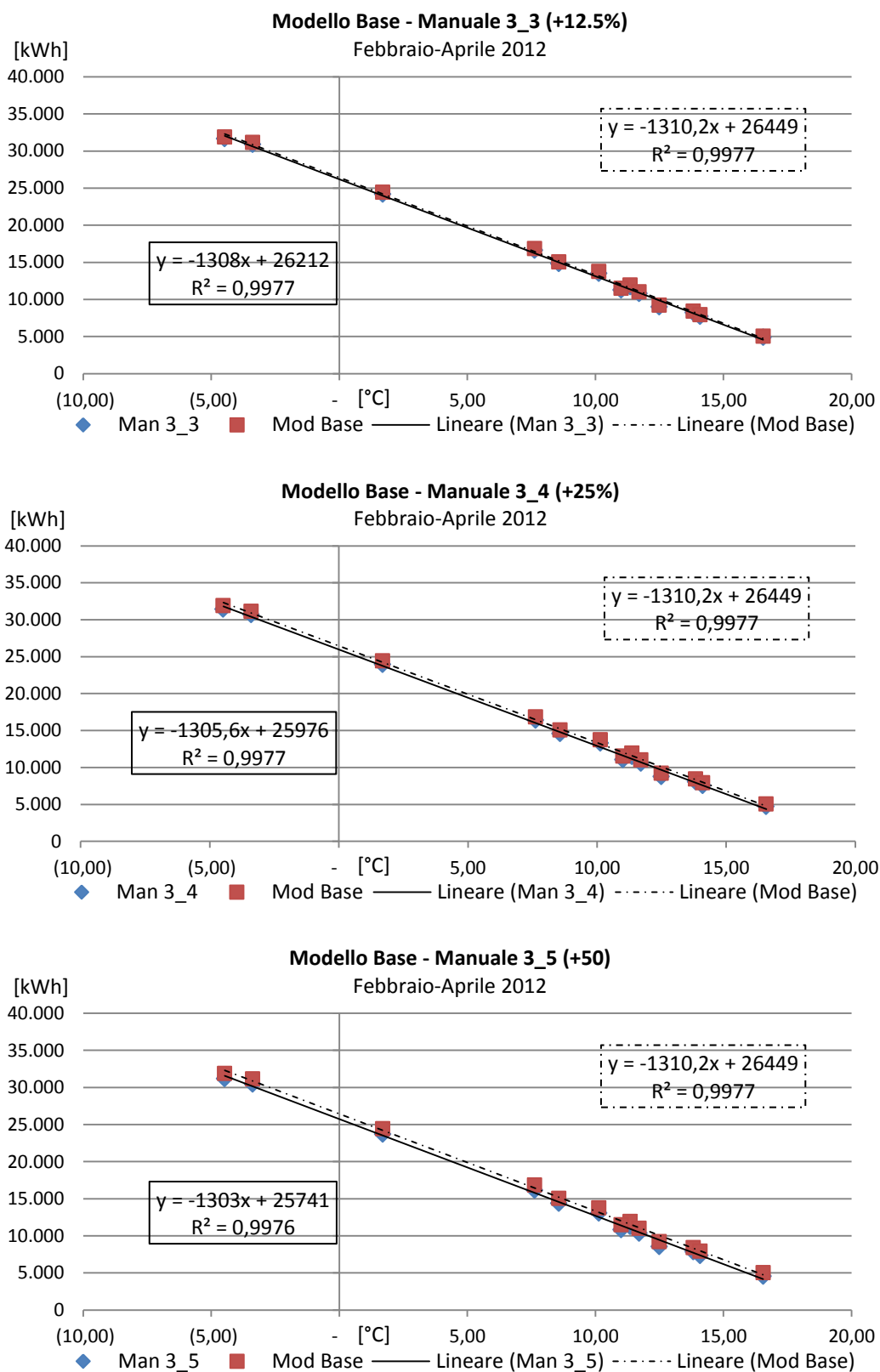


Figura 7.10: Firme Energetiche Manuale 3 – Variazione valore apporti interni.

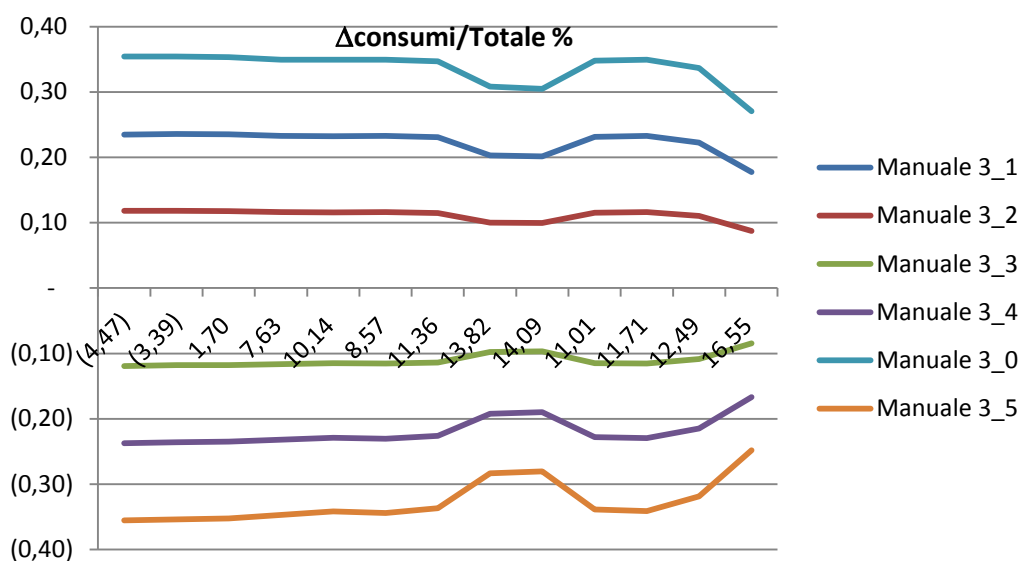
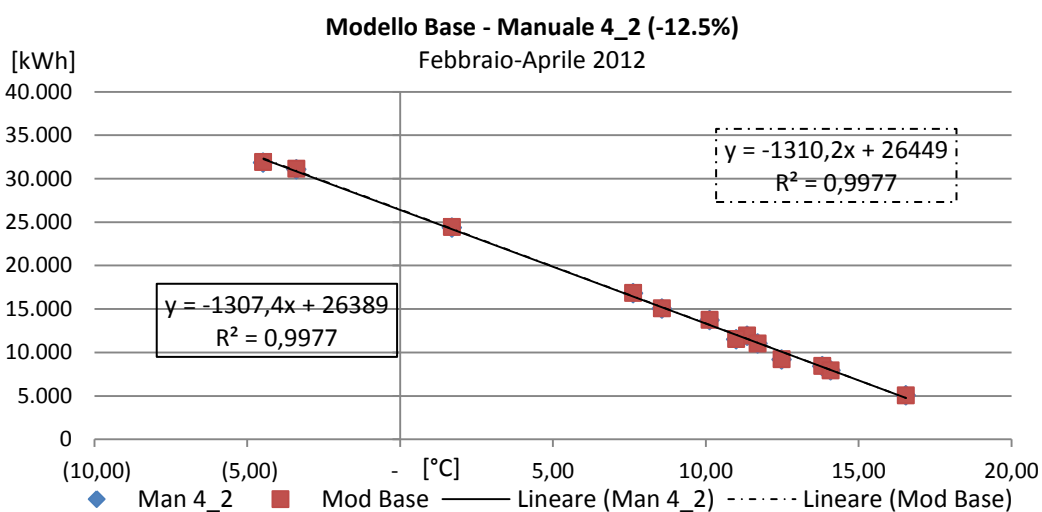
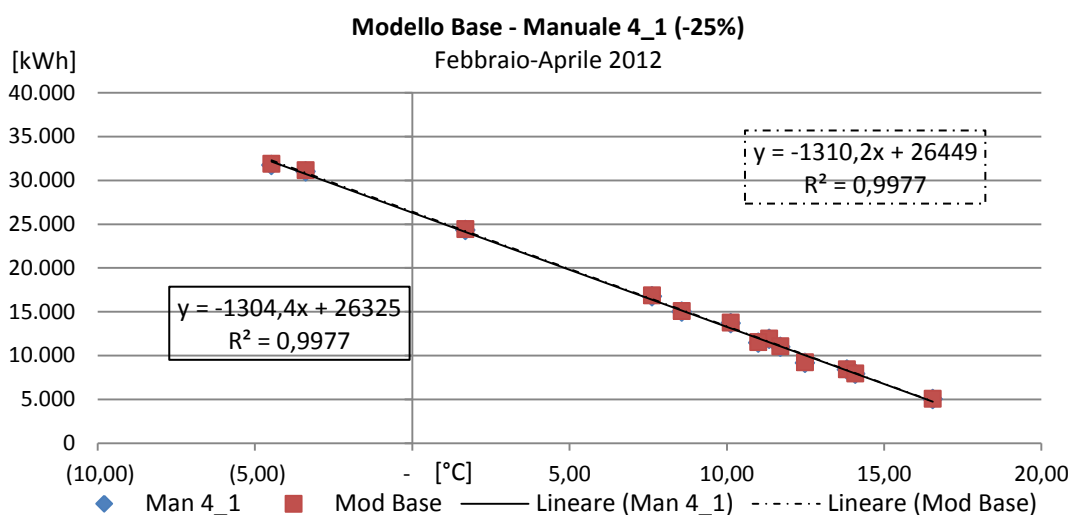
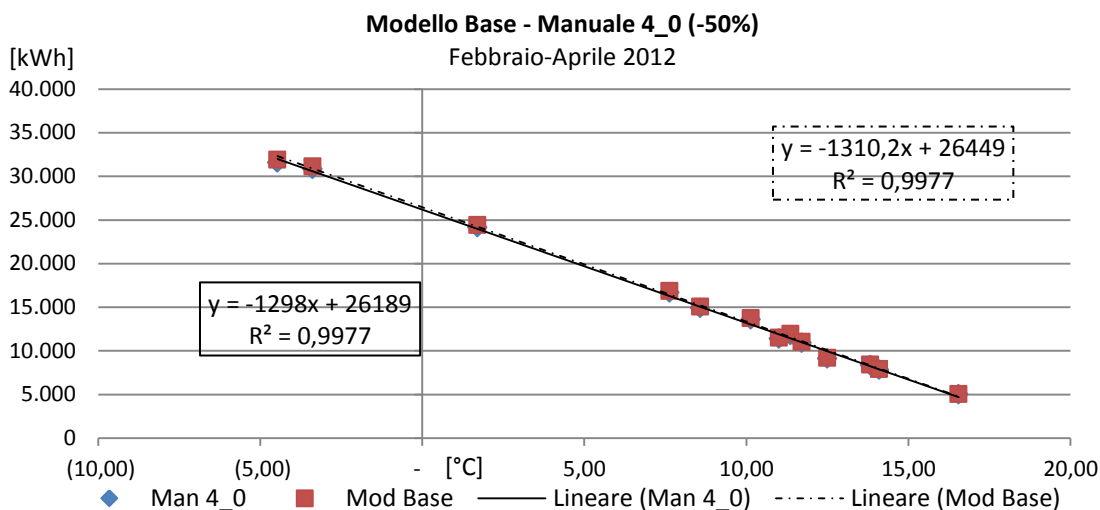


