

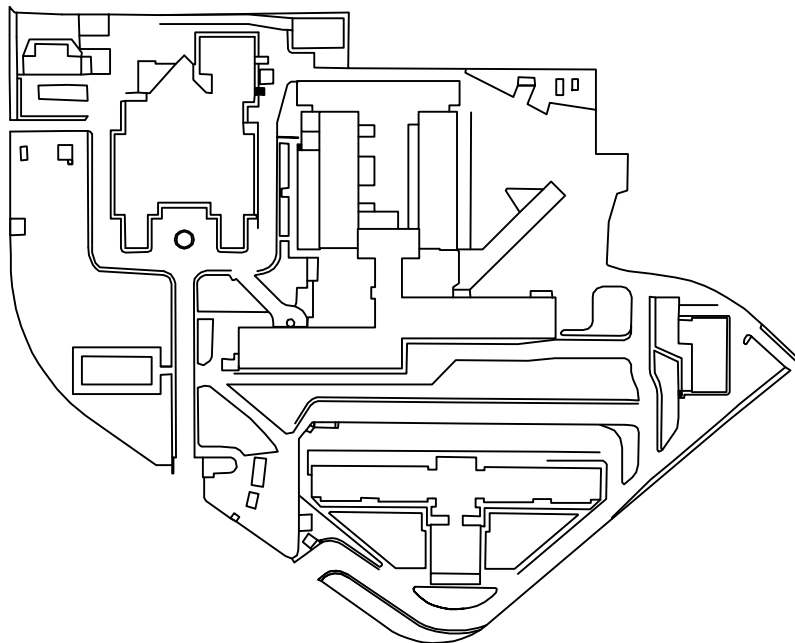


MINISTERO DELL'AMBIENTE

Programma Operativo Interregionale
"Energie rinnovabili e risparmio energetico"
2007-2013



ISTITUTO PER LO STUDIO E LA CURA DEI TUMORI
IRCCS "FONDAZIONE SENATORE G.PASCALE"
VIA MARIANO SEMMOLA - NAPOLI



PROGETTO PRELIMINARE - INTERVENTI PER L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEL COMPLESSO OSPEDALIERO NELL'AMBITO DELLE LINEE DI ATTIVITÀ 2.2 "INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI E UTENZE ENERGETICHE PUBBLICHE O AD USO PUBBLICO" E 2.5 "INTERVENTI SULLE RETI DI DISTRIBUZIONE DEL CALORE, IN PARTICOLARE DA COGENERAZIONE E PER TELERISCALDAMENTO E TELERAFFRESCAMENTO"

ELABORATO:
DIAGNOSI ENERGETICA EDIFICIO DAY HOSPITAL

COD.

DE

SCALA A4

DATA NOVEMBRE 2010

S.C.PROG. E MANUT. IMPIANTI

ING.ROBERTO SAMARELLI



Consulenza:

Università del Sannio



Dipartimento di ingegneria

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
ING. ROBERTO SAMARELLI

DISEGN.

CONTR.

RIFERIMENTO

SC Prog.Man.Imp.

N.

DATA

CAUSALE

COMPIL.

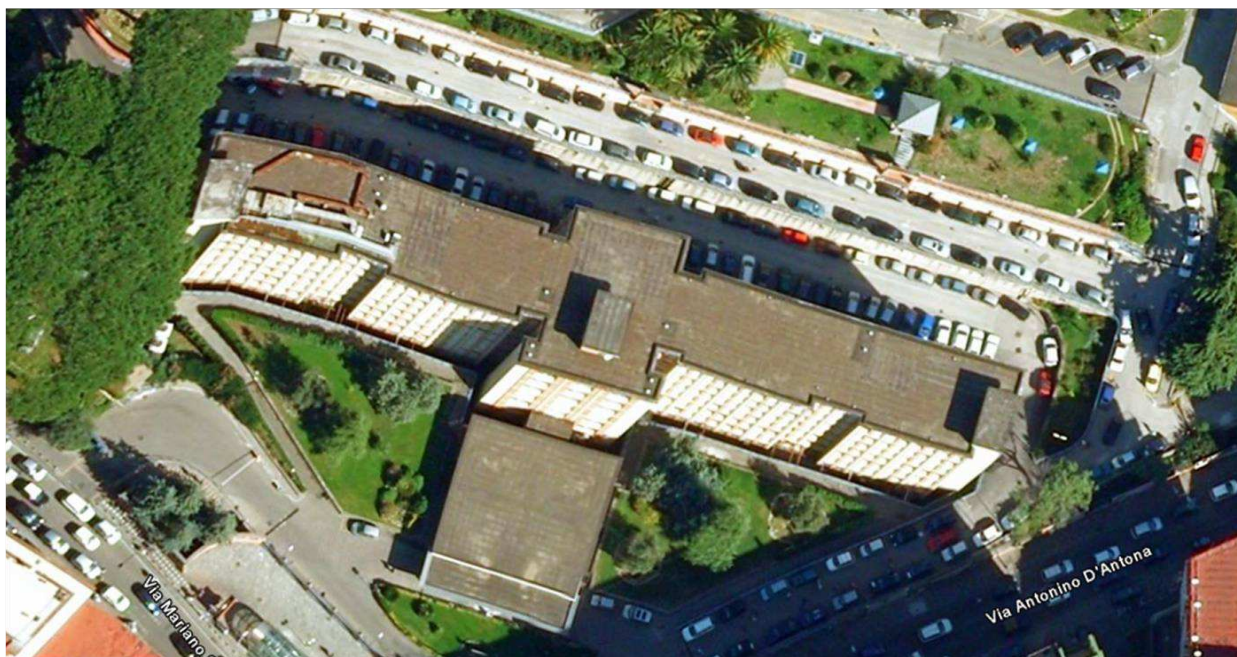
FILE CRP.PDF

REVISIONI

ISTITUTO NAZIONALE PER LO STUDIO E LA CURA DEI TUMORI
FONDAZIONE "G. PASCALE"

OGGETTO

**DIAGNOSI DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DELL'EDIFICIO DAY-HOSPITAL CONDOTTA SECONDO LE METODOLOGIE
PROPRIE DELL'ANALISI ENERGETICA IN REGIME DINAMICO**



Programma Operativo Interregionale
"Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico" 2007 - 2013

Diagnosi delle prestazioni energetiche dell'edificio Day-Hospital condotta secondo le metodologie proprie dell'analisi energetica in regime dinamico

PREMESSA

L'Istituto Ospedaliero "G. Pascale" ha avviato un processo di riqualificazione dei propri edifici ed impianti, volto al miglioramento delle condizioni di occupazione, alla riduzione dei consumi energetici da fonte tradizionale associati all'utilizzo degli edifici e alla sicurezza degli addetti e dei fruitori.

Una prima fase del lavoro, elaborata nella presente relazione tecnica e propedeutica allo sviluppo della soluzione progettuale definitiva, consiste in un audit energetico accurato dell'edificio. A tale proposito, risulta opportuno sottolineare che le metodologie di calcolo utilizzate non saranno quelle standard ("design" e "asset" rating), definite dal D.M. 26.06.2009 (Linee Guida Nazionali per la Certificazione Energetica degli Edifici), bensì le metodologie di calcolo "tailored rating", introdotte dal medesimo provvedimento legislativo.

In particolare, l'attuale normativa energetica italiana deriva le metodologie di calcolo da quelle emanate, a livello, europeo, dal pacchetto di standard elaborato dal CEN su mandato M343 di Commissione Europea e Consiglio dell'Unione.

In particolare, con il mandato M343 la Commissione europea ha dato incarico formale al CEN per l'elaborazione di un pacchetto armonico di metodologie di calcolo, tale da contemplare tutti gli usi energetici incidenti sulle prestazioni di un edificio e relative metodologie di classificazione. All'interno di un set di oltre 40 norme internazionali, ognuna delle quali specifica e descrive compiutamente una parte particolare (*ad esempio, lo scambio termico tra solaio e terreno o analisi dei rendimenti di distribuzione di varie reti idroniche*) del problema generale (*valutazione dell'efficienza energetica del sistema integrato edificio-impianto*), assume valenza centrale il ruolo di un particolare standard: la EN 13790/2008 "Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling".

Tale norma europea e mondiale (anche ISO) fornisce le metodologie di calcolo per le prestazioni energetiche dell'involucro edilizio, sia relativamente al riscaldamento invernale che al raffrescamento estivo, per edifici residenziali e non. Oltre al metodo di calcolo mensile, la norma ne presenta uno alternativo, orario, basato non su condizioni al controno standard bensì diversificate rispetto al tipo di utenza e caratterizzato da informazioni maggiormente dettagliate (molte delle quali fornite in appendice nella stessa norma). Tale metodo sarà quello nel seguito proposto.

L'attività di analisi ed audit energetico dell'edificio Day-Hospital dell'Ospedale Pascale, oltre che basato sulle procedure di calcolo internazionale, è stato ovviamente centrato sulle metodologie previste dalla normativa tecnica italiana, con particolare riferimento alle specifiche tecniche UNI TS 11300:2008 "Prestazioni energetiche degli edifici", riconosciute come strumento nazionale per la diagnosi energetica di edifici nuovi ed esistenti: la Parte 1 "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale" e la Parte 2 "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria".

Le procedure di calcolo contenute nei sopra-riportati standard rappresentano sia adattamento nazionale della EN 13790 sia norme tecniche derivate da altre metodologie di calcolo internazionali per la valutazione dei rendimenti degli impianti di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria (dedotti, in buona parte, dalla EN 15316-4/2008 "Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies").

La EN ISO 13790:2008 presenta una serie di metodi di calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento ambiente di un edificio. Altre norme consentono la valutazione dell'influenza delle perdite degli impianti di riscaldamento e raffrescamento, del recupero termico e dell'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile.

Secondo quanto previsto dall'attuale legislazione energetica italiana, che cita le UNI TS 11300, sia nel D.Lgs. 115/2008 sia nel D.P.R. 59/2009 che nel D.M. 26/06/2009, tali standard possono essere utilizzati per i seguenti scopi:

- 1) valutare il rispetto di regolamenti espressi in termini di obiettivi energetici;
- 2) confrontare le prestazioni energetiche di varie alternative progettuali per un edificio in progetto;
- 3) indicare un livello convenzionale di prestazione energetica degli edifici esistenti;
- 4) stimare l'effetto di possibili misure di risparmio energetico su un edificio esistente, calcolando il fabbisogno di energia con e senza ciascuna misura;
- 5) prevedere le esigenze future di risorse energetiche su scala nazionale o internazionale, calcolando i fabbisogni di energia di tipici edifici rappresentativi del parco edilizio.

Le suddette applicazioni trovano riscontro in diversi tipi di valutazione energetica di calcolo, come di seguito classificati, nel prospetto I tratto dalla stessa UNI TS 11300 parte 1.

| Tipo di valutazione | Dati di ingresso | | | Scopo della valutazione |
|---|-------------------------|----------|----------|--|
| | Uso | Clima | Edificio | |
| di Progetto (<i>Design rating</i>) | Standard | Standard | Progetto | Permesso di costruire Certificazione o Qualificazione energetica del progetto |
| Standard (<i>Asset rating</i>) | Standard | Standard | Reale | Certificazione o Qualificazione energetica |
| Adattata all'utenza (<i>Tailored rating</i>) | In funzione dello scopo | | Reale | Ottimizzazione, Validazione, Diagnosi e programmazione di interventi di riqualificazione |

In particolare, così come stabilito dalla Norma UNI 11300-1 relativamente alle valutazioni adattate all'utenza, per calcoli aventi scopi differenti da quello standard le temperature interne possono essere considerate costanti per l'intero periodo di funzionamento oppure definite variabili, in relazione ai reali profili di utilizzo dell'edificio e delle sue specifiche e varie destinazioni d'uso. Il tipo di valutazione ed i parametri utilizzati deve essere specificato con evidenza nel rapporto di calcolo.