Figura 7.11: Firme Energetiche Manuale 3 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello Base.

Tabella 7.8: Firme Energetiche Manuale 3 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.

	Manuale 3_0		Manuale 3_1		Manuale 3_2	
	ModBase -50%	2,5	ModBase -25%	3,75	ModBase -12,5%	4,375
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1315,1	27158	-1313,6	26921	-1312,1	26685
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	0,374	-2,681	0,260	-1,785	0,145	-0,892
	Manuale 3_3		Manuale 3_4		Manuale 3_5	
	ModBase +12,5%	5,625	ModBase +25%	6,25	ModBase +50%	7,5
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1308	26212	-1305,6	25976	-1303	25741
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	-0,168	0,896	-0,351	1,788	-0,550	2,677

7.3.2.4 Manuale 4 – Trasmittanza parete esterna



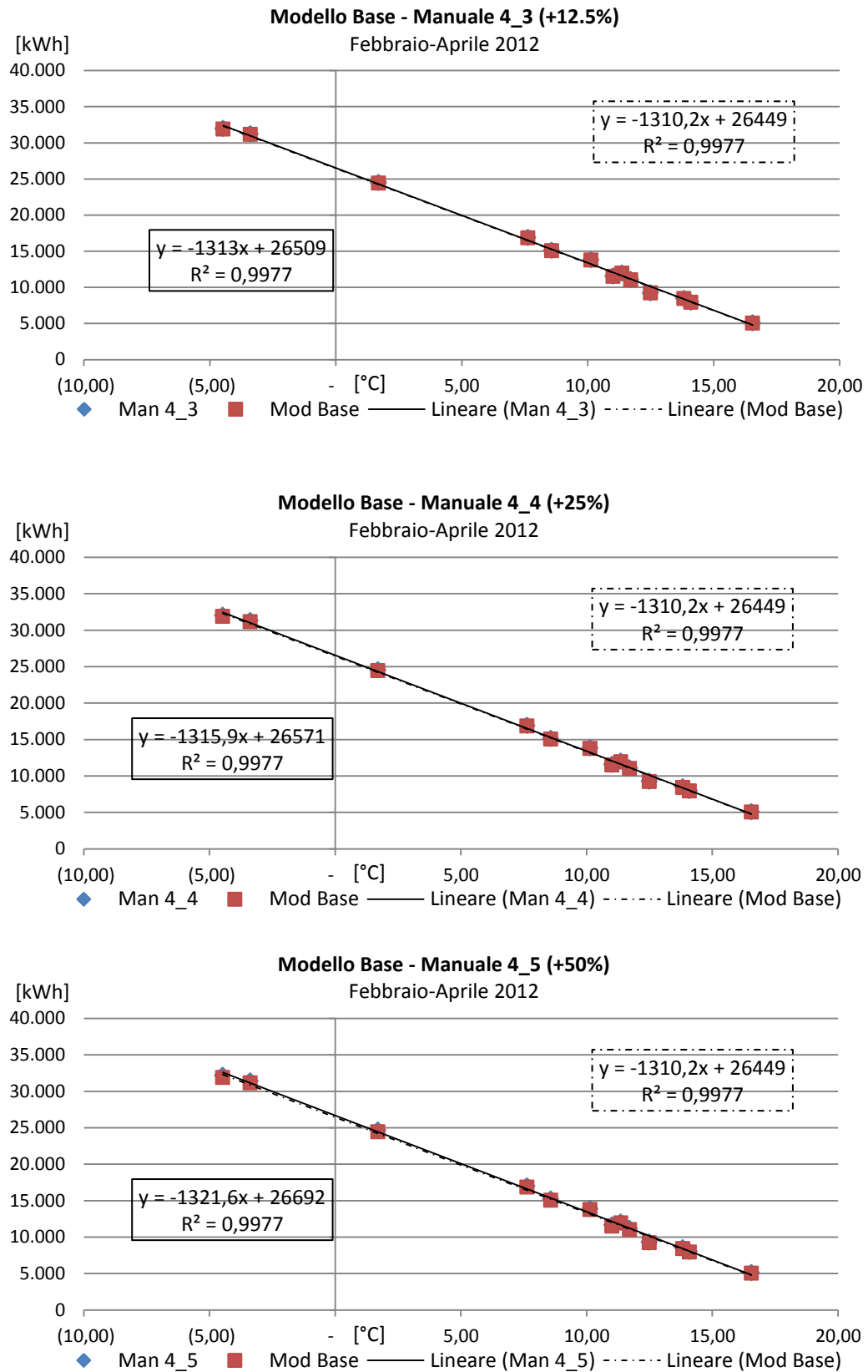


Figura 7.12: Firme Energetiche Manuale 4 – Variazione valore trasmittanza parete esterna.