Audit Energetico degli Edifici – Generalità

Nel seguente paragrafo sono descritte metodologie e layout procedurale per l'elaborazione di audit energetici degli edifici

La diagnosi energetica degli edifici consiste in una serie di operazioni basate su:

- rilievo sistematico di tutti i parametri che determinano l'entità di dispersioni e rientrate termiche.
- raccolta ed organizzazione delle grandezze che influenzano i consumi specifici, quali le condizioni di esercizio, gli affollamenti, i profili di utilizzo di edifici ed impianti.

L'audit energetico ha l'obiettivo di:

- Definire il bilancio energetico dell'edificio.
- Individuazione delle criticità e quindi possibilità di progettare accuratamente la riqualificazione energetica.
- Valutare, per ciascun intervento, le potenzialità di miglioramento delle prestazioni energetiche e, di conseguenza, la fattibilità economica oltre che tecnica dell'intervento stesso.
- Migliorare l'abitabilità dell'edificio, intesa come raggiungimento delle condizioni di comfort richieste in base al tipo di attività svolta all'interno.
- Contenere ed ottimizzare le spese di gestione commisurando gli interventi sulla base di un quadro conoscitivo esaustivo.

Un audit energetico è di norma suddiviso in una serie di attività conoscitive preliminari:

1. Analisi della documentazione disponibile in situ;
2. Rilievo dei dati mediante prove strumentali;
3. Elaborazione dei dati e raccolta di questi in dati sintetici chiari ed esaustivi.

1. Fase di analisi della documentazione

a) Involucro edilizio

Tale fase di lavoro prevede lo studio dei progetti e dei rilievi dell'involucro edilizio in termini di:

- Planimetrie
- Prospetti
- Sezioni
- Schede tecniche dei materiali adoperati
- Analisi della documentazione relativa a capitolati, progetti approvati di ristrutturazioni pregresse

b) Impianti tecnici

- Analisi dei progetti degli impianti di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, climatizzazione
- Impianti idrici
- Impianti per la conversione energetica da fonti rinnovabili
- Analisi dei capitolati e della documentazione tecnica relativa agli impianti.
- Analisi dei consumi energetici dalle distinte dei contratti di fornitura

2. Fase di rilievo

Si è proceduto ai seguenti rilievi:

- × Rilievo esterno
- × Rilievo interno
- × Rilievo dei parametri significativi delle singole zone termiche
- × Rilievo impiantistico

- × Misure in campo mediante utilizzo di termoflussimetri

3. Fase di elaborazione dei dati

Le simulazioni dinamiche BEPS (Building Energy Performance Simulation) hanno consentito analisi energetiche dinamiche edificio-impianto di climatizzazione, individuando, nelle diverse categorie edilizie precedentemente citate e caratterizzate da specifiche peculiarità, le condizioni termoigrometriche interne medie, i carichi di riscaldamento-raffreddamento, le richieste energetiche, su base oraria. Tali analisi numeriche hanno consentito valutazioni sia di tipo qualitativo (capacità di controllo dei parametri microclimatici da parte delle soluzioni impiantistiche studiate) che di tipo quantitativo (richieste energetiche), superando i limiti dello studio statico in condizioni di progetto, avvalendosi di dati climatici orari e possibilità di variazione temporale del carico endogeno (funzionamento di dispositivi elettrici installati, illuminazione artificiale, presenza variabile di persone).

Le numerose informazioni fornite da questo tipo di analisi hanno consentito di inquadrare problematiche e fornire soluzioni, permettendo valutazioni relative alla rispondenza di molte e diverse soluzioni progettuali, sia per quanto riguarda l'involucro edilizio (composizione delle strutture, grado di isolamento, capacità termica e parametri termofisici dinamici) che relativamente agli impianti (consentendo di confrontare diverse soluzioni progettuali, dalle configurazioni più diffuse in ambito ospedaliero a quelle di maggiore interesse tecnologico per quanto concerne l'aspetto di innovazione).

Sostanzialmente, esistono due diversi approcci all'audit energetico di un edificio:

- × audit energetico leggero
- × audit energetico dettagliato

L'audit energetico light inizia con sopralluoghi agli edifici, individuazione delle caratteristiche di involucro e impianti e individuazione di interventi di massima.

L'audit energetico di dettaglio richiede analisi e studio di documentazione progettuale, misure in campo, indagini in situ anche di tipo invasivo.

Con riferimento all'edificio Day-Hospital del complesso Ospedaliero "G. Pascale", l'audit energetico è stato effettuato valutando i fabbisogni energetici per la climatizzazione invernale (riscaldamento) ed estiva (raffrescamento). I dati sono stati calcolati ambiente per ambiente, piano per piano, e poi raccolti in dati medi relativi all'intero edificio.

4. Fase di Analisi dei consumi storici e valutazione delle richieste da "firma energetica".

In una sorta di "firma energetica", sono stati censiti i dati reali di consumo. Una delicata operazione di analisi ha riguardato le distinte dei contratti di fornitura, di gas ed energia elettrica, degli ultimi anni. Tali dati, integrati da informazioni relative all'utilizzo di tutti gli impianti, hanno permesso la costruzione di una richiesta energetica mensile media.

5. Fase di proposizione di interventi mirati alla riduzione dei consumi energetici

Sulla base dei risultati ottenuti dalla modellazione dell'edificio, sarà possibile simulare, durante la fase progettuale, diversi scenari prestazionali derivanti dalla adozione delle tecnologie adottate, valutando, per ciascuno di questi, i tempi di ritorno degli investimenti, l'efficacia tecnico-economica.

Tale fase non è stata sviluppata in quanto le linee guida, basate su progetto preliminare, sono state elaborate a cura dell'Ufficio Tecnico della Fondazione "G. Pascale".

Fase 1: Reperimento dei dati relativi all'edificio:

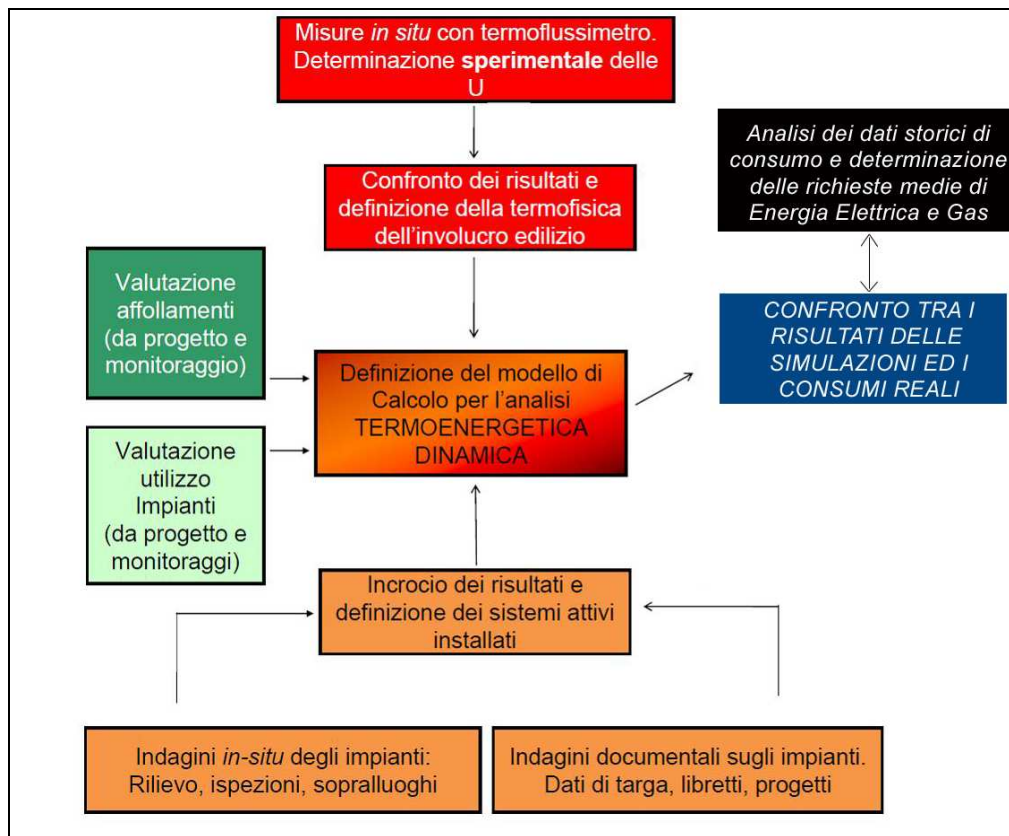
- * audit di involucro: raccolta dati e caratteristiche dell'involucro
- * audit degli impianti termici
- * audit degli impianti elettrici

Descrizione del simulatore energetico utilizzato

La simulazione energetica è stata condotta mediante utilizzo diretto del motore di calcolo di EnergyPlus 5.0.0. La sola costruzione geometrica del modello e la suddivisione delle zone termiche interne si sono avvalse del codice di interfaccia Design Builder. La caratterizzazione termofisica dell'involucro edilizio, sia per quanto concerne le strutture di confine con l'esterno che relativamente alle partizioni tra ambienti, è stata effettuata in EnergyPlus. Altri dati in ingresso, come meglio specificato nel seguito, direttamente implementati nel motore del U.S. Department of Energy, sono stati desunti da rilievo sull'edificio, monitoraggi in campo delle temperature, analisi endoscopiche, carotaggi e susseguente valutazione dei parametri termici (ISO 6946), campagne di valutazione della conduttanza termica in opera mediante termo-flussimetro (ISO 9869).

Il modello di calcolo, definito in ogni dettaglio mediante dati desunti dalle analisi sopracitate, ha fornito risultati poi confrontati con i dati storici di consumo, sia per quanto concerne il prelievo di energia elettrica dalla rete che relativamente alle forniture di gas naturale per l'alimentazione del generatore a combustione.

Dopo l'accurata modellazione dell'edificio, con analisi numeriche predittive di risultati corrispondenti a quelli derivanti dalla lettura delle prestazioni reali, diviene possibile, mediante altri studi numerici da svolger in fase progettuale, testare l'efficacia, singola e cumulata, di varie soluzioni per l'ottimizzazione energetica dell'edificio.



Pertanto, mediante “firma energetica”, sono stati censiti i dati reali di consumo. Una delicata operazione di analisi ha riguardato le distinte dei contratti di fornitura, di gas ed energia elettrica, degli ultimi anni. Tali dati, integrati da informazioni relative all’utilizzo di tutti gli impianti, hanno permesso la costruzione di una richiesta energetica mensile media.