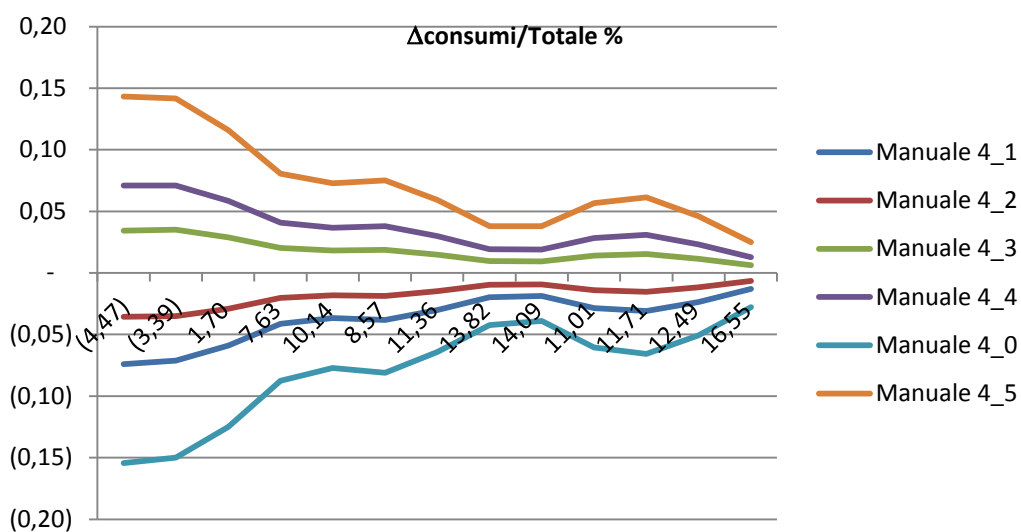
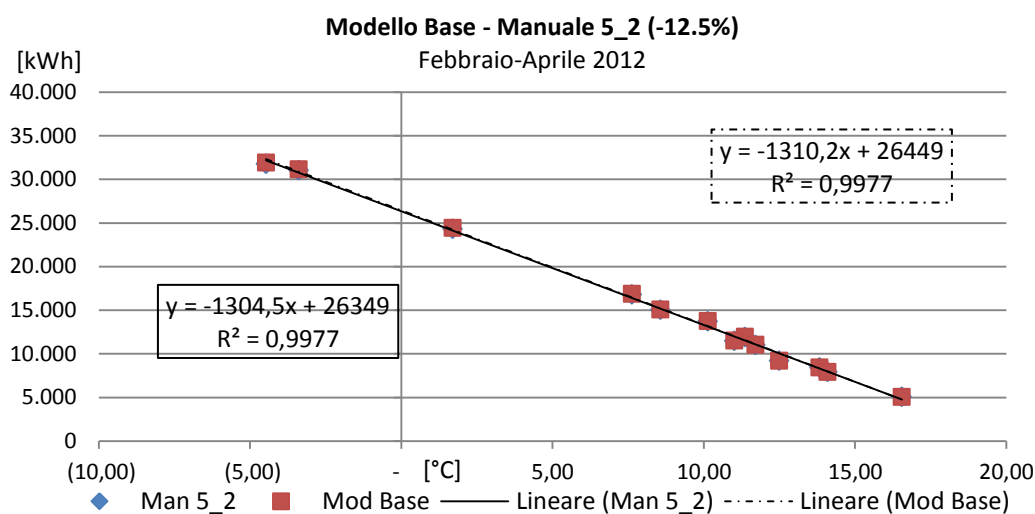
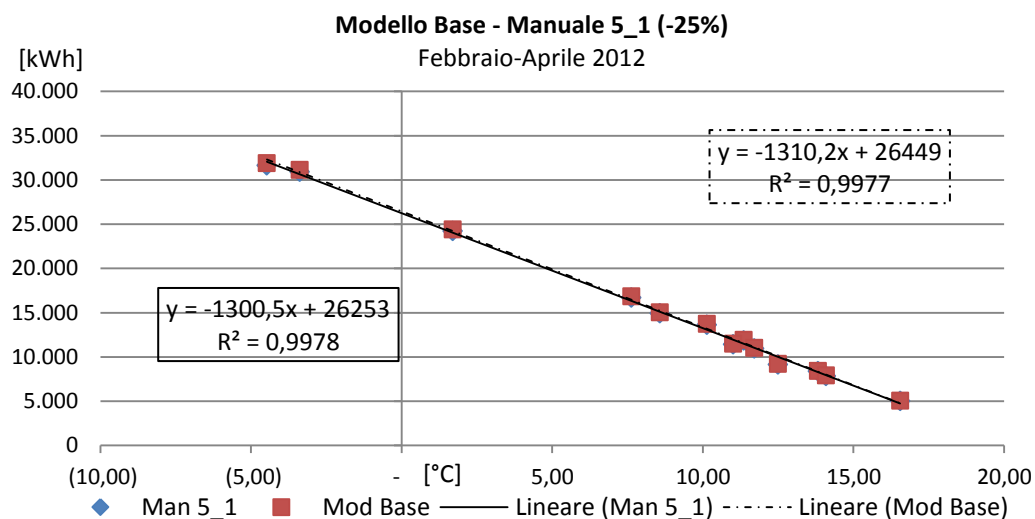
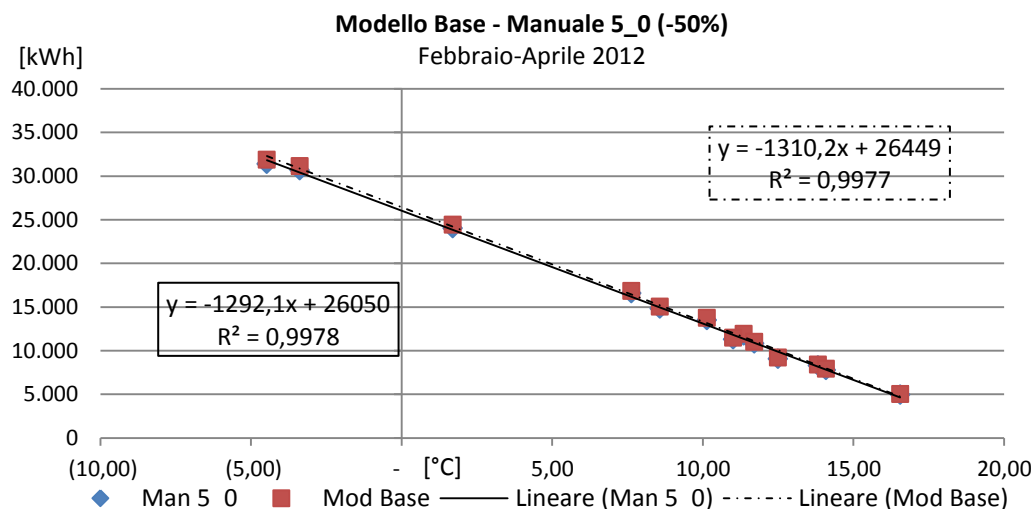


Figura 7.13: Firme Energetiche Manuale 4 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello Base.

Tabella 7.9: Firme Energetiche Manuale 4 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.

	Manuale 4_0		Manuale 4_1		Manuale 4_2	
	ModBase -50%	0,18	ModBase -25%	0,27	ModBase -12,5%	0,315
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1298	26189	-1304,4	26325	-1307,4	26389
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	-0,931	0,983	-0,443	0,469	-0,214	0,227
	Manuale 4_3		Manuale 4_4		Manuale 4_5	
	ModBase +12,5%	0,405	ModBase +25%	0,45	ModBase +50%	0,54
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1313	26509	-1315,9	26571	-1321,6	26692
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	0,214	-0,227	0,435	-0,461	0,870	-0,919

7.3.2.5 Manuale 5 – Trasmittanza vetro finestre esterne



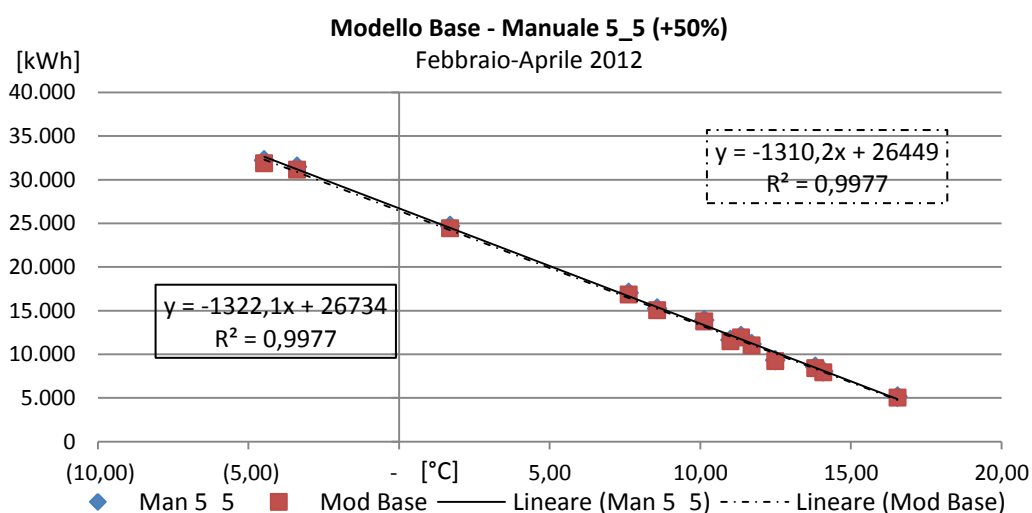
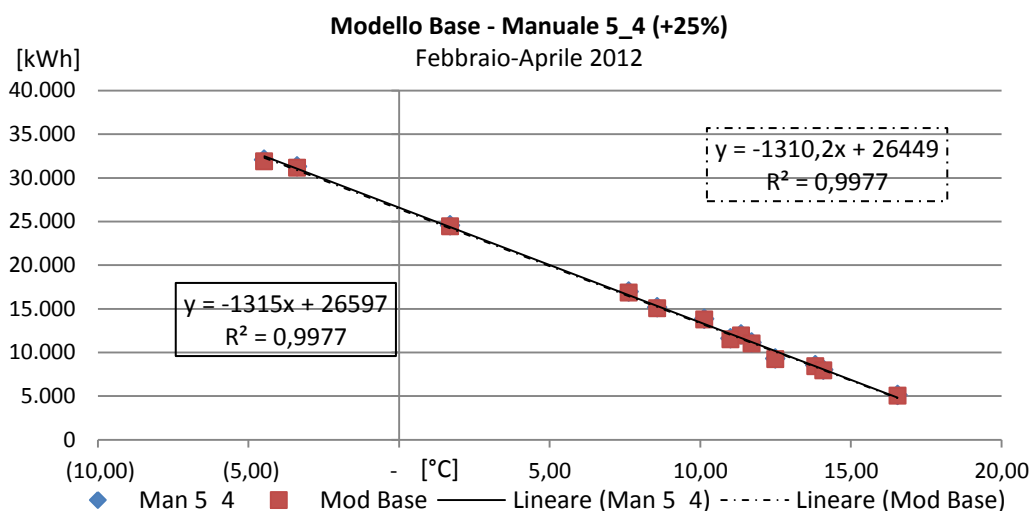
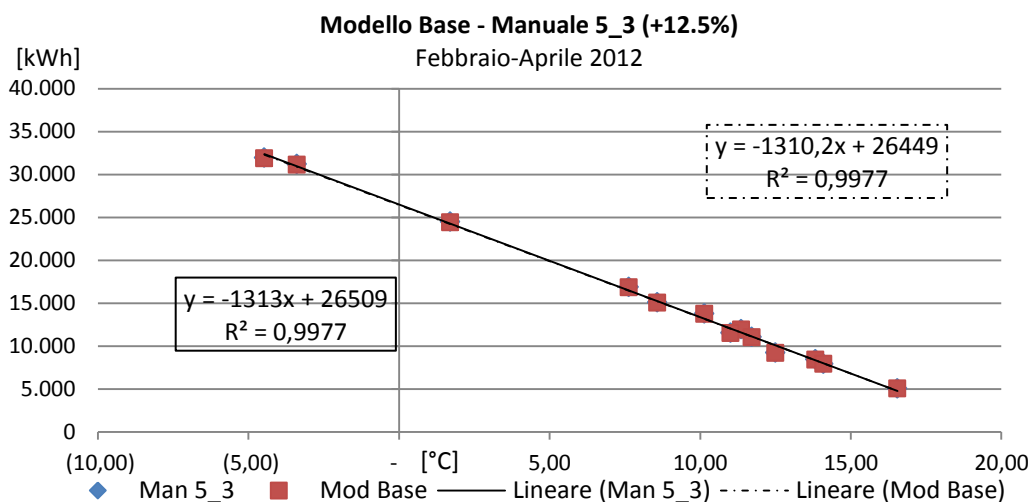