Oltre all’utilizzo del motore di EnergyPlus 5.0.0, per la conduzione delle simulazioni sono stati utilizzati i seguenti software:

- * Design Builder: pre-processor per la modellazione geometrica dell’edificio;
- * CalcSoilSurfTemp Program e Ground Heat Transfer: pre-processor per la definizione della termofisica del suolo;
- * Idf editor: compilatore di testo per la definizione del file di input di Eplus;
- * HVAC Template: pre-processor per impianti termici.
- * Microsoft Excel: per l’analisi degli output.

Descrizione dell’edificio Day-Hospital

L’edificio Day-Hospital ha una forma rettangolare allungata, simmetrica rispetto ad un corpo centrale più largo, elevandosi per 7 piani fuori terra (incluso uno parzialmente interrato), con un’altezza complessiva di 26.6 piani fuori terra.

A Sud-Ovest, l’edificio presenta un blocco posto in adiacenza, monoplano addossato al piano terra.

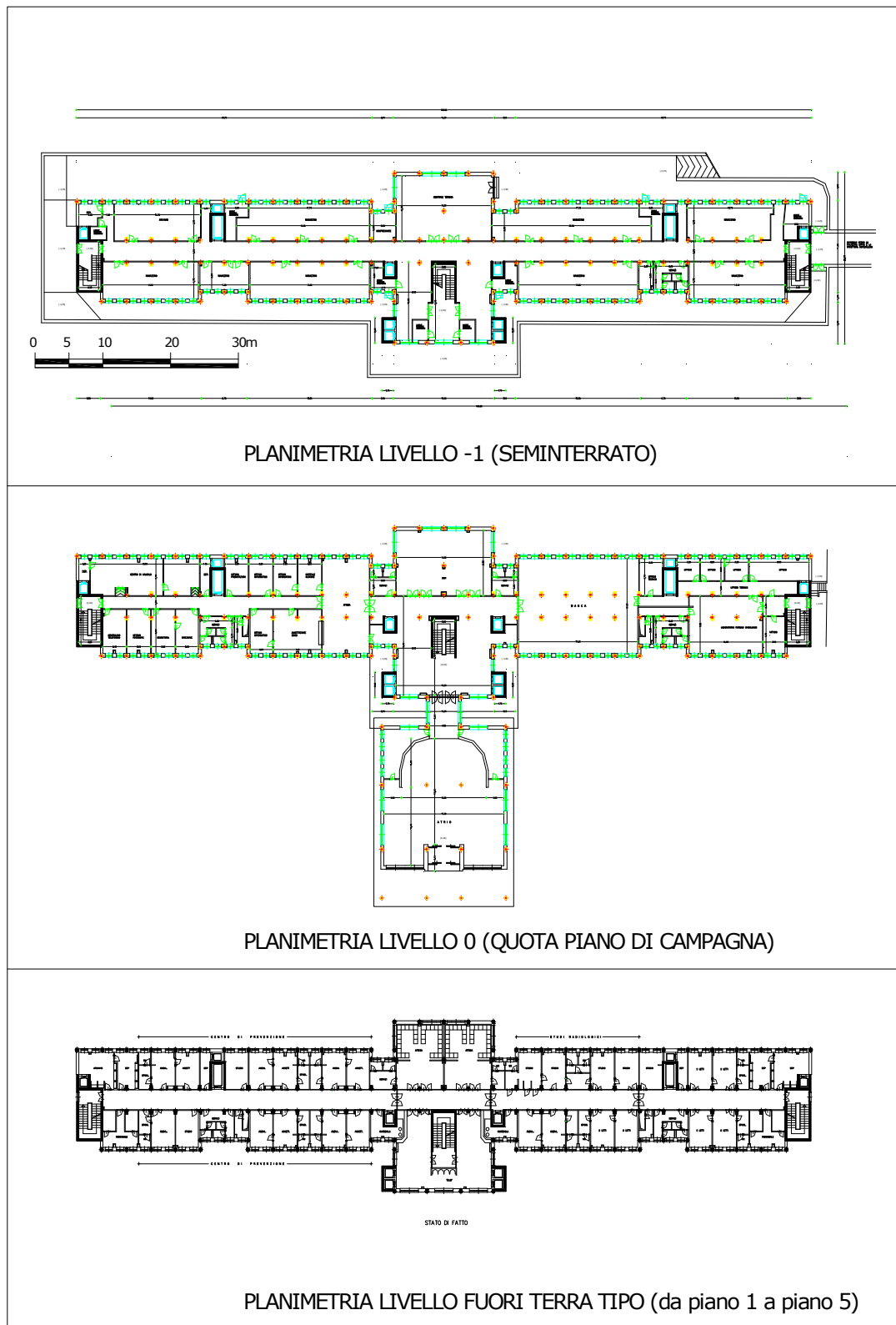
L’involucro edilizio attuale dell’edificio Day-Hospital è costituito dalla chiusure, opache e trasparenti, descritte nelle loro principali caratteristiche geometrico-termofisiche, nell’elenco puntato di seguito proposto:

- × Parete esterna: tamponature esterne in doppio tavolato di mattoni forati, caratterizzate da laterizi forati da 10 cm sul lato interno, intercapedine inclusa, e mattoni semi-forati in clinker, a faccia vista sul lato esterno. Il muro è intonaco solo sul lato interno, mentre sul lato esterno è esposto, come sopra anticipato, il laterizio; la trasmittanza termica complessiva valutata da calcolo risulta pari a 1.30 W/(m²K).
- × Intelaiatura in calcestruzzo armato: il reticolo di travi e pilastri, immediatamente visibile nel prospetto esterno dell'edificio, presenta un sistema a telaio in calcestruzzo armato. Lo spessore dei pilastri è di 40 cm, intonacati. Le strutture portanti sono semplicemente intonacate su entrambi i lati, senza nessun tipo di isolamento termico e, allo stato attuale, costituiscono, pertanto, un significativo elemento di dispersione e energetica, rappresentando ponti termici diffusi e fortemente incidenti sulla richiesta energetica.
- × Vani sottofinestra: I sottofinestra attuali sono costituiti da tamponatura in muratura, presentando uno spessore di circa 15 cm, notevolmente inferiore, quindi, allo spessore del compagno corrente.
- × Solaio a terra: struttura in latero-cemento non isolata; trasmittanza termica complessiva di calcolo pari a 2.68 W/(m²K).
- × Copertura: elemento strutturale in latero-cemento, senza presenza di isolamento termico; trasmittanza termica complessiva di calcolo pari a 2.86 W/(m²K).
- × Finestre: vetro-camera semplice 3/6/3, con riempimento della camera in aria; infisso in metallo; trasmittanza termica di calcolo pari a 3.2 W/(m²K).

Ai sensi del decreto legislativo 192/2005 e del D.P.R. 59/2009, qualora un edificio esistente sia interessato da interventi di ristrutturazione parziale e/o totale, gli interventi sulle murature e sulle pareti vetrate devono essere tali da indurre trasmittanze termiche inferiori ai limiti di legge stabiliti per la specifica zona climatica (allegato C del D. Lgs. 311/2006).

Ciò implica, nelle condizioni climatiche di Napoli (Zona Climatica C, 1034 GG), le seguenti trasmittanze massime ammesse per i componenti dell'involucro edilizio su cui si interviene:

| | Pareti esterne | Copertura | Solaio a Terra | Finestre |
|---|----------------|-----------|----------------|----------|
| U _{LEGGE} W/(m ² K) | 0.40 | 0.38 | 0.42 | 2.6 |



Descrizione delle principali condizioni al controno e dell'edificio Day-Hospital

La ricostruzione dei consumi energetici per il riscaldamento ed il raffrescamento degli ambienti può essere condotta con metodologie di calcolo stazionarie o dinamiche. La simulazione stazionaria fa riferimento a condizioni climatiche tipiche e a carichi interni o a contributi dovuti alla radiazione solare

standard medi. La simulazione dinamica tiene conto, invece, delle variazioni orarie del clima, dei carichi interni, dell'accesso di radiazione solare. Soprattutto quando si vogliono valutare le prestazioni durante la stagione estiva, questo tipo di simulazione è l'unico strumento che consente di modellare in modo efficace l'edificio e ricostruire il fabbisogno energetico, in quanto l'inerzia termica dell'involucro edilizio e quindi la risposta temporale ad un cambiamento climatico esterno non possono essere descritti con metodi di calcolo medi mensili.

Lo strumento utilizzato in questo lavoro di modellazione e diagnosi dell'edificio ospedaliero è Energy Plus, mediante l'interfaccia grafica Design Builder.

La simulazione in EnergyPlus prevede le seguenti fasi:

1. scelta della località e definizione dell'orientamento dell'involucro;
2. costruzione del modello geometrico e dei componenti di involucro;
3. definizione dei parametri di attività e di funzionamento dell'edificio;
4. scelta dell'intervallo di simulazione.

Nel database del codice è disponibile il file climatico dinamico ASHRAE IWEC relativo alla località Napoli per cui è stato possibile eseguire l'analisi delle prestazioni dell'edificio considerando le reali caratteristiche geografiche e climatiche (tabella seguente) della città in cui è situato l'edificio.

| | |
|--|-----------------------|
| Località | NAPOLI |
| Latitudine | 40° 51' |
| Longitudine | 14° 16' |
| Gradi giorno | 1034 |
| Zona climatica | C |
| Temperatura esterna minima invernale | +2 |
| Periodo convenzionale di riscaldamento | 15 Novembre- 31 Marzo |

Dati climatici di Napoli

Dopo aver impostato i parametri climatici descrittivi della località in cui si vuole simulare il comportamento energetico dell'edificio, si è passati alla creazione del modello e alla scelta dei materiali di involucro.

Per creare in maniera corretta un modello di edificio che sia il più possibile fedele a quello reale, è stato necessario riportare l'esatta geometria e forma di tutte le superfici opache e trasparenti che costituiscono l'involucro edilizio ed il loro corretto posizionamento all'interno di esso.

Una volta completata la creazione del modello, si passa alla scelta sia dei materiali che compongono le superfici opache che di quelli utilizzati per le superfici trasparenti. A tale proposito è bene sottolineare come Design Builder sia già fornito di un ricco database di componenti edilizi di ogni tipo. Partendo da questi è stato possibile comporre la stratigrafia di ogni superficie di involucro in modo da ricreare le caratteristiche termiche dell'involucro reale.

Infatti, ai fini del contenimento del consumo energetico di un edificio, e quindi della qualità energetica dello stesso, riveste un ruolo di fondamentale importanza la trasmittanza termica delle strutture dell'involucro, che è strettamente legata a quelle che sono le caratteristiche costruttive e ai materiali impiegati.

Per ottenere un modello accurato e quindi una diagnosi efficace dell'edificio, si sta lavorando per incrociare i risultati derivati dal calcolo analitico dei parametri termici stazionari (la trasmittanza delle

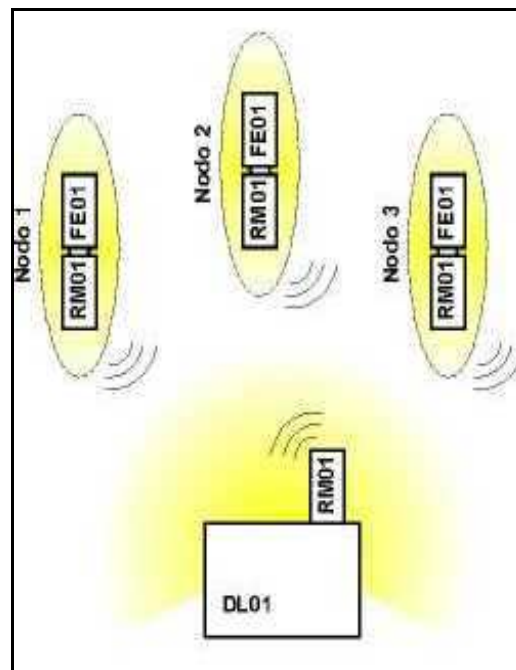
strutture) e dinamici (le ammettenze termiche) caratterizzanti l'involucro edilizio, con quelli ottenuti dalle misure in campo mediante monitoraggio con termoflussimetri.

Il metodo di rilievo del valore di trasmittanza in opera mediante termoflussimetro è in grado di restituire valori attendibili di conduttanza, trasmittanza e resistenza termica elaborati su diversi periodi di campionamento insieme al calcolo degli scarti tra i diversi risultati di resistenza termica al fine di valutare entro un intervallo rappresentativo i valori la variabilità dei risultati ottenuti (metodo delle medie progressive), così come previsto dalla norma ISO 9869.

Da esperienze provenienti dalla letteratura tecnica, si riscontra inoltre che generalmente i valori di trasmittanza misurata sono superiori a quelli della trasmittanza calcolata (anche dell'ordine del 20%). I motivi vanno ricercati tra la messa in opera non conforme al progetto, la degradazione delle prestazioni isolanti dei materiali nel corso del tempo, le condizioni ambientali diverse da quelle di progetto (es. umidità negli strati isolanti).

Nel caso in esame si è proceduto alla misura in opera della trasmittanza con un termoflussimetro wireless ThermoZig della Carlesi Strumenti fornito dal laboratorio di tecnica delle costruzioni dell'Università degli Studi del Sannio. Lo strumento ha una sensibilità, relativamente al flusso termico, pari a $0,01 \text{ W/m}^2$ e un'accuratezza della misura maggiore del 5%.

Il sistema di acquisizione completo prevede la dislocazione di uno o più nodi di misura, dotati di opportuni sensori, e di un apparecchio DL01:



Sistema di acquisizione wireless

I sensori di misura sono stati posizionati in corrispondenza di due porzioni di superficie caratteristiche dell'involucro esterno. In particolare si sono effettuate le misure in corrispondenza del sottofinestra e della tamponatura con rifinitura esterna in mattoni che comprende parzialmente la facciata principale. Di seguito è fornita una spiegazione approfondita della valutazione fatta.

Per avere una stima del degrado delle prestazioni termiche di tali componenti edilizi, si è proceduto poi, al confronto del valore di trasmittanza termica misurato con quello teorico, calcolato secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN ISO 6946.

Poiché dalle indagini con il termoflussimetro, è possibile determinare il valore delle trasmittanze delle strutture caratteristiche, nel costruire il modello, le stratigrafie sono state tarate proprio sui valori

misurati, in modo da compensare lo scostamento che si sarebbe ottenuto utilizzando i risultati ottenuti da un calcolo nominale di trasmittanza.

Nella figura seguente viene mostrata una sezione della parete esterna. Questa si può considerare costituita da tre "sottostrutture edilizie"; considerando la trasmittanza di ciascuna di esse, e il peso medio che avrebbero in funzione della superficie netta complessivamente occupata, si può ottenere un valore di trasmittanza "da letteratura" come somma pesata dei diversi contributi. Il valore netto deve poi essere maggiorato del 20% per considerare l'effetto del flusso non monodimensionale attraverso strutture eterogenee, come previsto dalla norma.



Nelle tabelle seguenti vengono riportate le stratigrafie d'interesse delle diverse "sottostrutture".

| # | strato | s | λ | R | R/Rcompl | δ | $Z_v \cdot 10^9$ | Z_v/Z_{compl} |
|---|---------------------------------|------------|-----------|---------------------|--------------|-------------|-------------------------|-----------------|
| | | m | W/(m K) | m ² K/ W | % | ng/(s Pa m) | s Pa m ² /ng | % |
| | strato lim. int. | | | 0.13 | 19.8 | | | |
| 1 | intonaco | 0.010 | 0.58 | 0.0172 | 2.6 | 18.0 | 0.56 | 0.3 |
| 2 | laterizio | 0.080 | 0.3 | 0.2667 | 40.6 | 18.0 | 4.44 | 2.8 |
| 3 | calcestruzzo a struttura chiusa | 0.400 | 2.08 | 0.1923 | 29.3 | 2.6 | 153.85 | 96.3 |
| 4 | intonaco | 0.010 | 0.9 | 0.0111 | 1.7 | 12.0 | 0.83 | 0.5 |
| | strato lim. est. | | | 0.04 | 6.1 | | | |
| | TOTALE: | 0.5 | | 0.657 | 100.0 | | 159.68 | 100.0 |

| | | |
|---|-------|--------------------------|
| La trasmittanza termica unitaria della parete è | 1.522 | W/(m ² K) |
| La permeanza unitaria della parete è | 6.263 | ng/(m ² s Pa) |

Stratigrafia della sezione pilastri e travi

| # | strato | s | λ | R | R/Rcompl | δ | Zv*10 ⁹ | Zv/Zcompl |
|---|------------------|-------|-----------|---------------------|----------|-------------|-------------------------|-----------|
| | | m | W/(m K) | m ² K/ W | % | ng/(s Pa m) | s Pa m ² /ng | % |
| | strato lim. int. | | | 0.13 | 21.7 | | | |
| 1 | intonaco | 0.010 | 0.58 | 0.0172 | 2.9 | 18.0 | 0.56 | 6.9 |
| 2 | laterizio | 0.120 | 0.3 | 0.4 | 66.9 | 18.0 | 6.67 | 82.8 |
| 3 | intonaco | 0.010 | 0.9 | 0.0111 | 1.9 | 12.0 | 0.83 | 10.3 |
| | strato lim. est. | | | 0.04 | 6.7 | | | |
| | TOTALE: | 0.14 | | 0.598 | 100.0 | | 8.06 | 100.0 |

La trasmittanza termica unitaria della parete è 1.672 W/(m² K)

La permeanza unitaria della parete è 124.138 ng/(m² s Pa)

Stratigrafia del cassonetto e sottofinestra

| # | strato | s | λ | R | R/Rcompl | δ | Zv*10 ⁹ | Zv/Zcompl |
|---|------------------|-------|-----------|---------------------|----------|-------------|-------------------------|-----------|
| | | m | W/(m K) | m ² K/ W | % | ng/(s Pa m) | s Pa m ² /ng | % |
| | strato lim. int. | | | 0.13 | 11.4 | | | |
| 1 | intonaco | 0.010 | 0.58 | 0.0172 | 1.5 | 18.0 | 0.56 | 3.3 |
| 2 | laterizio | 0.160 | 0.3 | 0.5333 | 46.8 | 18.0 | 8.89 | 52.5 |
| 3 | aria | 0.160 | 0.0 | 0.18 | 15.8 | 193.0 | 0.83 | 4.9 |
| 4 | laterizio | 0.120 | 0.5 | 0.24 | 21.0 | 18.0 | 6.67 | 39.4 |
| | strato lim. est. | | | 0.04 | 3.5 | | | |
| | TOTALE: | 0.45 | | 1.14 | 100.0 | | 16.94 | 100.0 |

La trasmittanza termica unitaria della parete è 0.877 W/(m² K)

La permeanza unitaria della parete è 59.031 ng/(m² s Pa)

Stratigrafia della parete in mattoni

Nella tabella seguente si riporta il peso da assegnare alla resistenza di ciascuna "sottostruttura", il suo peso percentuale e la complessiva della struttura con cui si modellerà la parete esterna dell'edificio.

| | Peso [%] |
|---------------------------|----------|
| Sezione pilastri e travi | 33 |
| Sezione sottofinestra | 18 |
| Sezione cassonetto | 15 |
| Sezione parete in mattoni | 34 |

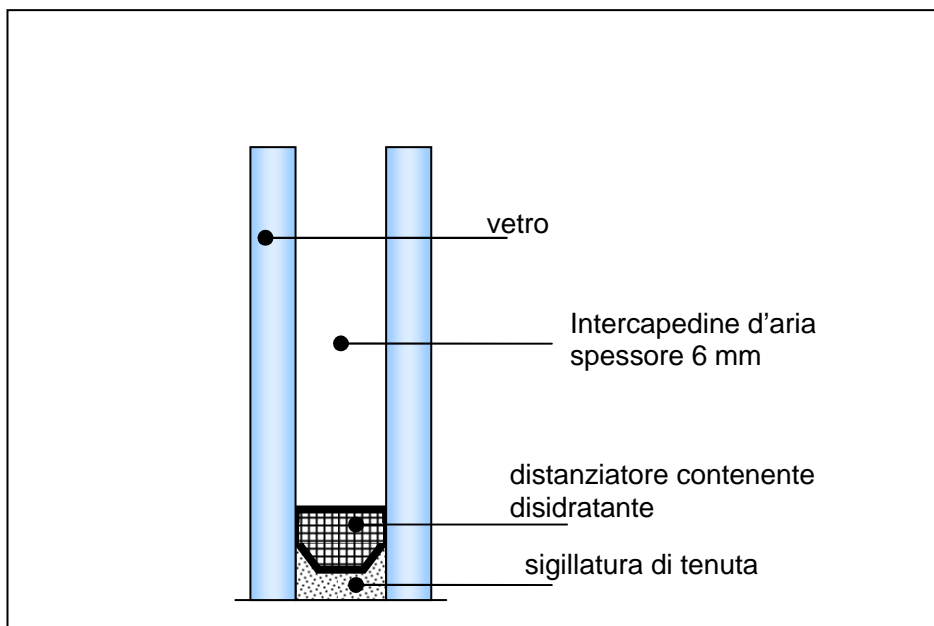
Facendo la somma pesata e considerando la maggiorazione suddetta, per l'edificio si considera una trasmittanza media dell'involucro di $1.3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; tale valore peraltro mostra una buona convergenza con i risultati di misura sperimentali.

Invece per il solaio si è considerata una struttura in latero-cemento, senza presenza di isolamento termico, con una trasmittanza termica di calcolo pari a $2.68 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Il corpo d'ingresso, antistante il primo piano rialzato dell'edificio, invece, presenta una struttura più omogenea a cui è attribuita la trasmittanza e le caratteristiche termiche e di spessore riportate nella figura relativa alla stratigrafia in mattoni. Considerando quindi la maggiorazione al 20%, a tale blocco è stata assegnata una trasmittanza di $1.05 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Per quanto riguarda i componenti trasparenti, come ormai diffuso da molti anni, sono presenti vetrocamere che, seppur malridotti, comportano comunque vantaggi energetici rispetto al vetro singolo per la minore dispersione invernale. Una finestra con vetrocamera, è formata da due lastre di vetro, separate da distanziatori sigillati che creano un'intercapedine d'aria immobile e asciutta che limita gli scambi termici per convezione, sfruttando la scarsa conduttività termica dell'aria.

Pertanto, come risultato dai sopralluoghi, su tutto l'edificio è stata considerata complessivamente un'unica tipologia di vetrocamera: vetro doppio con lastre chiare non rivestite e intercapedine d'aria, (6 mm), con telaio in metallo e trasmittanza totale pari a $3.23 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.