Figura 7.14: Firme Energetiche Manuale 5– Variazione valore trasmittanza vetro finestra esterna.

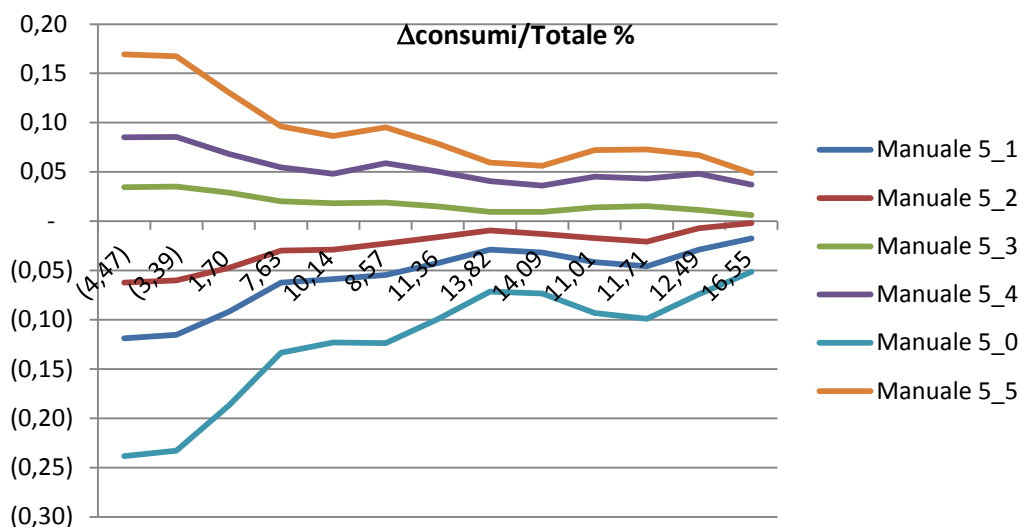


Figura 7.15: Firme Energetiche Manuale 5 – Variazione percentuale consumi sul totale del Modello Base.

Tabella 7.10: Firme Energetiche Manuale 5 – Correzioni da apportare ai coefficienti m e q.

	Manuale 5_0		Manuale 5_1		Manuale 5_2	
	ModBase -50%	1,3325	ModBase -25%	2,00	ModBase -12,5%	2,33
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1292,1	26050	-1300,5	26253	-1304,5	26349
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	-1,381	1,509	-0,740	0,741	-0,435	0,378
	Manuale 5_3		Manuale 5_4		Manuale 5_5	
	ModBase +12,5%	2,998	ModBase +25%	3,33	ModBase +50%	3,9975
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q	m	q
	-1313	26509	-1315	26597	-1322,1	26734
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	0,214	-0,227	0,366	-0,560	0,908	-1,078

7.3.2.6 Analisi risultati manuale

Sono riportate le variazioni dei parametri m e q per le varie simulazioni a parità di incremento percentuale del valore rispetto al “Modello Base”. Si nota subito che ci sono dei parametri più influenti di altri come ad esempio la T di set-point e le infiltrazioni. Per ogni caso si è calcolato il totale delle variazioni di m e q.

Tabella 7.11: Variazioni percentuali da applicare ai coefficienti m e q della Firma Energetica del Modello Base.

-50%	Δm %	Δq %
Set-Point	-20,2564	44,13777
Infiltrazioni	-5,71668	6,193051
Apporti Interni	0,373989	-2,68063
U Parete Ext.	-0,93116	0,983024
Ug Finestre Ext.	-1,38147	1,508564
TOTALE	-27,9118	50,14178

-25%	Δm %	Δq %
Set-Point	-9,11311	27,26757
Infiltrazioni	-2,83163	-0,6919
Apporti Interni	0,259502	-1,78457
U Parete Ext.	-0,44268	0,468827
Ug Finestre Ext.	-0,74034	0,741049
TOTALE	-12,8683	26,00098

-12,5%	Δm %	Δq %
Set-Point	-3,90017	14,93818
Infiltrazioni	-1,412	1,542591
Apporti Interni	0,145016	-0,89228
U Parete Ext.	-0,21371	0,226852
Ug Finestre Ext.	-0,43505	0,378086
TOTALE	-5,81591	16,19343

12,5%	Δm %	Δq %
Set-Point	1,847046	-12,4353
Infiltrazioni	1,396733	-1,53503
Apporti Interni	-0,16791	0,896064
U Parete Ext.	0,213708	-0,22685
Ug Finestre Ext.	0,213708	-0,22685
TOTALE	3,503282	-13,5279

25%	Δm %	Δq %
Set-Point	3,526179	-29,7856
Infiltrazioni	2,793467	-3,07384
Apporti Interni	-0,35109	1,788347
U Parete Ext.	0,435048	-0,46127
Ug Finestre Ext.	0,366356	-0,55957
TOTALE	6,769959	-32,092

50%	Δm %	Δq %
Set-Point	3,915433	-34,7423
Infiltrazioni	5,571668	-6,13634
Apporti Interni	-0,54953	2,67685
U Parete Ext.	0,870096	-0,91875
Ug Finestre Ext.	0,908258	-1,07755
TOTALE	10,71592	-40,1981

7.3.3 Calibrazione modello

Con il “Manuale dell’Errore” è ora possibile andare a modificare il “Modello Base”, applicando le variazioni percentuali ai coefficienti “incogniti” del modello, per andare a calibrare la Firma Energetica virtuale. Osservando le varie firme energetiche che compongono il Manuale, si nota come i parametri di maggior influenza siano il Set-Point di riscaldamento e le infiltrazioni. Vengono individuate le seguenti correzioni da applicare al Modello Base:

Tabella 7.12: Modifiche da apportare ai parametri incogniti del Modello Base.

PARAMETRI INCOGNITI MODELLO COM		
Parametro	Valore Modello Base	Valore da Manuale
Set-Point Riscaldamento	23 °C	20,1 °C
Infiltrazioni	0,5 vol/ora	0,625 vol/ora
Apporti Interni	5 W/mq	-
Trasmittanza Pareti Ext.	0,36 w/m ² K	-
Trasmittanza Vetro	2,665 w/m ² K	-

Tabella 7.13: Modifiche da apportare ai coefficienti della retta di regressione lineare del Modello Base.

	Manuale 1_2		Manuale 2_4	
	ModBase -12,5%	20,125	ModBase +25%	0,625
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q
	-1259,1	22498	-1346,8	27262
Correzioni	Δm %	Δq %	Δm %	Δq %
	-3,900	14,938	2,793	-3,074

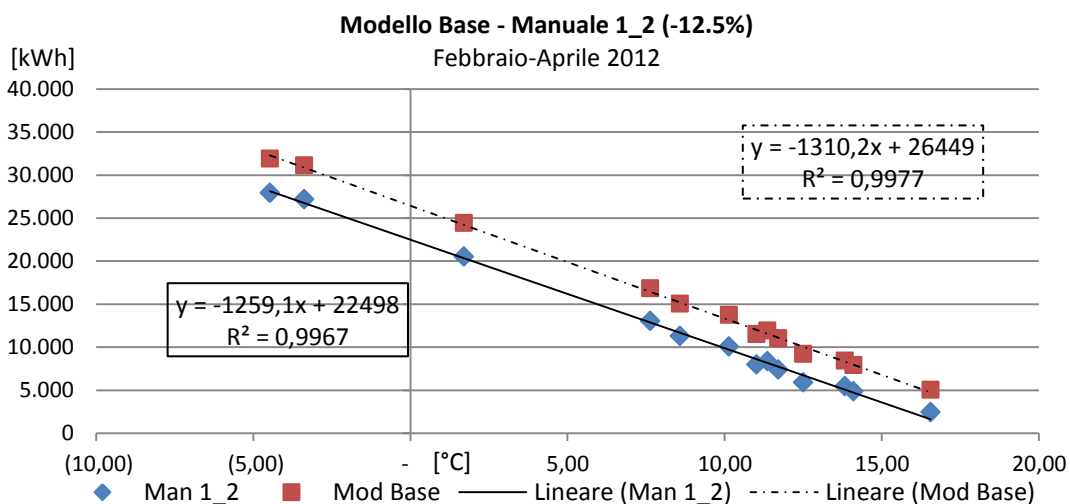


Figura 7.16: Firme Energetiche da Manuale 1_2 -12.5% Set-Point.