Schema di un vetrocamera

Una volta aver completato la costruzione stratigrafica dei componenti di involucro opachi e trasparenti, si passa all'impostazione dei parametri che caratterizzano l'attività svolta nell'edificio.

A tale proposito la norma UNI TS 11330 parte 1 distingue tre diverse tipologie di valutazione che si possono compiere:

1. valutazione di progetto (Design Rating): si utilizzano parametri climatici e di utenza standard e dati relativi all'edificio basandosi sugli elaborati di progetto;
2. valutazione standard (Asset Rating): come la Design Rating, utilizza parametri climatici e di utenza standard, ma per i dati relativi all'edificio fa riferimento alle caratteristiche reali della costruzione e non a quelle di progetto;

3. valutazione adattata all'utenza (Tailored Rating): i dati climatici e quelli che caratterizzano l'utenza variano a seconda dei casi, mentre per i dati relativi all'edificio fa riferimento alla costruzione reale, come per l'Asset Rating.

Poiché l'obiettivo è stato quello di costruire un modello convergente alla struttura reale, tutti gli studi sono stati effettuati in regime di calcolo da progetto, Asset Rating, per la "quantificazione" dell'energia risparmiabile mediante valutazione standardizzata.

Per realizzare un'analisi accurata è stato necessario costruire un modello di calcolo molto dettagliato, in cui fossero specificate tutte le zone termiche in funzione della destinazione d'uso dei diversi locali in cui ciascun piano è suddiviso.

A partire dal primo piano, le tipologie di destinazione d'uso dell'edificio, di cui si darà descrizione dettagliata a breve, sono quelle tipiche dell'attività ospedaliera in cui sono presenti apparecchiature specifiche il cui consumo deve essere valutato caso per caso. A questo si deve aggiungere l'apporto metabolico delle persone. Gli occupanti, infatti, apportano un contributo di calore sia sensibile sia latente che varia a seconda del grado di attività e della temperatura in ambiente.

Il regime d'uso dell'edificio permette di definire i carichi termici interni al sistema, che nella stagione invernale costituiscono apporti gratuiti che diminuiscono il fabbisogno di riscaldamento mentre in estate comportano dei carichi aggiuntivi.

Considerazioni separate vanno fatte per il piano seminterrato e per il piano terra.

Infatti il piano seminterrato è occupato essenzialmente dalla centrale termica e dai magazzini, cioè depositi permanenti di macchine o archivi. Questi locali saranno modellati come ambienti evidentemente non climatizzati. Invece al piano terra, la sezione centrale è occupata dalla banca e da un'area ristoro (Bar) che devono essere modellati in riferimento ai profili che la letteratura tecnica suggerisce per tali destinazioni d'uso.

Per tener fede, a quelli che sono i carichi reali, sono state create 9 zone termiche differenti, analizzate contemporaneamente per gestire meglio l'influenza reciproca dei diversi ambienti con caratteristiche sensibili differenti (fonte Hospital- British National Childbirth Trust). Si sono create dunque le seguenti zone:

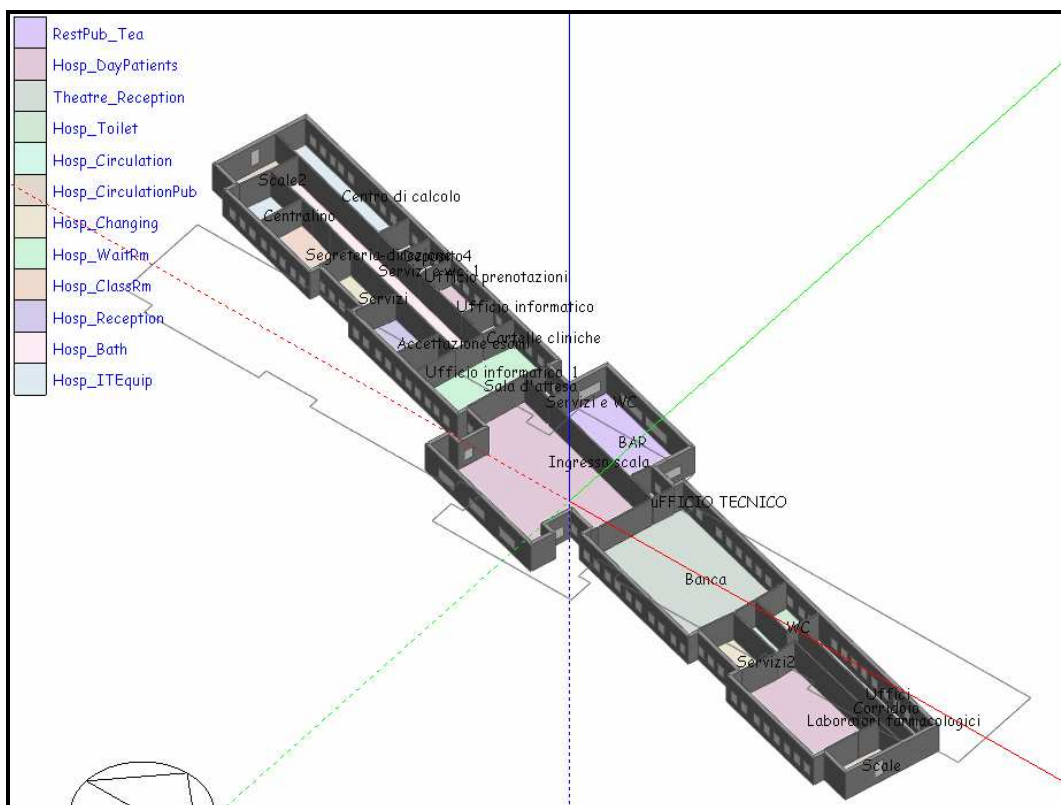
- * zona termica "servizi": il carico relativo alle apparecchiature è di 5 W/m^2 e per l'occupazione si assume 0.5 persone $/\text{m}^2$ mentre per il tasso di ricambio si considerano 10 l/sec persona. Con questa zona si modellano tutti gli ambienti riservati al personale, quali bagni e spogliatoi;
- * zona termica "ambulatorio": il carico relativo alle apparecchiature è di 15 W/m^2 e per l'occupazione si assume 0.2 persone $/\text{m}^2$ mentre per il tasso di ricambio si considerano 10 l/sec persona. Con questa zona si modellano tutti gli ambienti riservati alle visite ambulatoriali, consulti medici o attività che non richiedono apparecchiature specifiche di particolare carico, l'area relativa alla compilazione delle cartelle cliniche;
- * zona termica "sala a cura intensiva": per l'occupazione si assume 0.25 persone $/\text{m}^2$ mentre per il tasso di ricambio si considerano 28 l/sec persona. Con questa zona si modellano tutti gli ambienti operatori e di preparazione, gli ambienti con macchinari specifici per radiografie, ecografie ecc. impostando un diverso valore per i carichi specifici attraverso approfondimenti su norme e materiali;
- * zona termica "degenza": il carico relativo alle apparecchiature è di 10 W/m^2 e per l'occupazione si assume 0.17 persone $/\text{m}^2$ mentre per il tasso di ricambio si considerano 13 l/sec persona. Con questa zona si modellano tutti gli ambienti riservati alla degenza degli ammalati, con particolare riferimento alle camere per la permanenza prolungata in ospedale;
- * zona termica "sala d'attesa": il carico relativo alle apparecchiature è di 4.5 W/m^2 e per l'occupazione si assume 0.4 persone $/\text{m}^2$ mentre per il tasso di ricambio si considerano 10 l/sec persona;

- * zona termica "corridoio": è una zona termica riscaldata, utilizzata per modellare tutte le zone di passaggio verso l'interno;
- * zona termica "atrio": è una zona termica non riscaldata, utilizzata per modellare tutte le zone di passaggio verso l'esterno, le scale e il vano ascensore;
- * zona termica "magazzino": è una zona termica non riscaldata, utilizzata per modellare la gran parte del piano seminterrato
- * zona termica "banca": è una zona termica riscaldata, utilizzata per modellare il complesso bancario;
- * zona termica "bar": è una zona termica riscaldata, utilizzata per modellare la zona di ristorazione al piano terra. A questa zona sono attribuiti un carico relativo alle apparecchiature è di 10 W/m² e per l'occupazione si assume 0.11 persone /m² mentre per il tasso di ricambio si considerano 10 l/sec persona.

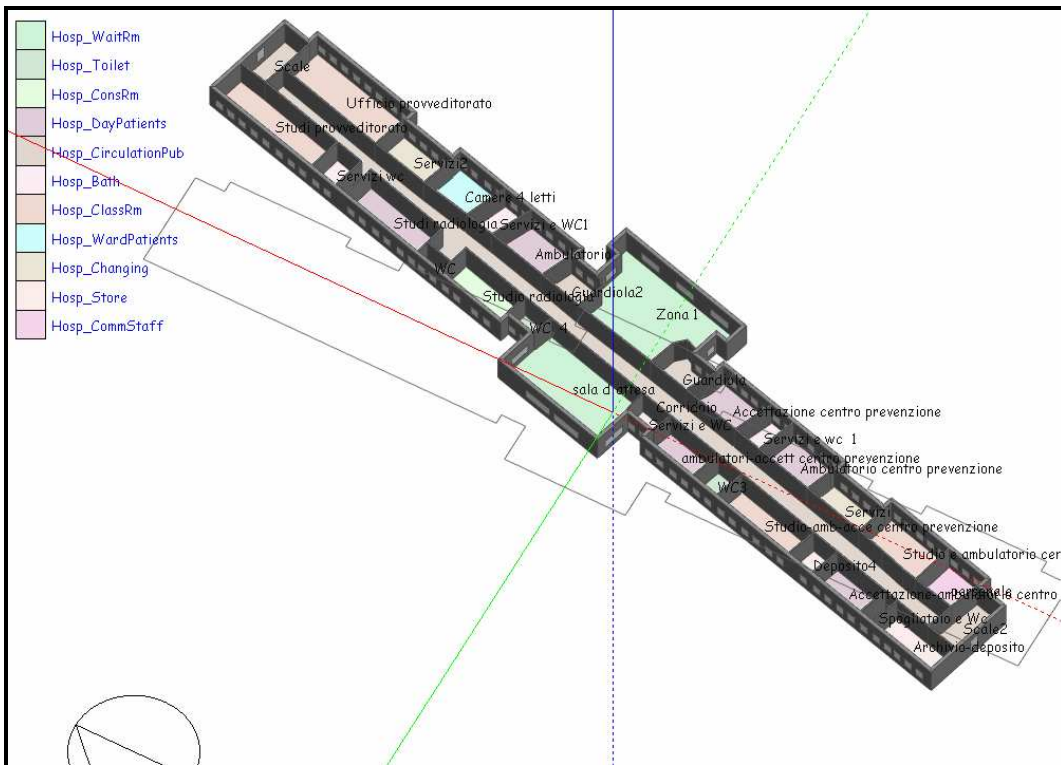
Il contributo termico dell'impianto di illuminazione può assumere una notevole rilevanza per il calcolo del carico negli ambienti interni. In genere una parte dell'energia elettrica assorbita da una lampada si ritrova dissipata come energia nell'ambiente.

Per quanto riguarda l'edificio in esame, il carico di illuminazione è stato bilanciato sulle zone termiche e sui profili di occupazione richiesti.

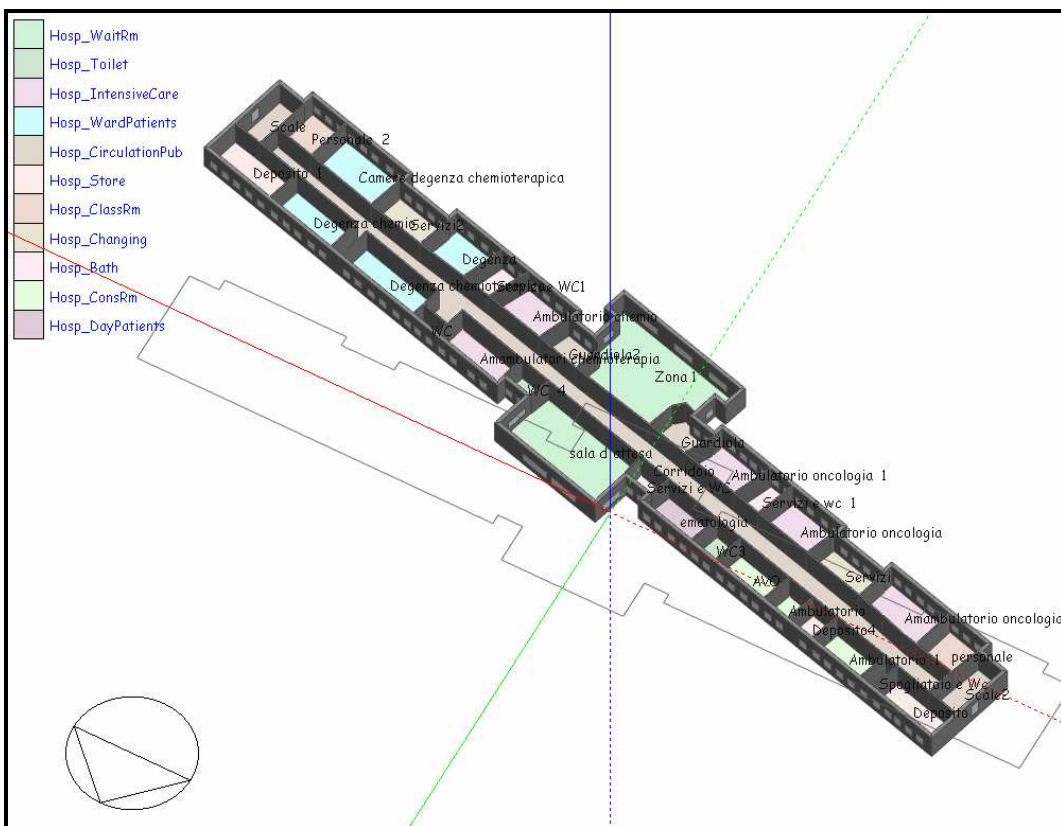
Nelle figure seguenti si riportano per il piano terra, i piani secondo, quarto e quinto e le zone termiche assegnate, in modo che sia evidente il livello di dettaglio dell'analisi condotta.



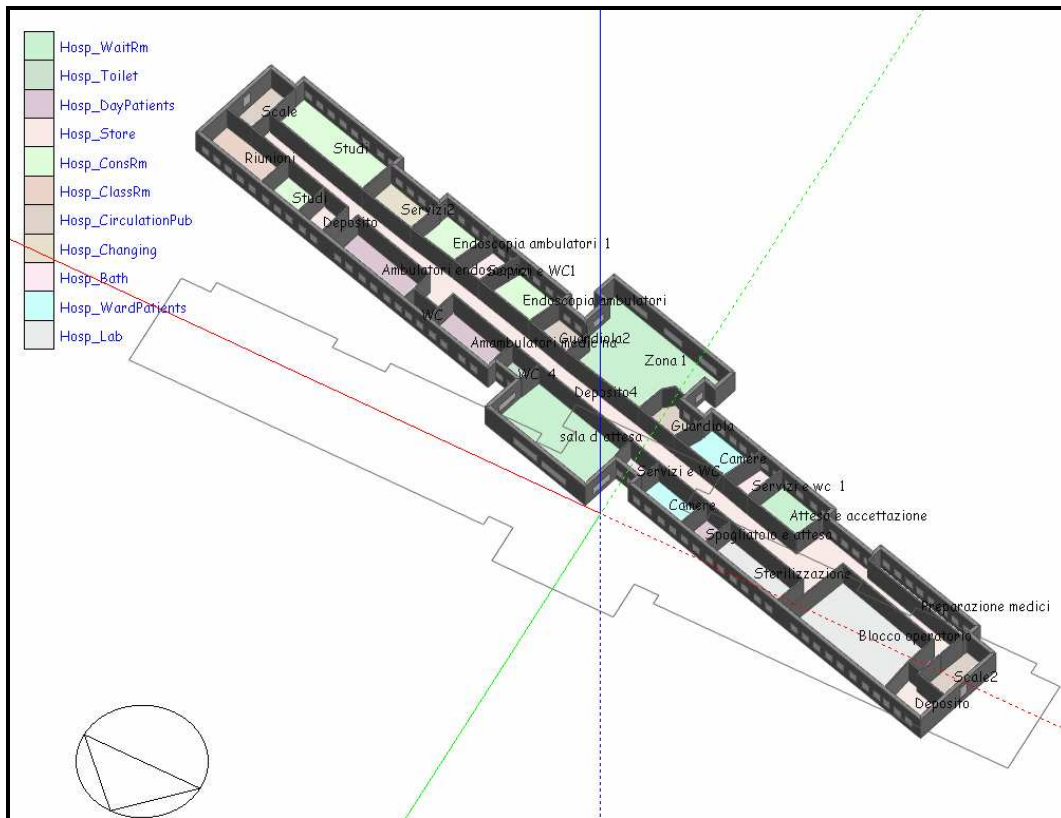
Particolare delle zone termiche del piano terra



Particolare delle zone termiche del secondo piano



Particolare delle zone termiche del quarto piano



Particolare delle zone termiche del quinto piano

Per quanto riguarda il profilo di funzionamento dell'impianto, durante il periodo di accensione il sistema funziona per mantenere i livelli di temperatura desiderati fissati a :

- × in inverno: set-point 23°C e set-back 18°C ;
- × in estate: set-point 26°C e set-back 30°C .

Nelle figura seguente è mostrato il rendering dell'edificio.



Rendering modello di simulazione

Descrizione degli impianti termici del complesso ospedaliero "G. Pascale"

La conoscenza degli impianti nella loro configurazione attuale è ritenuta necessaria per la valutazione del fabbisogno energetico, in termini di energia primaria, connesso agli usi termici obbligati.

Il complesso ospedaliero è composto essenzialmente da 5 edifici quali:

- Palazzina Uffici (circa 1.300 m²)
- Day Hospital (circa 12.000 m²)
- Ripartizione scientifica (circa 8.500 m²)
- Edificio ospedaliero (costituito da 8 corpi adiacenti per un totale di circa 20.000 m²)

A servizio dell'intero complesso ospedaliero, a meno della palazzina uffici dotata di impianto autonomo (composto da caldaia a gas da circa 230 kW – gruppo frigorifero da 60 kWf) è presente una centrale termofrigorifera al piano -1 di uno dei corpi costituenti il plesso degenze, in cui viene prodotto il vapore sia per gli utilizzi tecnologici (sterilizzazione e cucina) sia per l'alimentazione degli scambiatori del circuito di riscaldamento e del circuito acqua calda sanitaria.

Nello stesso locale sono presenti tutte le distribuzioni e le elettropompe per la distribuzione dell'acqua calda e refrigerata a servizio dell'impianto di riscaldamento e condizionamento estivo; la produzione di acqua refrigerata per l'impianto centralizzato è affidata a due refrigeratori installati all'aperto di fronte il corpo "Piastra Radiologica".

La centrale termofrigorifera descritta alimenta tutti gli edifici dal punto di vista termico (riscaldamento più acqua calda sanitaria) mentre i soli corpi dell'edificio principale per quanto concerne il condizionamento estivo.

Gli altri edifici sono per lo più alimentati da impianti autonomi presenti nei cortili o sulle coperture degli edifici. Essendo l'edificio principale composto da numerosi reparti specialistici (sale operatorie, radiologia, TAC, Pet ecc) anche questi sono provvisti di impianti autonomi (solo frigoriferi e a pompa di calore).

La centrale termica è composta essenzialmente da 4 generatori di vapore di cui uno dimesso (GV1) per una potenza singola pari a 1163 kW (GV1), 2791 (GV2), 2907 (GV3), 1163 (GV4), complessiva pari a 8024 kW. Il GV1 è attualmente fuori uso.

Il vapore prodotto alimenta sia le utenze tecnologiche sia tre scambiatori di calore per il circuito di riscaldamento (Pot. 2.000 kW cadauno), sia i due scambiatori (per un totale di circa 830 kW) a servizio dei boiler (tre da 3000 litri) per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Dagli scambiatori di calore l'acqua viene inviata ai collettori di distribuzione da cui si dipartono tutte le utenze dell'impianto di riscaldamento a mezzo di elettropompe centrifughe. Analogamente per il circuito sanitario dove si dipartono i vari rami d'alimentazione delle singole utenze sui cui ricircoli sono presenti le relative elettropompe.

Per quanto concerne il condizionamento estivo, esiste una produzione centralizzata dell'acqua refrigerata prodotta da due gruppi frigoriferi marca "SEVESO" (Pot. 700 kW cadauno); il fluido termovettore prodotto da tali unità è inviato ad un collettore generale (in centrale termica) da cui spillano i vari circuiti dell'edificio ospedaliero e della ripartizione scientifica.

Inoltre sono presenti alcuni gruppi frigoriferi/pompe di calore installate nei pressi dei locali/reparti da essi condizionati; di seguito si riporta l'elenco di tutte le unità frigorifere presenti nel complesso.

La somma delle potenze delle macchine frigorifere locali risulta pari a circa 900 kW ed esse incidono quasi tutte sull'edificio ospedaliero

Il livello termico del fluido termovettore caldo disponibile al secondario degli scambiatori di calore risulta essere di circa 55°C; a tale temperatura vengono alimentati i terminali di impianto installati nel complesso. Tale livello termico risulta idoneo per l'alimentazione dei terminali ventilconvettori presenti all'interno del plesso Day-Hospital, oggetto di questa diagnosi energetica.

Dal punto di vista elettrico il complesso dispone attualmente di una cabina elettrica principale situata al piano seminterrato dell'edificio ospedaliero, dove è presente l'arrivo in MT e la trasformazione in BT (6 trafo da 800 kVA) funzionale ai fabbisogni elettrici di tale edificio e delle utenze tecnologiche; sono altresì presenti le alimentazioni in MT per le cabine di trasformazione dell'edificio Day Hospital e dell'edificio della Ripartizione Scientifica.

Descrizione della fase di lettura delle distinte dei contratti di fornitura

La caratterizzazione energetica del Complesso Ospedaliero è stata effettuata attraverso un'analisi dei consumi di energia elettrica e termica desunti dalle bollette energetiche nonché mediante misure a campione di tipo

- amperometriche, effettuate sui quadri elettrici principali al fine di stimare la potenza elettrica prelevata dai vari edifici;
- meccanico (pressione/portata) al fine di stimare le portate di acqua calda e refrigerata elaborate dalle elettropompe presenti in centrale e sottocentrale dei diversi edifici.