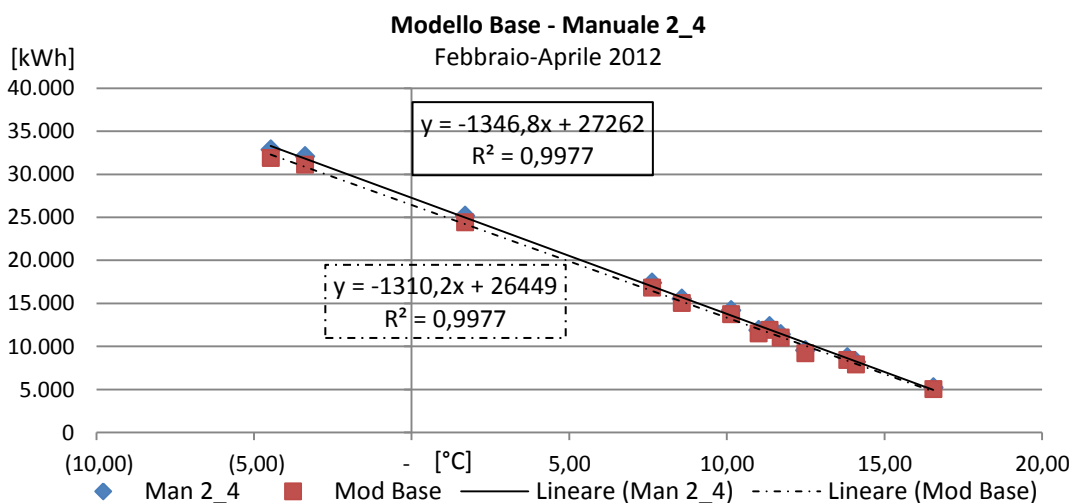


Figura 7.17: Firme Energetiche da Manuale 2_4 +25% infiltrazione.

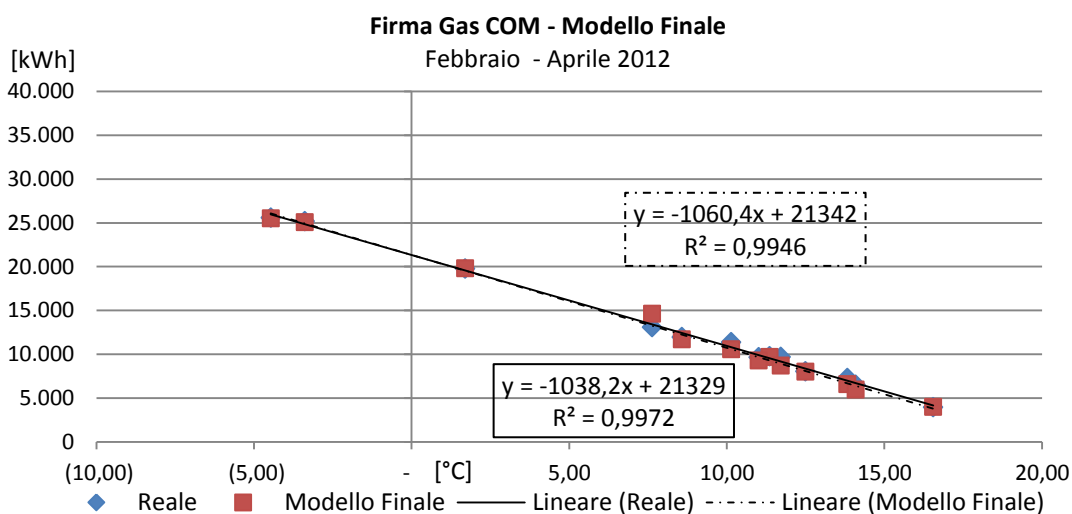


Figura 7.18: confronto Firme Energetiche Modello Finale e Reale.

Tabella 7.14: Modifiche da apportare ai coefficienti della retta di regressione lineare del Modello Finale.

Parametri retta di tendenza	Reale		Modello Finale	
	m	q	m	q
	-1038,2	21329	-1060,4	21342
Correzioni			Δm %	Δq %
			2,138	-0,061

Tabella 7.15: Confronto tra errore Modello Modificato e Valori Accettati.

Indice	Modello Base	Modello Finale	ASHRAE 14 (%)	IPMVP (%)	FEMP (%)
MBE _{mese}	22,40	1,44	±5	±20	±15
CV(RMSE _{mese})	32,23	4,81	±15	±5	±10

Il Modello del COM risulta calibrato considerando il periodo febbraio – aprile, utilizzando un time-step di calcolo orario e la firma energetica con valori settimanali.

7.3.4 Validazione modello

Il Modello Base, calibrato sul set di valori del periodo febbraio, marzo e aprile dell’anno 2012, viene ora validato realizzando una simulazione per il periodo settembre, ottobre e novembre dell’anno 2012. Con i risultati ottenuti, viene costruita la firma energetica del Modello Finale (Calibrato) e la si confronta con la firma energetica reale dello stesso periodo, valutandone il CV(RMSE) e l’ MBE.

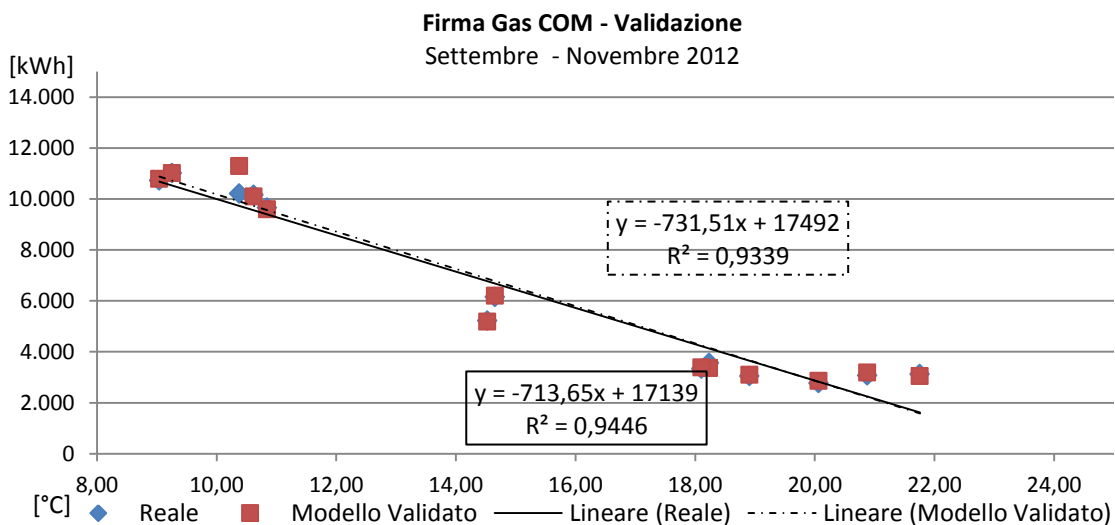


Figura 7.19: confronto Firme Energetiche Modello Finale e Reale.

Tabella 7.16: Confronto tra errore Modello Modificato e Valori Accettati.

Indice	Modello Base	Modello Calibrato	Modello Validato	ASHRAE 14 (%)	IPMVP (%)	FEMP (%)
MBE _{mese}	22,40	1,44	1,28	±5	±20	±15
CV(RMSE _{mese})	32.23	4,61	5,83	±15	±5	±10

Tabella 7.17: Modifiche da apportare ai coefficienti della retta di regressione lineare del Modello Validato.

	Reale		Modello Validato	
Parametri retta di tendenza	m	q	m	q
	-713,65	17139	-731,51	17492
Correzioni			Δm %	Δq %
			2,503	-2,060

Anche se il CV(RMSE) che risulta dalla simulazione di validazione non rientra nei valori di tolleranza accettati dall'IPMVP, si può considerare validato il modello COM sull'anno 2012, in quanto il CV(RMSE) risulta inferiore ai valori indicati dal manuale di riferimento per la modellazione di edifici, ossia l'ASHRAE 14. Inoltre il parametro ritenuto più interessante ai fini predittivi risulta essere l'MBE [147].

Conclusioni

Questa tesi di dottorato propone un nuovo rapido sistema di calibrazione, da applicare a un dettagliato modello di simulazione energetica in regime dinamico, basato sul confronto tra i dati di output simulati e i valori reali di consumo misurati, con l’obiettivo di essere facilmente replicabile ed affidabile. Scopo della calibrazione è quello di poter condurre diagnosi energetiche approfondite e precise, su edifici complessi come i Policlinici Universitari, sperimentando a modello le ripercussioni di possibili interventi di ottimizzazione energetica.

La metodologia proposta, prevede un approccio grafico tramite l’impiego della firma energetica, strumento di facile realizzazione e interpretazione, che intuitivamente riassume e descrive gli scostamenti tra i valori dei consumi simulati a software e i valori reali misurati. Facendo variare, uno alla volta, i valori dei soli parametri incogniti del $\pm 50\%$, $\pm 25\%$ e $\pm 12,5\%$, sono state realizzate simulazioni che hanno portato all’interpretazione e correzione della “Firma Energetica Virtuale”, arrivando alla validazione del “Modello Base”. Questa tesi di dottorato ha proposto un nuovo metodo di calibrazione che può essere applicato in pochi semplici e ripetibili passaggi, così da facilitare il lavoro, già complesso, di modellazione, validazione e analisi di un sistema edificio-impianto.

Il metodo illustrato nel presente elaborato, prima di essere esportato su altri edifici complessi ubicati in differenti zone climatiche, dovrà testare la sua “robustezza” e affidabilità a fronte di variazioni contemporanee di più parametri “incerti” e su periodi di simulazione maggiori di sei mesi. I prossimi studi che si intendono intraprendere, per validare la metodologia, prevedono di effettuare una nuova simulazione facendo variare contemporaneamente i parametri incerti del $+25\%$ rispetto al “Modello Base”, ottenendo una firma energetica che rappresenti la variazione di tutti i parametri “incerti”, la quale dovrà essere confrontata con la retta derivata dalla firma energetica del “Modello Base”, dopo aver apportato le variazioni ai coefficienti m e q inerenti le variazioni del $+25\%$ di ogni parametro variato. Se lo scostamento risultante ($CV(RMSE)$), risulterà nei limiti di bibliografia, vorrà dire che i parametri “incerti” già individuati sono l’unica causa dello scostamento tra reale e modello. Se invece lo scostamento risulterà oltre i valori limite, si dovrà considerare la:

1. presenza di altri parametro fisici “incerti” che non sono stati considerati nelle prime analisi,
2. mancanza di linearità delle variazioni di più parametri incerti a software

Questa verifica può essere ripetuta per i vari incrementi/decrementi percentuali (-12,5%,+12,5%,-25%,ecc..)

Inoltre è bene ricordare che la metodologia proposta prevede l’impiego della firma energetica come strumento di confronto, la quale perde utilità quando applicata a strutture che presentano un alto sfasamento dell’onda termica.

Bibliografia

- [1] *Legge di stabilità 2013 - Legge 24.12.2012 n° 228 , G.U. 29.12.2012.*
- [2] AICARR, Posibilità di risparmio energetico nelle strutture sanitarie esistenti, con particolare riferimento agli ospedali, AICARR.
- [3] ISTAT, «Sanità e Salute,» in *Annuario statistico italiano 2011*, ISTAT, 2011, p. Cap. 3.
- [4] DIRETTIVA 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.
- [5] *Legge Regionale 23 dicembre 2004, n. 26 - Piano energetico regionale (Per) della Regione Emilia-Romagna.*
- [6] *Servizio Sanitario Regionale dell'Emilia Romagna, "Il sistema sanitario regionale per lo sviluppo sostenibile", 2007.*
- [7] F. Belcastro, «Indici di benchmark di consumo per diverse tipologie di edificio e all'applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani negli edifici ospedalieri,» ENEA, Roma, 2010.
- [8] G. Drury B. Crawleya, «EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program,» *Energy and Buildings*, vol. Volume 33, n. Issue 4, p. Pages 319–331, April 2001.
- [9] F. Farnetani A., «Architetture e strumenti di analisi per il monitoraggio multi vettore dei consumi e per l'efficienza energetica,» 2009.
- [10] *UNI EN ISO 15603 - Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings.*
- [11] D.O.E. Software, «<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>,» [Online].
- [12] ASHRAE Guideline 14, Measurement of Energy and Demand Savings, ASHRAE Standards Committee, 2002.
- [13] *Guidelines: Measurement and Verification of Federal Energy Projects (FEMP).*
- [14] International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP), vol. 1, 2002.

- [15] *Circolare Ministeriale LL.PP. n° 13011 del 22 novembre 1974, recante "Requisiti fisico -tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche di ventilazione e di illuminazione".*
- [16] n. 3. DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 23 febbraio 2004, *Applicazione della L.R. 34/98 in materia di autorizzazione e di accreditamento istituzionale delle strutture sanitarie e dei professionisti alla luce dell'evoluzione del quadro normativo nazionale. Revoca di precedenti provvedimenti.*
- [17] ENEA, *Uso razionale dell'energia nel settore ospedaliero*, 1994.
- [18] M. G., *Gli impianti ospedalieri. Guida alla progettazione integrata*, Carroci Editore, 1995.
- [19] Norma UNI 10339, *"Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti"*.
- [20] D.P.R. 14 gennaio 1997 “Atto di coordinamento e di indirizzo per l’autorizzazione delle strutture sanitarie”.
- [21] Delibera della Giunta Regionale n° 327, del 23 febbraio 2004 “Applicazione della L.R. 34/98 in materia di autorizzazione e di accreditamento istituzionale delle strutture sanitarie e dei professionisti alla luce dell’evoluzione del quadro normativo nazion.
- [22] *Norme CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori - Grandi strutture Ospedaliere.*
- [23] *Norma CEI 64-8 7ª edizione.*
- [24] *Circolare Ministeriale n°13011 del 22 novembre 1974 “Requisiti fisico tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere: proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione”.*
- [25] *Norma UNI 10380:1994 e aggiornamento AI “Illuminotecnica - Illuminazione di interni con luce artificiale”.*
- [26] *Legge Regionale dell’Emilia Romagna 27/03/2000 n°17, RC 3.6.1 e 3.6.2.*
- [27] Parlamento Europeo «DIRETTIVA 2002/91/CE» 2002.
- [28] Regione Emilia Romagna, *“Il Sistema Sanitario Regionale per uno sviluppo sostenibile”*, 2007.
- [29] *UNI CEI TR 11428:2011 "Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica".*
- [30] (A.R.E.), *“Linee Guida per l’efficienza energetica del sistema ospedaliero ligure”*, 2002.

- [31] Grassi W., «Valutazione dei consumi nell'edilizia esistente e benchmark mediante codici semplificati: analisi di edifici ospedalieri,» ENEA, Roma, 2009.
- [32] Belcastro F., *Indici di benchmark di consumo per diverse tipologie di edificio e all'applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani negli iversi climi italiani negli*, ENEA, Report RdS/2010/196.
- [33] Silvestro F., Bagnasco A., «Esperienze di gestione, monitoraggio e razionalizzazione dei consumi di energia elettrica nell'ateneo genovese,» in *V Congresso Nazionale AIGE*, Modena, 2011.
- [34] *ISO 50001:2011 " Energy management systems – Requirements with guidance for use"*.
- [35] *UNI CEI EN 15900/2011 "Servizi di efficienza energetica – Definizioni e Requisiti"*.
- [36] U. C. TR, *11428:2011 " Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica"*.
- [37] *UNI TS 11300-Parte 1 "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale"*.
- [38] *UNI TS 11300-Parte 2 "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria"*.
- [39] *UNI TS 11300-Parte 3 "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva"*.
- [40] *UNI TS 11300-Parte 4 Prestazioni energetiche degli edifici: utilizzo di energie rinnovabili e altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria"*.
- [41] *Decreto Legislativo 115/2008 Attuazione della Direttiva 2006/32/CE Relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici. Allegato - III "Metodologie di calcolo e requisiti dei soggetti per l'esecuzione delle diagnosi energetiche"*.
- [42] Filippi M., «Annex 53- IEA "Total energy use in buildings - Analysis and evaluation methods" ENEA, 2010.
- [43] Filippi M., "Total energy use in buildings - Analysis and evaluation methods", Annex 53- IEA, in *Report RdS/2010/27*, 2010.
- [44] V. Fabrizio, «Italian benchmark building models: the office building» in *Atti del Convegno Building Simulation*, Sidney, 14-16 novembre 2011.
- [45] Aghemo, in *Atti del Convegno The 26th Session of the CIE*, Beijing, 4-11 July, 2007.

- [46] AuditAC, «AuditAC project : field benchmarking and market development for audit methods in air conditioning» in *Intelligent Energy Europe programme*. , 2007 .
- [47] Harmonac., «HarmonAc project: Harmonizing Air Conditioning Inspection and Audit Procedures in the Tertiary Building Sector» in *Intelligent Energy Europe programme*, 2008.
- [48] M. Krarti, «Energy Audit of Building Systems; An Engineering Approach» Florida, 2000.
- [49] UNI 15603:2008 "*Prestazione energetica degli edifici - Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica*".
- [50] Becchis F., *Aspetti relativi all'approvvigionamento energetico nel settore ospedaliero*, Torino: Progetto IGEEOP, 2010.
- [51] S. R., *Diagnosi delle prestazioni energetiche dell'edificio Day-Hospital condotta secondo le metodologie proprie dell'analisi energetica in regime dinamico*, Napoli: Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura dei Tumori Fondazione “G. Pascale”, 2010.
- [52] Mori A., *Energetic Characterization of the “G. Brotzu” Hospital Enterprise, San Michele Hospital in Cagliari*, Cagliari: Italian Ministry of Economic Development, 2010.
- [53] Levermore G.J., «Performance lines and energy signatures: Review and analysis,» *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 10, pp. 105 - 114, 1989.
- [54] Kelly Kissock, «Measuring industrial energy savings» *Applied Energy*, n. 85, pp. 347 - 361, 2008.
- [55] Kelly Kissock, «Targeting Energy Efficiency in Commercial Buildings Using Advanced Billing Analysis» in *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 2008.
- [56] Krese G., «Analysis of Building Electric Energy Consumption Data Using an Improved Cooling Degree Day Method,» *Journal of Mechanical Engineering*, pp. 107-114, 2011.
- [57] P.E., *Energy Signature Analysis: Radar for Energy Managers*, 1992.
- [58] «Monitoring Data Yield Enhancement by Advanced Real-Time Data Compaction Algorithms,» in *ASHRAE Transactions*, Atlanta,, 1998.
- [59] MacDonald M., «Power Signatures as Characteristics of Commercial and Related Buildings» in *Proceedings, Symposium on Improving Energy Efficiency in Hot and Humid Climates*, Texas A&M University, 1988..
- [60] White J.A., «Simplified Method for Predicting Building Energy Use Using Average

Monthly Temperatures,» in *31st. Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, IECEC*, 1996.

- [61] Rabl A., «Energy signature models for commercial buildings: test with measured data and interpretation» *Energy and buildings*, vol. Vol. 10, pp.143-154, 1992.
- [62] Reichmuth H., «A Tool for Efficient First Views of Commercial Building Energy Performance» *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, pp. 325 - 338, 2010.
- [63] Sever F., «Estimating Industrial Building Energy Savings using Inverse Simulation» *ASHRAE*, vol. 86073, 2011.
- [64] Danov S., «Approaches to evaluate building energy performance from daily consumption data considering dynamic and solar gain effects» *Energy and Buildings*, vol. 57, Pages 110–118, February 2013.
- [65] N. B. B.S., «Extending and Formalizing the Energy Signature Method for Calibrating Simulations and Illustrating with Application for Three California Climates» Office of Graduate Studies of Texas A&M University, 2004.
- [66] Wei, «Signatures of Heating and Cooling Energy Consumption for Typical AHUs» in *Eleventh Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates*, 1998.
- [67] Liu M., «Calibrating AHU Models Using Whole Building Cooling and Heating Energy Consumption Data» in *Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 3, pp. 229-241*, Washington, 1998.
- [68] Pan Y., «Calibrated building energy simulation and its application in a high-rise commercial building in Shanghai» *Energy and Buildings*, n. 39, p. 651–657, 2007.
- [69] Federal Energy Management Program (FEMP), Measurement and Verification, 2000.
- [70] C. M.J., «Determining baseline energy consumption and peak cool-cooling loads of a 107-year-old science museum using DOE2» in *Seventh International IBPSA Conference*, 2001.
- [71] Pedrini A., «A methodology for building energy modeling and calibration in warm climates» in *Building and Environment*, 2002.
- [72] Norford L.K., «Two-to-one discrepancy between measured and predicted performance of a ‘low-energy’ office building: insights from a reconciliation based on the DOE-2 model» *Energy and Buildings*, 1994.
- [73] Yoon J., «Calibration procedure for energy performance simulation of a commercial building» *Journal of Solar Energy Engineering*, 2003.

- [74] T. Kusuda, «Building Environment Simulation Before Desktop Computers in the USA Through a Personal Memory» *Energy and Buildings*, Vol. 33, n. No. 4, pp. 291-302.
- [75] Winkelmann S., DOE-2 Supplement, Version 2.1E, Springfield, VA: Lawrence Berkeley National Laboratory, National Technical Information Service, 1993.
- [76] Fleming, W.S., and Associates,, A Simplified Energy-Analysis Method. Microcomputer Program Users Manual, Washington, Department of Energy, DC. Report: DOE/CE/20286-T1, 1983.
- [77] Liu, «Calibrating AHU Models Using Whole Building Cooling and Heating Energy Consumption Data» in *Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, Washington, 1998.
- [78] T. Kusuda, «Building Environment Simulation Before Desktop Computers in the USA Through a Personal Memory» *Energy and Buildings*, Vol. 1
- [79] Crawley G. J., «EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program» *Energy and Buildings*, Vol. 33, n. No. 4, pp. 319-331, 2001.
- [80] Solar Energy Laboratory, TRNSYS Version 15 User Manual and Documentation, Madison, WI, : Mechanical Engineering Department, University of Wisconsin, February 2000.
- [81] Binotto M., Software di simulazione energetica degli edifici e loro validazione, Padova: Università degli Studi di Padova, 2010.
- [82] Beattie K.H., The advantages of building simulation for building design engineers, Dublin Institute of Technology: Research Establishment, Garston - UK, 2001.
- [83] Ahmad M., Systematic Time-Based Study for Quantifying the Uncertainty of Uncalibrated Models in Building Energy Simulations, University, College Station, TX: Texas A&M , 2003.
- [84] Diamond H.B., «Comparison of DOE-2 Computer Program Simulations to Metered Data from Seven Commercial Buildings» *ASHRAE*, vol. Vol. 87, n. 1, pp. pp. 1222-1231, 1981.
- [85] Kaplan P.R., «Reconciliation of a DOE2.1c Model With Monitored End-use Data from a Small Office Building» *ASHRAE*, Vol. 1, pp. pp.981-993, 1992.
- [86] Haberl J.B., «Impact of Using Measured Weather Data vs. TMY Weather Data in a DOE-2 Simulation» *ASHRAE Transactions*, Vol. 1, pp. 558-576, 1995.
- [87] Haberl J.B., «Procedures for Calibrating Hourly Simulation Models to Measured Building Energy and Environmental Data» *ASME Journal of Solar Energy Engineering*,

Vol. 1, pp. 193-204, 1998.

- [88] Andersson S., «Building performance based on measured data» in *World Renewable Energy Congress - EEE*, Linkoping, Sweden, 2011.
- [89] Yu F.W., «Energy signatures for assessing the energy performance of chillers» *Energy and Buildings*, Vol. 37 (7), pp. 739-746, 2005.
- [90] Liu, «Use of Calibrated HVAC System Models to Optimize System Operation,» *ASME Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 120, pp. 131-138, 1998.
- [91] Huang Y., «Does It Matter Which Weather Data You Use in Energy Simulations?» *Proceedings of the ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Washington, DC, August 25 - 31*, Vol. 4, pp. 183-192, 1996.
- [92] *European SmartGrids Technology Platform Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future*, Document EUR 22040, 2006.
- [93] H. Chen, *Rehabilitating Missing Energy Use and Weather Data When Determining Retrofit Energy Savings in Commercial Buildings*, Determining Retrofit Energy Savings in Commercial Buildings: A&M University, College Station, TX, 1999.
- [94] Ghiaus C., «Experimental estimation of building energy performance by robust regression» *Energy and Buildings*, vol. Vol. 38, n. 6, pp. 582-587, 2006 .
- [95] J. Baltazar-Cervantes, *Study of Cubic Splines and Fourier Series as Interpolation Techniques for Filling in Short Periods of Missing Building Energy Use and Weather Data*, Texas A&M University, College Station, TX.: M.S. thesis, 2000.
- [96] Claridge D., «Perspective on Methods for Analysis of Measured Energy Data from Commercial Buildings» *Transactions of the ASME*, Vol. 120, pp. 150-155.
- [97] Bronson D., «A Procedure for Calibrating the DOE-2 Simulation Program to Non-Weather-Dependent Measured Loads» *ASHRAE Transactions*, Vol. 98, Paper number AN-92-1-5, pp. 636-652, 1992.
- [98] Manke H. D., «Calibrating Building Energy Analysis Models Using Short-Term Test Data,» in *Proceedings of the 1996 International Solar Energy Conference*, San Antonio, TX, March 31-April 3, 1996.
- [99] S. Thamilsaran, *An Inverse Bin Methodology to Measure the Savings from Energy Conservation Retrofits in Commercial Buildings*, Texas: Ph.D. dissertation A&M University, College Station, TX, 1999.
- [100] L. R. Westphal F.S., «Building simulation calibration using sensitivity analysis» in *Ninth International IBPSA Conference*, Montréal, Canada, 2005.

- [101] Jong-Ho Y., «Calibration procedure of energy performance simulation model for a commercial building» *IBPSA - the International Building Performance Simulation Association*, 1999.
- [102] K. Subbarao, «Method and Apparatus for Improving Building Energy Simulations,» Vol. 1, United States patent number 6, pp.134,511, 2000.
- [103] Bertagnolio S., IEA-ECBCS Annex 53: Total Energy Use in Buildings - Analysis and evaluation methods, Universite de liege faculte des sciences appliquees departement d'aerospatiale et mecanique laboratoire de thermodynamique, 2010.
- [104] Lydberg M., Source book for energy auditors. International Energy Agency – Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme Annex 11, Energy Auditing final report, 1987.
- [105] Bertagnolio S., «Simulation of a building and its HVAC system with an equation solver: Application to benchmarking» *Building Simulation: An International Journal*, vol. 1, pp. 234-250, 2008.
- [106] A. S. 90.1-2007, Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, 2007.
- [107] Lavigne K., «Assisted calibration in building simulation-algorithm description and case studies,» in *Proceedings of the 11th IBPSA Conference*, Glasgow, UK, 2009.
- [108] Reddy T., «Procedures for reconciling computer-calculated results with measured energy data» *ASHRAE Research Project - Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, n. 1051-RP, 2006..
- [109] Reddy T., «Development of an inverse method to estimate overall building and ventilation parameters of large commercial buildings» *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. Vol 121., pp. pp. 40-46., 1999.
- [110] Reddy T., «Literature review on calibration of building energy simulation programs: uses, problems, procedures, uncertainty and tools» *ASHRAE Transactions*, vol. 112(1), pp. 226-240, 2006.
- [111] Adam C., «A contribution to the audit of air-conditioning system: modelling, simulation and benchmarking» in *7th System Simulation in Buildings conference*, Liège, Belgium, 2006.
- [112] *Centro Oncologico Modenese "Progetto esecutivo, relazione tecnica"*, Settembre 1998.
- [113] H. S.B., «Influence of thermal zone assumption on DOE-2 energy use estimations of a commercial building» in *Master's Thesis*, Texas A&M University, 1991.

- [114] D. J. H. a. L. L. Crawley, «Improving the weather information available to simulation programs» in *Proceedings of Building Simulation '99*, Kyoto, Japan, IBPSA, 1999.
- [115] D. B. Crawley., «Which Weather Data Should You Use for Energy Simulations of Commercial Buildings?» *Atlanta: ASHRAE*, vol. Vol. 104, Pt. 2 , pp. 498-515, 1998.
- [116] Lombroso L., *L'Osservatorio di Modena: 180 anni di misure meteorologiche*, Modena: Edizioni SMS, 2008.
- [117] Lombroso L., «Annuario delle osservazioni meteorologiche dell'anno 2011 registrate dall'Osservatorio Geofisico di Modena» *Atti Soc.Nat.Mat. di Modena* , vol. 142 (2011), pp. 5-25, 2011.
- [118] Lombroso L., *Annuario delle osservazioni meteorologiche dell'anno 2012 registrate dall'Osservatorio Geofisico di Modena*, Atti Soc.Nat.Mat. di Modena , 2012.
- [119] Reichmuth H., «A Tool for Efficient First Views of Commercial Building Energy Performance» in *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*.
- [120] S. J. U., «Building performance based on measured data,» in *World Renewable Energy Congress* , Sweden, 2011.
- [121] Perez R., «Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance,» *Solar Energy*, vol. 44, pp. 271-289, 1990.
- [122] Kaplan C., «Guidelines for energy simulation of commercial buildings» *ACEE*, vol. 1, pp. 1.137 - 1.147, 1992.
- [123] . Koran W.E., «DOE-2.1C Model calibration with short-term tests versus calibration with long-term monitored data» *ACEEE*, vol. 3, pp. 3.165-3.176, 1992.
- [124] ENERGYPLUS™, *EnergyPlus Engineering Reference - The Reference to EnergyPlus Calculations*, Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory: US Department of Energy, 2012.
- [125] BLAST Support Office, *BLAST 3.0 Users Manual*, 1992: Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois.
- [126] Crawley D. B., «EnergyPlus: Energy Simulation Program» *ASHRAE Journal Online*, vol. vol. 42, n. 4, pp. 49-56, 2000.
- [127] Taylor, «Simultaneous simulation of buildings and mechanical systems in heat balance based energy analysis programs» in *Proceedings of the 3rd International Conference on System Simulation in Buildings*, Liege, Belgium, 1990.
- [128] Seem J. E., *Modeling of Heat Transfer in Buildings*, Ph.D. Thesis, University of

Wisconsin, Madison, WI.

- [129] Strand R. K., Heat Source Transfer Functions and Their Application to Low Temperature Radiant Heating Systems, Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana, IL, 1995.
- [130] Taylor, «Simultaneous Simulation of Buildings and Mechanical Systems in Heat Balance Based Energy Analysis Programs» in *Proceedings of the 3rd International Conference on System Simulation in Buildings*, Liege, Belgium, 1990.
- [131] Ceylan, «Long-time Solutions to Heat Conduction Transients with Time-Dependent Inputs» *ASME Journal of Heat Transfers*, vol. 102, n. 1, pp. 115-120, 1980.
- [132] «Improved data correlations for buoyancy-driven convection in rooms» *Building Services Engineering Research & Technology*, vol. 4, n. 3, 1983.
- [133] J. Huang, «Linking the COMIS multi-zone airflow model with the EnergyPlus Building Energy Simulation Program» in *Proceedings of Building Simulation'99*, Kyoto, Japan, IBPSA, 1999.
- [134] DesignBuilder ©, DesignBuilder Simulation CFD Training Guide, DesignBuilder Software, 2011.
- [135] Fisher D., «A modular, loop-based approach to HVAC energy simulation and its implementation in EnergyPlus,» in *Proceedings of Building Simulation '99*, Kyoto, Japan, IBPSA, 1999.
- [136] G. L., Analisi dinamica delle prestazioni energetiche di un complesso ospedaliero di piccole dimensioni mediante il codice EnergyPlus, Università di Pisa - Facoltà di Ingegneria, 2008.
- [137] Socal. L., «La firma energetica - Parte I» *Neo-Eubios*, n. 33, pp. 7-13, Settembre, 2010.
- [138] Soccavo C., *Firma Energetica - La corretta diagnosi energetica per un effettivo risparmio*, 2011.
- [139] Socal. L., «La firma energetica - Parte 2» n. 34, pp. 5-10, dicembre 2010.
- [140] Loague K., «Statistical and Graphical Methods for Evaluating Solute Transport Models: Overview and Application» *Contaminant Hydrol*, n. 7, pp. 51-73, 1991.
- [141] F. R.A., Statistical methods for research workers, Oliver & Boyd, 1954.
- [142] Willmott R., «Statistics for the evaluation and comparison of models» *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*, vol. 90, Issue C5, p. 8995–9005, 1985.
- [143] Willmott R., «Some Comments on the Evaluation of Model Performance» *Bull. Amer.*

Meteor. Soc., n. 63, p. 1309–1313, 1982.

- [144] Fox D., «Judging air quality model performance: A summary of the AMS Workshop on Dispersion Models Performance» *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, n. 62, pp. 599-609, 1981.
- [145] Kreider J.F., Predicting hourly building energy use: the great energy predictor shootout-overview and discussion results, ASHRAE Transactions Preprint, 1994.
- [146] Kreider J.F., Predicting hourly building energy usage, ASHRAE Journal, 1994.
- [147] Liu. M., HPCBS - Manual of procedures for calibrating simulations of building system, California Energy Commission Energy Research Program, 2003.
- [148] W. J.P., Computerized building energy simulation handbook, Lilburn, GA: Fraimont Press, 2000.
- [149] Willmott, «On the validation of models» *Phys. Geogr.*, n. 2, pp. 184-194, 1981.
- [150] L. M., Teoria degli errori e fondamenti di statistica (introduzione alla fisica sperimentale), Padova: Dipartimento di Fisica Università degli Studi di Padova, 2006.
- [151] M. M. Paola Caputo, «Modelli per la simulazione energetica,» ENEA, Roma, 2009.
- [152] Legge 24.12.2012 n° 228 , G.U. 29.12.2012 Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Legge di stabilità 2013), 2012.
- [153] Belcastro F., *Indici di benchmark di consumo per diverse tipologie di edificio e all'applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani negli edifici ospedalieri*, Roma: Ministero Sviluppo Economico, 2010.
- [154] Krarti M., *Energy Audit of Building Systems; An Engineering Approach.*, Florida: CRC Press, 2000.
- [155] F. E., «Strumenti per la stima dei consumi. Potenzialità, criticità e utilizzo del software di simulazione dinamica EnergyPlus» *Cda*, n. 2, , pp. 14-21., febbraio 2009.,.
- [156] Cipriano X., «Monitoring and modelling energy efficiency of municipal public buildings: case study in Catalonia region,» *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. e 28, , Issue 1-3, 2009.
- [157] *Centro Oncologico Modenese "Progetto esecutivo, relazione tecnica"*, settembre 1998.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare il Prof. Ing. Giovanni Sebastiano Barozzi, Prof. Ing. Paolo Tartarini, Prof. Ing. Mauro Corticelli e il Dott. Ing. Alberto Muscio per la professionalità, disponibilità e sincerità con cui mi hanno guidato in questi anni di dottorato.

Grazie all’Ing. Lugli, Ing. Frascarolo, Ing. Venturelli, Ing. Silvestro, Ing. Bagnasco e a tutti i tecnici del Servizio Attività Tecniche e Patrimoniali del Policlinico di Modena per la collaborazione che mi è stata offerta in questi anni.

Grazie di cuore all’Ing. Lodi, Ing. Allesina, Ing. Pedrazzi, Ing. Angeli, Ing. Franchini, Ing. Chiletti e Ing. Palma per l’amicizia, il sostegno e la collaborazione.

Grazie alle mie famiglie e alle mie figlie per insegnarmi quotidianamente a trovare sempre un lato allegro, curioso e nuovo di affrontare la vita.

Dati meteorologici cortesia Osservatorio Geofisico del Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari” Università di Modena e Reggio Emilia – si ringrazia il Sig. Luca Lombroso.