Tali misure, unitamente ad un puntuale censimento delle apparecchiature, hanno consentito di suddividere i carichi complessivi per i vari edifici presenti nel complesso.

tale procedimento è stato adottato nelle more dell'installazione di specifiche apparecchiature (analizzatori di rete sui quadri elettrici principali, contatori di calorie termiche e frigorifere nelle varie sottocentrali; misuratori di portata e temperatura sulle apparecchiature principali di produzione di energia termofrigorifera) le quali consentiranno non solo di effettuare un'analisi e diagnosi energetica di dettaglio ma anche il monitoraggio, nel tempo, delle prestazioni raggiunte con gli interventi di efficientamento.

Il fabbisogno energetico del complesso deriva dall'analisi dei consumi di energia elettrica e dei consumi medi di metano rilevati dalle relative bollette 2009. Poiché, come detto nel paragrafo precedente, in tale periodo non era operativo il corpo C in quanto in ristrutturazione, ai fabbisogni derivanti dall'analisi delle bollette sono stati aggiunti quelli del corpo C (desunti dai dati contenuti nel progetto esecutivo degli interventi di ristrutturazione del corpo C).

Ciò premesso si procede alla caratterizzazione energetica partendo dai consumi individuati nelle bollette. Il fabbisogno complessivo annuale di energia elettrica è di circa 6.600.000 kWh; quello di energia termica, afferente la centrale termofrigorifera principale, è di circa 8.000.000 kWh.

| Fabbisogni Complessivi anno 2009 (da distinte dei contratti di fornitura) | | |
|--|------------|------------------------|
| Consumo gas metano | 836.919* | Stm ³ /anno |
| Fabbisogno elettrico | 6.625.064 | kWh/anno |
| Fabbisogno complessivo di energia primaria | 25.940.000 | kWh/anno |
| | 2.230 | tep/anno |

Nota 1: PCI metano pari a 9.6 kWh/m³.

Nota 2: Al consumo indicato in tabella è stato aggiunto quello della centrale termica a servizio della palazzina uffici.

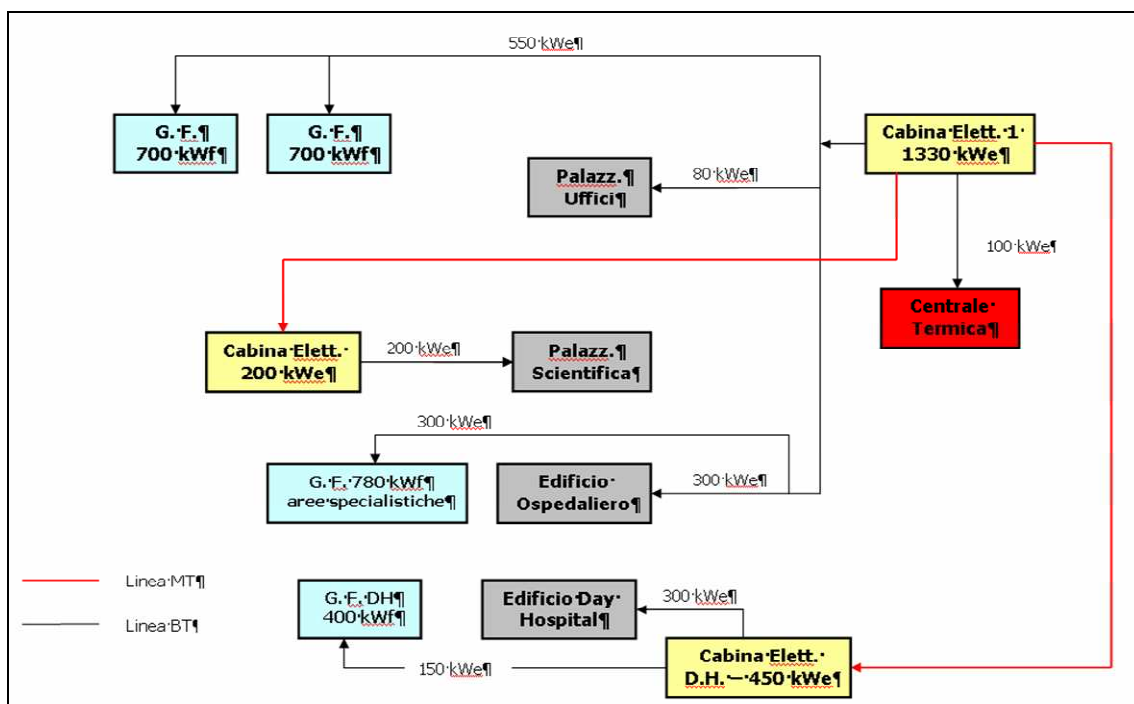
Appare evidente che nel corso del 2009 ci sono stati dei cali di richiesta energetica dovuti essenzialmente alle seguenti motivazioni:

- Utilizzo ridotto dell'edificio ospedaliero, area assistenza, in quanto oggetto di ristrutturazione e potenziamento capacità ricettiva;

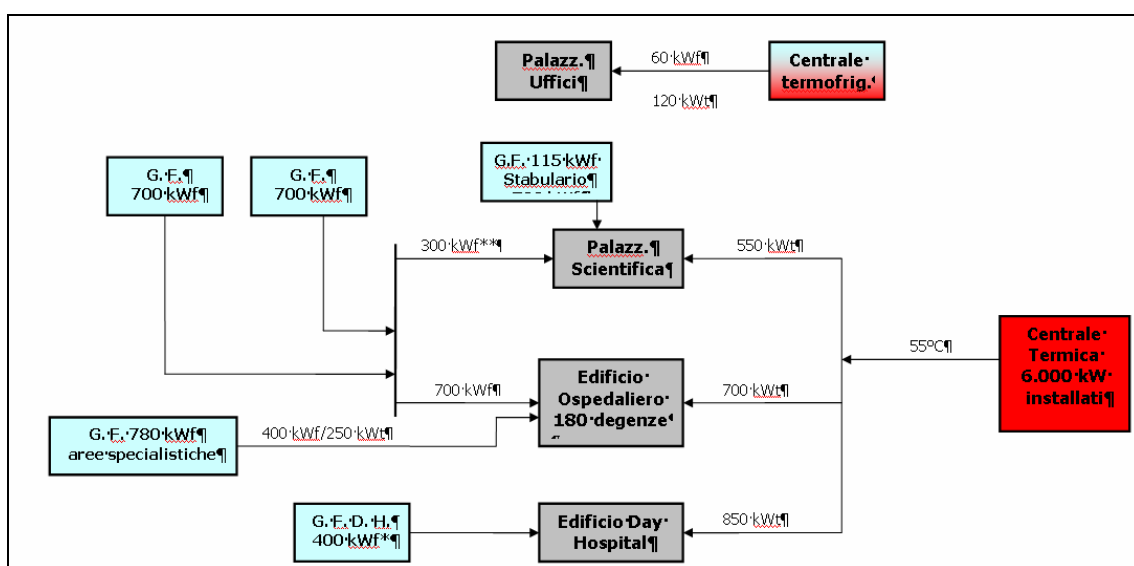
- Utilizzo ridotto aree specialistiche (sale operatorie e diagnostica) dovuto a temporanea capacità ricettiva ridotta;
- Rifunzionalizzazione di aree facenti parte del Day-Hospital.

Evidentemente il progetto di efficientamento deve tenere necessariamente conto dell'analisi dei consumi prevedibili a regime dal Complesso e pertanto nel seguito si riportano i diagrammi dei prelievi di potenza stimati in tale condizione che costituiscono la base del dimensionamento degli interventi di riqualificazione impiantistica.

Nota: nei seguenti diagrammi la dizione "attuale" indica quella riferita ai dati estrapolati dalle bollette.



prelievi di potenza elettrica attuali



Prelievi di potenza termica attuali

In base allo studio dello stato di fatto degli impianti e dall'analisi energetica svolta nel paragrafo precedente, si evidenziano le seguenti principali criticità:

- *assenza di utilizzo di energia da fonte rinnovabile o ad essa assimilabile:*
- *sistema di generazione del fluido termovettore caldo poco efficiente (produzione di vapore a otto bar per inviare acqua a 55°C alle utenze).*
- *eccessiva decentralizzazione della produzione del fluido termovettore freddo; inoltre tale produzione utilizza gruppi frigoriferi poco efficienti (sostanzialmente con EER pari a 2,5)*
- *sistema di distribuzione dei fluidi termovettori poco efficiente anche in termini di cattiva coibentazione delle reti.*
- *sistema di gestione centralizzata degli impianti sostanzialmente assente.*

I risultati dell'analisi energetica dinamica

Sono presenti e modellate le seguenti zone termiche:

- 1) Al piano seminterrato: archivi, ascensori, centrale termica, deposito, ingresso e atrio, locale ascensori, magazzini, scale e servizi
- 2) Al piano terra: Accettazione, Istituto bancario, bar, area cartelle cliniche, centralino, centro di calcolo, corridoio, deposito, vano scala, laboratori farmaceutici, sale d'attesa, ambienti adibiti a segreteria e direzione, servizi, uffici informatici, uffici prenotazione, ufficio tecnico.
- 3) Al piano primo: ambulatori, ambulatori e medicherai, stanza caposala, senologia, chirurgia plastica, corridoi, ecografie, guardiole, medicherai, ortopedia, personale, sala riunioni, sala d'attesa, scale, servizi e wc, spogliatoi, studi medici, terapia, terapia antalgica, urologia.
- 4) Al piano secondo: accettazione e centro prevenzione, ambulatori, centro prevenzione, depositi, camere 4 letti, corridoio, guardiola, studi personale, servizi e wc, spogliatoi, studi provveditorato, studi radiologia, ambulatorio centro prevenzione, sala d'attesa.
- 5) Al piano terzo: ambulatorio e sala d'attesa immunologia, cardiologia, corridoio, deposito, laboratori, guardiola, citopatologia, lavanderia, medicina nucleare, patologia clinica, medicina nucleare, sala d'attesa, sala riunioni, studi, studio primario, uffici informatico, wc, personale.
- 6) Al piano quarto: ambulatorio chemioterapia, ambulatorio oncologia, camera degenza chemioterapia, AVO, corridoi, depositi, ematologia, personale, sala d'attesa, scale, servizi, wc, spogliatoi.
- 7) Al piano quinto: ambulatori medicina, ambulatori endoscopici, attesa ed accettazione, blocco operatorio, guardiola, preparazione medici, sale d'attesa, servizi, wc, scale, spogliatoi, sterilizzazione, studi medici, depositi.

Nel calcolo dei carichi termici sono state considerate le condizioni al contorno proprie della norma UNI 10339/1995 "Impianti aeraulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura", in particolare per quanto riguarda gli affollamenti (0.1 persone/m²) ed il volume d'aria di rinnovo (11×10^{-3} m³/s persona) in utenze ospedaliere.

CARICO TERMICO INVERNALE – bilancio di potenza in condizioni nominali

Nella tabella seguente, piano per piano, sono riportati i carichi termici invernali (riscaldamento) valutati in condizioni di progetto.

| Zona Termica | Area in pianta | Altezza | Volume | Potenza in riscaldamento |
|--------------------|----------------|-------------|----------------|--------------------------|
| | m ² | m | m ³ | kW |
| Piano Seminterrato | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 50.48 |
| Primo Terra | 1817 | 3.8 | 6904.6 | 120.96 |
| Primo Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 78.3 |
| Secondo Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 76.18 |
| Terzo Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 77.43 |
| Quarto Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 97.29 |
| Quinto piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 140.88 |
| Totali | 11009 | 26.6 | 41834.2 | 641.52 |

L'edificio attuale richiede una potenza media in riscaldamento, in condizioni nominali, pari a 15.35 W/m³.

CARICO TERMICO ESTIVO – bilancio di potenza in condizioni nominali

Nella tabella seguente, piano per piano, sono riportati i carichi termici estivi (raffrescamento) valutati in condizioni di progetto.

| Zona Termica | Area in pianta | Altezza | Volume | Potenza in raffrescamento ore 12.00 | Potenza in raffrescamento ore 16.00 |
|--------------------|----------------|-------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | m ² | m | m ³ | kW | kW |
| Piano Seminterrato | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 2.42 | 15.08 |
| Primo Terra | 1817 | 3.8 | 6904.6 | 75.77 | 102.76 |
| Primo Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 75.02 | 92.35 |
| Secondo Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 78.91 | 105.65 |
| Terzo Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 85.48 | 111.21 |
| Quarto Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 88.30 | 123.22 |
| Quinto piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 145.23 | 220.53 |
| Totali | 11009 | 26.6 | 41834.2 | 551.13 | 770.80 |

L'edificio attuale richiede una potenza media in raffrescamento (controllo del solo carico sensibile), in condizioni nominali, pari a 18.4 W/m³ (alle ore 16.00 del 15 luglio).

ENERGIA PRIMARIA ANNUALE RICHIESTA PER IL SODDISFACIMENTO DEL RISCALDAMENTO INVERNALE

Dall'analisi energetica dinamica sono scaturiti i risultati riportati nel seguente prospetto.

| Zona Termica | Area in pianta | Altezza | Volume | Fabbisogno in riscaldamento | Energia in riscaldamento |
|--------------------|----------------|-------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|
| | m ² | M | m ³ | kWh _{TERMICI} | kWh _{PRIMARI} |
| Piano Seminterrato | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 70956.01 | 118260 |
| Primo Terra | 1817 | 3.8 | 6904.6 | 156616 | 261026.7 |
| Primo Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 69899.77 | 116499.6 |
| Secondo Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 98352.25 | 163920.4 |
| Terzo Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 96761.12 | 161268.5 |
| Quarto Piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 108540 | 180900 |
| Quinto piano | 1532 | 3.8 | 5821.6 | 177410 | 295683.3 |
| Totali | 11009 | 26.6 | 41834.2 | 778535.2 | 1297559.0 |

E' stato valutato, determinando con attenzione le caratteristiche degli impianti termici, e quindi contemplando le perdite energetiche dovute al sistema di generazione (generatori di vapore), gli scambiatori, la rete di distribuzione, il sistema di controllo e regolazione, un rendimento globale medio-stagionale dell'impianto di riscaldamento (η_G) pari a 0.60.

L'edificio attuale richiede un fabbisogno termico in riscaldamento pari a 18.6 kWh/m³anno, mentre, in termini di energia primaria, la richiesta energetica specifica è pari a 31.01 kWh/m³anno.

ENERGIA PRIMARIA ANNUALE RICHIESTA PER IL SODDISFACIMENTO DEL FABBISOGNO DI CLIMATIZZAZIONE ESTIVA (RAFFRESCAMENTO)

Dall'analisi energetica dinamica sono scaturiti i risultati riportati nel seguente prospetto.

| Zona Termica | Area in pianta | Fabbisogno in raffrescamento | Energia in raffrescamento (elettrica) | Energia per ausiliari (elettrica) | Energia primaria per raffrescamento |
|--------------------|----------------|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | m ² | kWh _{TERMICI} | kWh _{ELETRICI} | kWh _{ELETRICI} | kWh _{PRIMARI} |
| Piano Seminterrato | 1532 | 639.88 | NON CLIMATIZZATO | NON CLIMATIZZATO | NON CLIMATIZZATO |
| Primo Terra | 1817 | 34274.91 | 13709.96 | 6359.5 | 43629.27 |
| Primo Piano | 1532 | 33690.9 | 13476.36 | 5362 | 40952.96 |
| Secondo Piano | 1532 | 43926.36 | 17570.54 | 5362 | 49853.36 |
| Terzo Piano | 1532 | 46283.21 | 18513.28 | 5362 | 51902.79 |
| Quarto Piano | 1532 | 49590 | 19836 | 5362 | 54778.26 |
| Quinto piano | 1532 | 82960 | 33184 | 5362 | 83795.65 |
| Totali | 11009 | 291365.3 | 116546.1 | 38531.5 | 337125.20 |

E' stato valutato, determinando con attenzione le caratteristiche degli impianti termici, e quindi contemplando le perdite energetiche dovute al sistema di generazione (chiller aria-acqua), la rete di distribuzione, il sistema di controllo e regolazione, un coefficiente globale medio-stagionale dell'impianto di raffrescamento (COP_f) pari a 2.5 Wh_{termici}/Wh_{elettrici}.

Ancora, valutando sia le elettropompe di circolazione del circuito principale che quelle dei circuiti secondari, nonché i ventilatori presenti all'interno dei ventilconvettori, si è stimato un fabbisogno elettrico imputabile agli ausiliari pari a 3.5 kWh_{elettrici}/m².

Infine, la conversione da elettrico a primario è stata effettuata secondo quanto stabilito dall'AEEG - Autorità per l'energia elettrica e il gas - relativamente all'efficienza del parco di produzione da termoelettrico in Italia, pari a $0.46 \text{ Wh}_{\text{ELETTTRICO}}/\text{Wh}_{\text{PRIMARIO}}$ per l'anno 2010.

L'edificio attuale richiede un fabbisogno termico in raffrescamento pari a 6.96 kWh/m³anno, mentre, in termini di energia primaria, la richiesta energetica specifica è pari a 8.05 kWh/m³anno (2.78 in termini di kWh_{elettrici}/m³anno).

CONFRONTO CON I CONSUMI DESUMIBILI DALLE DISTINTE DEI CONTRATTI DI FORNITURA

Confronto invernale. Considerando che l'edificio Day-Hospital rappresenta circa il 29% del volume complessivo dell'Istituto ospedaliero (41'834 m³ rispetto ad un totale di circa 143'500), ma che, essendo utilizzato solo di giorno, potrebbe richiedere circa 1/4 - 1/5 dell'energia termica complessivamente fornita, ed ipotizzando un rendimento dell'impianto di riscaldamento (vetusto) di circa il 60%, il risultato della firma energetica determinerebbe una richiesta di energia termica di circa il 810'000 - 650'000 kWh_{termici}, denunciando un'ottima corrispondenza con i risultati della simulazione energetica (778'535 kWh_{termici}).

I dati per il confronto sono stati desunti dalle distinte dei contratti di fornitura prima riportate, passando per il potere calorifico inferiore del gas metano.

Confronto estivo. Come detto in precedenza, l'edificio Day-Hospital rappresenta circa il 29% del volume complessivo dell'Istituto ospedaliero (41'834 m³ rispetto ad un totale di circa 143'500). Anche ora, essendo utilizzato solo di giorno, si stima potrebbe richiedere circa 1/4 - 1/5 dell'energia complessivamente fornita.

Stimando, ancora mediante elaborazione dei dati riportati nelle distinte dei contratti di fornitura sopra riportate, una richiesta di energia elettrica complessiva per la climatizzazione estiva pari a 842'974 kWh_{elettrici}, questo implica che, con riferimento al solo edificio Day-Hospital, sono richiesti circa 210'750 - 168600 kWh_{elettrici}.

Convertendo tali numeri (210'750 - 168600 kWh, energia elettrica) in energia primaria, risultano i due valori 458152 kWh_{primari} e 366521 kWh_{primari}. Anche in questo caso, considerando la complessità del confronto (utilizzo arbitrario degli impianti, discontinuità nell'esercizio, molteplici usi elettrici), lo scarto con il dato risultante da simulazione (337'125 kWh_{PRIMARIO}) è alquanto soddisfacente.

EMISSIONI DI GAS SERRA AD EFFETTO CLIMA-ALTERANTE

Per quanto riguarda l'impatto ambientale, sarebbe necessaria un'analisi globale, tale cioè da coinvolgere non solo l'emissione di sostanze inquinanti ma anche l'impatto acustico e visivo, l'occupazione dei suoli e l'interazione con la fauna e la flora.

Un sistema semplice però è quello che fa riferimento al solo effetto serra, che studia le emissioni di gas climalteranti in termini di anidride carbonica "equivalente" emessa, in cui si riporta ciascun gas serra alla CO₂, attraverso un fattore di conversione.

Per effettuare tale equivalenza si utilizzano dei coefficienti che dipendono dalla tecnologia e dal combustibile utilizzato nel processo di conversione energetica. In particolare l'ospedale prevede l'utilizzo di gas naturale ed energia elettrica, pertanto i due coefficienti di cui tener conto sono:

- * $\alpha=0.47 \text{ [kgCO}_2\text{/kWh}_{\text{ELETTTRICI}}]$ per le emissioni legate all'energia elettrica;

- * $\beta=0.2$ [kgCO₂/kWh_{PRIMARI}] per le emissioni legate all'uso di gas naturale.

Il valore scelto per il coefficiente di emissione (fonte ENEA) tiene conto dell'intero parco di produzione nazionale, fonti rinnovabili incluse. Se invece si fosse considerato il solo parco termoelettrico, il coefficiente sarebbe stato pari a 0.57 kg CO₂/kWh_{el}

In particolare, per la quantificazione delle emissioni legate ad un sistema alimentato ad energia elettrica si fa riferimento all'energia elettrica effettivamente consumata, mentre per i sistemi alimentati a gas naturale si fa riferimento all'energia primaria legata al gas combustibile.

| Elettrico (kWh) | Riscaldamento (kWh _{PRIMARI}) | CO ₂ [kg] |
|-----------------|---|----------------------|
| 120400 | 1297559 | 316100 |

Il dato relativo alle emissioni complessive dell'ospedale è riassunto nella precedente tabella.

Appendice

Legislazione di riferimento

- * Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59: Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia. (GU n. 132 del 10-6-2009).
- * Decreto ministeriale (sviluppo economico) 26 giugno 2009: Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (G.U. n. 158 del 10 luglio 2009).
- * Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115: Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE (G.U. n. 154 del 3 luglio 2008).
- * Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192: Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia (G.U. n. 222 del 3 settembre 2005).
- * Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311: Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia (G.U. n. 26 del 1 febbraio 2007).
- * Legge 9.1.1991 n. 10: Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia (G.U. n.13 del 16 gennaio 1991).
- * Decreto del Presidente della Repubblica 412/1993: Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art.4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n.10 (G.U. n. 96 del 14 ottobre 1993).
- * Decreto del Presidente della Repubblica 551/1999: Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia (G.U. n. 81 del 6 Aprile 2000).
- *

Norme tecniche di riferimento

- * UNI EN ISO 13790:2008 - Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento
- * UNI/TS 11300-1:2008 - Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- * UNI/TS 11300-2:2008 - Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
- * UNI/TS 11300-2:2008 - Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva