

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in
Ingegneria Energetica e Nucleare



Tesi di Laurea Magistrale

Il ruolo degli apporti interni per l'illuminazione artificiale nella valutazione della prestazione energetica degli edifici. Caso studio: casa di riposo "Brancaccio" – Matera

Relatore

Prof.ssa Guglielmina Mutani

Correlatore

Dott.ssa Antonella Tundo (ENEA)

Candidato

Edoardo De Nicolò

Abstract (Ita)

Il presente lavoro di tesi ha l'obiettivo di proporre una procedura per il calcolo degli indici di prestazione energetica degli edifici che tenga maggiormente conto dell'influenza dell'illuminazione artificiale nel calcolo degli apporti interni di calore e del consumo energetico globale.

In particolare si sono valutati gli apporti interni dovuti al sistema integrato illuminazione naturale-artificiale secondo LENI, Lighting Energy Numerical Indicator. Per la prestazione energetica globale e per alcuni servizi energetici questo contributo non può essere considerato costante in quanto dipende dalle condizioni climatiche, dall'effetto dei dispositivi di schermatura diurna e dal tipo di sorgenti luminose e apparecchi di illuminazione presenti. Gli apporti interni per l'illuminazione e gli apporti interni dovuti agli occupanti e alle apparecchiature elettriche sono stati valutati con bilancio energetico mensile. Tale metodologia è stata applicata al caso studio della casa di riposo "Brancaccio" di Matera (IT), per la quale i valori degli indici di prestazione energetica sono stati confrontati con quelli ottenuti utilizzando l'approccio normativo standard (valore medio annuale costante per il calcolo degli apporti interni di calore). I risultati sottolineano l'importanza di effettuare un'analisi dettagliata che tenga conto della disponibilità di luce naturale nei diversi mesi dell'anno, dell'efficienza dei sistemi di illuminazione presenti e della potenza installata per unità di superficie in funzione dei requisiti di comfort luminoso richiesto nei diversi ambienti.

Abstract (Eng)

This thesis work aims to propose a procedure for calculating the energy performance indexes of buildings that takes better account of the influence of artificial lighting in the calculation of internal heat gains and global energy performance.

In particular, the heat gains due to the integrated natural-artificial lighting system were evaluated according to LENI, Lighting Energy Numerical Indicator. For the global energy performance and for some energy services, this contribution cannot be considered constant as depend by climate conditions, by the effect of shading devices on daylighting and by the type of light sources and luminaires. The lighting contributions and the internal heat gains due to the occupants and electrical equipment were evaluated with a monthly energy balance. This methodology was applied to the case study of the "Brancaccio" retirement home in Matera (IT) for which the values of the energy performance indexes were compared with the standard normative approach using constant internal heat gains. The results of this work underline the importance of performing a detailed analysis that takes into account as the availability of natural light in the different months of the year, the efficiency of the different lighting systems and their power installed per unit of area as a function of the lighting comfort requirements in the different types of environment.

Indice

INTRODUZIONE	5
1. CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	7
1.1 Attestato di prestazione energetica (APE)	7
1.2 Diagnosi Energetica	12
2. IL CONTESTO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	13
2.1 Le direttive europee	13
2.2 La normativa nazionale	15
2.3 Le normative UNI	18
3. IL CASO STUDIO “BRANCACCIO” DI MATERA	21
3.1 Metodologia seguita	21
3.2 Inquadramento territoriale e dati climatici	22
3.3 Analisi e modellazione dell’edificio	26
3.3.1 Zonizzazione dell’edificio	26
3.3.2 Componenti dell’involucro edilizio	29
3.3.3 Modello 3D	36
3.3.4 Scambi termici	44
3.4 Impianti termici	47
3.4.1 Impianto ibrido	49
3.4.2 Impianti VRV ad espansione diretta	55
3.4.3 Centrale termica “Piano tre”	66
3.4.4 Impianto di raffrescamento	68
3.4.5 Impianto fotovoltaico	69
3.5 Illuminazione e trasporto	71
3.6 Risultati del calcolo standard	76
3.6.1 Fabbisogni e classe energetica	76
3.6.2 Interventi migliorativi	78
3.7 Calcolo adattato all’utenza	80
3.7.1 Analisi dei consumi reali	81
3.7.2 Temperature esterne	84
3.7.3 Reale funzionamento degli impianti	84
3.7.4 Ricambi d’aria e fabbisogno di ACS	85

4. APPORTI INTERNI DI CALORE	86
4.1 Norma UNI/TS 11300-1	86
4.2 Metodologia proposta per il caso studio in esame	89
4.2.1 Apporti interni per l'occupazione e le apparecchiature elettriche	89
4.2.2 Apporti interni per l'illuminazione artificiale	97
4.2.3 Calore emesso dagli apparecchi di illuminazione	98
4.2.4 Indice LENI	103
4.2.5 Software LENICALC	108
4.2.6 Risultati del calcolo	117
4.2.7 Apporti interni totali	120
4.3 Confronto tra le procedure	123
5. INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA	124
5.1 Calcolo degli indici di prestazione e confronto tra le procedure	124
5.2 Calibrazione del modello TERMOLOG	130
5.3 Approfondimento	132
6. CONCLUSIONI	138
7. BIBLIOGRAFIA	141
ALLEGATI	144

Introduzione

Il consumo energetico degli edifici è da tempo un tema ampiamente dibattuto e in continua evoluzione. L'Unione Europea ha emanato una serie di direttive specifiche che richiedono la verifica della prestazione energetica di tutti gli edifici (esistenti e di nuova costruzione) in termini di consumo globale, con valori limite da non superare. L'energia elettrica ricopre una quota importante del consumo finale di energia e l'illuminazione può rappresentare un contributo significativo del consumo elettrico totale di un edificio.

In Italia, il Decreto Ministeriale del 26/06/2015, entrato in vigore il 1 ° ottobre 2015, ha introdotto importanti novità in materia di efficienza energetica e di tecnologie low carbon. Tra queste, la classe energetica degli edifici deve essere valutata in termini di energia primaria non rinnovabile attraverso l'indice globale di prestazione energetica EP_{gl,nren}, espresso in kWh/(m² anno). Tale indice, calcolato attraverso metodologie codificate da norme tecniche e normative nazionali, tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per tutti i servizi energetici presenti in un edificio: riscaldamento e raffrescamento degli ambienti, produzione di acqua calda, ventilazione e, per i settori non residenziali, trasporto di persone o cose e illuminazione artificiale. La “famiglia” delle Norme Tecniche UNI/TS 11300 nasce con l'obiettivo di definire una metodologia di calcolo univoca per la determinazione della prestazione energetica degli edifici con un metodo di calcolo mensile quasi-stazionario. Nella normativa gli apporti termici interni dovuti a persone, apparecchiature elettriche e impianti di illuminazione, sono valutati attraverso un valore medio annuo costante a seconda della tipologia di utenza. Nel presente lavoro di tesi questo approccio è oggetto di discussione, in particolare per quanto riguarda il ruolo svolto dagli apporti termici dovuti al sistema di illuminazione. L'utilizzo di un valore medio standardizzato non considera fattori determinanti come la disponibilità di luce naturale nei vari mesi dell'anno e per i diversi climi, l'utilizzo di sistemi di schermatura, l'efficienza dei sistemi di illuminazione e la potenza elettrica installata per unità di superficie nei diversi ambienti, in funzione delle esigenze di comfort visivo. Il calcolo degli apporti di calore interni per l'illuminazione può contribuire in modo significativo al consumo energetico globale di un edificio e deve, quindi, essere affrontato con maggiore precisione.

Il caso studio preso in esame è la casa di riposo “Brancaccio” di Matera. Il fabbisogno di un edificio ospedaliero arriva ad essere tre volte superiore rispetto al residenziale, con una specificità rispetto ad altre categorie di edifici che rendono particolarmente complessa la gestione energetica; devono essere garantiti, infatti, comfort e continuità dei servizi 24 ore al giorno e 365 giorni l’anno, rispettando la normativa in materia di condizioni ambientali e sicurezza delle forniture. In una casa di cura non sono presenti apparecchiature e impianti per zone ad “alta intensità di cura” come sale operatorie, terapie intensive, strumentazione per diagnostica clinica, ma dovrebbe comunque essere garantita, oltre all’alloggiamento, l’assistenza medica di base con i relativi locali e dotazioni impiantistiche-strumentali. Una delle prime voci relative ai consumi elettrici di una casa di riposo è proprio quella dell’illuminazione artificiale. Si stima infatti che, in strutture quali ospedali, cliniche e case di cura, l’illuminazione sia responsabile fino al 40% del consumo energetico totale.

Il lavoro di tesi è articolato in sei capitoli: dopo una breve introduzione sul tema della certificazione energetica degli edifici (capitolo 1) e sul quadro normativo europeo e nazionale (capitolo 2), si procede all’analisi e modellazione del caso studio (capitolo 3). I capitoli 4 e 5 riguardano rispettivamente la descrizione della metodologia utilizzata per la valutazione degli apporti di calore interni ed il calcolo degli indici di prestazione energetica, secondo l’approccio proposto e secondo quello normativo. Nel capitolo 6 sono infine analizzati i risultati dello studio e i possibili sviluppi futuri.

Capitolo 1:

Certificazione energetica degli edifici

La certificazione energetica è uno strumento per valutare le prestazioni energetiche degli edifici attraverso un sistema di classificazione basato su metodologie di calcolo precise.

In particolare, la certificazione energetica si basa su una valutazione di tipo standard (asset rating) in cui i dati di ingresso si riferiscono a un utilizzo standard dell'edificio e dei dati climatici, a differenza dei dati geometrici che derivano dal rilievo dimensionale e, quindi, da condizioni reali.

La direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio richiedeva agli stati membri di rafforzare i loro regolamenti edilizi con l'introduzione della certificazione energetica degli edifici, attraverso l'Attestato di Certificazione Energetica (ACE).

In Italia, il Certificato Energetico è stato introdotto con il D.lgs. 192/2005 e con le modifiche successive, apportate dal D.lgs. 311/2006 e in particolare dal D.L. 90/2013 con il quale l'Attestato di Certificazione Energetica è stato sostituito dall'Attestato di prestazione Energetica (APE).

1.1. Attestato di prestazione energetica (APE)

L'attestato di prestazione energetica (APE) è un documento obbligatorio, redatto da un tecnico abilitato, contenente tutte le informazioni sull'edificio con particolare attenzione al consumo energetico.

L'APE ha un formato standard comune su tutto il territorio nazionale ed è stato introdotto per fornire informazioni chiare sulle prestazioni e sul fabbisogno energetico dell'edificio e degli impianti termici.

L'Attestato di Prestazione Energetica riporta numerose informazioni, tra queste la più importante riguarda la prestazione energetica globale in termini di energia primaria non rinnovabile, valore che determina la classe energetica di appartenenza dell'edificio. Nel documento sono poi riportati gli indici di prestazione termica per la climatizzazione invernale, i valori delle emissioni di anidride carbonica, gli indici di prestazione energetica rinnovabile e la quota di energia esportata per ogni servizio energetico. Infine sono riportati gli interventi migliorativi, economicamente più convenienti, atti a migliorare l'efficienza energetica del fabbricato.

Il D.M. 26/06/2015 distingue tra “procedura” e “metodo” di calcolo. Le procedure di determinazione della prestazione energetica possono essere di due tipi:

- Procedura di calcolo standardizzato;
- Procedura di calcolo da rilievo.

Nel primo caso la valutazione della prestazione energetica si basa su dati di ingresso relativi ad un utilizzo standard dell’edificio e degli impianti, mentre nel caso di procedura di calcolo da rilievo i dati in input sono rilevati direttamente sull’edificio in esame.

In particolare, il criterio utilizzato per stimare il consumo di un edificio è l’indice di prestazione energetica globale non rinnovabile: $EP_{gl,nren}$ che, espresso in kWh/(m² anno) è la misura del fabbisogno di energia primaria, non rinnovabile. L’ $EP_{gl,nren}$ è la somma delle misure degli indici di prestazione di diversi servizi energetici. In particolare:

- della climatizzazione invernale ed estiva ($EP_{H,nren}$ ed $EP_{C,nren}$);
- della produzione di acqua calda sanitaria ($EP_{W,nren}$);
- della ventilazione ($EP_{V,nren}$);
- dell’illuminazione artificiale ($EP_{L,nren}$) e del trasporto di persone o cose ($EP_{T,nren}$), esclusivamente per il settore non residenziale.

$$EP_{gl,nren} = EP_{H,nren} + EP_{C,nren} + EP_{W,nren} + EP_{V,nren} + EP_{T,nren} + EP_{L,nren} \quad (1)$$

I valori di $EP_{gl,nren}$ definiscono la classe energetica di riferimento per l’edificio, dove la classe A4 rappresenta la più efficiente e la classe G la meno efficiente.



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

Figura 1 – Classi energetiche in base al valore di $E_{p,gl,nren}$

Le differenti classe energetiche sono definite in relazione al valore dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento $EP_{gl,nren,rif,standard}$ posto come limite di separazione tra la classe energetica A1 e B.

La normativa tecnica UNI/TS 11300-5 “Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili” fornisce i metodi di calcolo per la determinazione del fabbisogno di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile e del contributo di energia (consegnata ed esportata) proveniente da fonti rinnovabili.

L'energia primaria è valutata con un bilancio fra la quota di energia consegnata ed esportata:

$$EP = (E_{del} \cdot f_{P,del}) - (E_{exp} \cdot f_{P,exp}) \quad (2)$$

L'energia consegnata “ E_{del} ” (delivered) rappresenta l'energia che il vettore energetico fornisce, attraverso il confine, all'edificio per soddisfare i servizi energetici presenti (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione meccanica, illuminazione e trasporto). Questa energia può essere direttamente disponibile, può derivare da un combustibile o provenire da una fonte rinnovabile.

L'energia esportata all'esterno “ E_{exp} ” (exported) del sistema rappresenta la quantità di energia prodotta che non può essere utilizzata dall'edificio. Può essere esportata esclusivamente energia elettrica prodotta sia da fonti fossili sia da fonti rinnovabili.

Ognuna delle due aliquote è gestita dai fattori di conversione in energia primaria “ f_p ” che dipendono dal tipo di combustibile o dal tipo di fonte rinnovabile.

L'energia primaria è sempre valutata, per ogni servizio, nelle sue due forme: rinnovabile EP_{ren} e non rinnovabile EP_{nren} , calcolate utilizzando i fattori di conversione riportati in Figura 2.

La procedura di calcolo per determinare i fabbisogni mensili di energia fornita da fonti "on site" e "off site" si sviluppa secondo le seguenti fasi:

1. valutazione dei fabbisogni di energia utile dell'edificio;
2. calcolo dell'energia termica ed elettrica richiesti all'uscita dei sistemi di generazione;
3. calcolo del contributo potenziale da fonti rinnovabili "on site";
4. distribuzione dei fabbisogni fra i sottosistemi di generazione;
5. calcolo dell'energia consegnata ed esportata per singolo vettore energetico;
6. bilancio temporale dei vettori energetici esportati;
7. calcolo dell'energia primaria e degli altri indicatori di prestazione energetica.

I fabbisogni di energia termica utile e di energia elettrica si calcolano, su base mensile, in relazione al servizio energetico considerato.

Energia fornita da vettori energetici finali "off site"	fp,ren	fp,nren	fp
Gas naturale	0,000	1,050	1,050
Gasolio	0,000	1,070	1,070
GPL	0,000	1,050	1,050
Olio combustibile	0,000	1,070	1,070
Biomasse solide	0,800	0,200	1,000
Biomasse liquide e gassose	0,600	0,400	1,000
Energia elettrica da rete	0,470	1,950	2,420
Energia termica da rete (telerscaldamento)	0,000	1,500	1,500
Energia termica da rete (teleraffrescamento)	0,000	0,500	0,500
Carbone	0,000	1,100	1,100
Rifiuti solidi urbani	0,000	0,200	0,200
Energia da fonti energetiche "on site"	fp,ren	fp,nren	fp
Energia termica da collettori solari	1,000	0,000	1,000
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico	1,000	0,000	1,000
Energia termica dall'ambiente esterno - pompa di calore	1,000	0,000	1,000
Energia termica dall'ambiente esterno - free cooling	1,000	0,000	1,000

Figura 2 – Fattori di conversione in energia primaria

L'APE, oltre a fornire indicazioni sulla prestazione energetica globale (EP_{gl}) riporta i contributi di ciascun servizio energetico, come previsto dal decreto "requisiti minimi" del giugno 2015. Tali contributi dipendono, a loro volta, da diversi parametri dell'edificio e dalle caratteristiche degli impianti. In particolare:

- l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EP_H) è legato alle caratteristiche dell'involucro edilizio e quindi all'indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale ($EP_{H,nd}$) e al rendimento dell'impianto di riscaldamento (η_H).
- analogamente l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (EP_C) dipende dall'indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva dell'edificio ($EP_{C,nd}$) e dal rendimento dell'impianto di raffrescamento (η_C).

L'indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale $EP_{H,nd}$ è dato dal rapporto tra il fabbisogno di energia termica annuo per il riscaldamento e la superficie utile dell'edificio. L'energia termica per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) rappresenta l'energia necessaria per mantenere gli ambienti riscaldati alla temperatura di progetto, in genere fissata a 20°C.

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad (3)$$

Dove:

- $Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale nel caso di riscaldamento [kWh];
- Q_{gn} sono gli apporti termici totali [kWh];
- $Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione [kWh];
- $Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione [kWh];
- Q_{int} sono gli apporti termici interni [kWh];
- Q_{sol} sono gli apporti termici solari [kWh];
- $\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici.

Analogamente si definisce il fabbisogno di energia termica $Q_{C,nd}$ per la climatizzazione estiva, calcolato per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, come:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad (4)$$

L'APE deve infine riportare le informazioni correlate al miglioramento della prestazione energetica, quali gli incentivi di carattere finanziario disponibili al momento del rilascio dell'attestato (come ad esempio detrazioni fiscali, Conto Termico ecc...) e l'opportunità di eseguire diagnosi energetiche.

1.2. Diagnosi energetica

La diagnosi energetica è una procedura volta ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico in base ai consumi effettivi dell'edificio.

Tale procedura parte dall'analisi dello stato di riferimento "Ante Operam" fino ad arrivare ad un modello di calcolo in cui le condizioni sono adattate all'utenza ("Tailored Rating") e rispecchiano la reale gestione degli impianti.

Il passaggio successivo consiste nel fornire una serie di soluzioni e di interventi migliorativi dal punto di vista energetico, mirati a una conseguente riduzione delle spese di gestione degli impianti.

La differenza tra il processo di diagnosi energetica e quello di certificazione energetica è quindi sostanziale: l'attestato APE riguarda le prestazioni energetiche dell'edificio e degli impianti in condizioni standard e in maniera tale da favorire il confronto con altri edifici; la diagnosi energetica è, invece, una rappresentazione fedele che rispecchia le reali condizioni di esercizio di un edificio, dal comportamento dell'utenza alla gestione degli impianti.

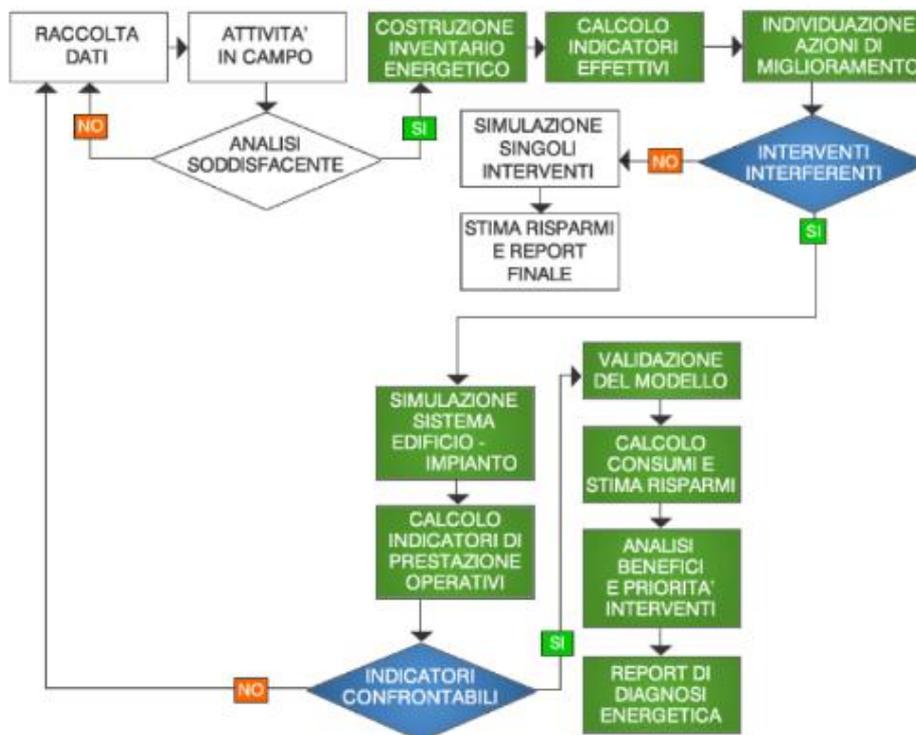


Figura 3 – Schema per la diagnosi energetica degli edifici

Capitolo 2:

Il contesto normativo di riferimento

Nel presente capitolo viene introdotto il tema dell'efficienza energetica da un punto di vista normativo sia a livello europeo che nazionale.

La comunità europea ha adottato una serie di provvedimenti per ridurre i consumi di energia e le emissioni di gas serra, imponendo per gli edifici valori limite da non superare.

Il potenziale di risparmio energetico è particolarmente ampio dal momento che quasi il 40% del consumo finale di energia è riconducibile a case, uffici e altre categorie di edifici.

2.1. Le direttive europee

Nel quadro normativo europeo le direttive che riguardano il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici (esistenti o di nuova costruzione) e dettano i requisiti di efficienza da rispettare, sono denominate "EPBD" ovvero Energy Performance Building Directive.

Direttiva 2002/91/CE EPDB I

La prima direttiva EPBD è stata approvata il 16 dicembre 2002 e richiedeva agli stati europei un inasprimento delle misure edilizie e l'introduzione della certificazione energetica, al fine di ridurre le emissioni di gas inquinanti e promuovere l'efficienza energetica degli edifici.

Il fulcro di tale direttiva è stato l'introduzione dell'Attestato di Certificazione Energetica (ACE) sul quale deve essere riportata in maniera semplice la prestazione energetica dell'immobile e gli interventi migliorativi.

Direttiva 2010/31/UE EPDB II

La Direttiva 2010/31/UE chiamata "*EPBD recast*" amplia il campo d'applicazione ed incrementa le misure per l'efficientamento energetico. La Direttiva 2010/31/UE definisce l'APE (Attestato di Prestazione Energetica), documento, contenente tutte le informazioni sulla prestazione energetica dell'edificio con particolare attenzione al consumo energetico.

La Direttiva ha inoltre ampliato la propria attenzione sugli edifici “nZEB” a energia quasi zero (“Nearly Zero Energy Building”).

Direttiva 2012/27/UE

La direttiva 2012/27/UE stabilisce una serie di provvedimenti per la promozione dell'efficienza energetica al fine di garantire il conseguimento dell'obiettivo principale, ovvero il miglioramento dell'efficienza energetica del 20% entro il 2020.

Il nuovo strumento legislativo introduce misure giuridicamente vincolanti per favorire un uso più efficiente dell'energia in tutte le fasi della catena energetica, dalla trasformazione alla distribuzione per il consumo finale.

Direttiva (UE) 2018/844 EPDB III

La direttiva del 2018/844 stabilisce i nuovi obiettivi europei, ovvero:

- la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra di almeno il 40% entro il 2030;
- lo sviluppo di un sistema energetico sostenibile e decarbonizzato entro il 2050.

Ogni Stato membro dovrà elaborare strategie nazionali a lungo termine per migliorare l'efficienza energetica di edifici residenziali, pubblici e privati, al fine di ridurre le emissioni nell'UE dell'80-85% rispetto ai livelli del 1990 facilitando la trasformazione degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero (nZEB).

2.2. La normativa nazionale

Nel corso degli anni si sono susseguite una serie di normative nazionali di riferimento, a partire dalla prima legge italiana inerente all'efficienza energetica n.373/76, fino ai più recenti decreti del 26 giugno 2015 e del 10 giugno 2020.

Legge n. 373/1976

Con la legge 373/76 si afferma per la prima volta il principio di risparmio energetico (art.1), con l'introduzione di vincoli per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici.

Legge n. 10/1991

La legge 10 del 9 gennaio 1991 integra ed in parte sostituisce la precedente legge 373/76, fornendo di fatto una nuova procedura per la verifica energetica degli edifici e compiendo un primo passo verso la certificazione energetica.

DPR n. 412/1993

Il DPR n.412/1993 detta le norme per la progettazione e la manutenzione degli impianti al fine di ridurre i consumi e gli sprechi di energia. In particolare introduce:

- la classificazione del territorio italiano in funzione del numero di gradi giorno;
- le categorie di destinazione d'uso degli edifici;
- i criteri di progettazione energetica.

D.Lgs. 19/08/2005 n.192

Tale decreto, stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, con l'obiettivo di favorire l'utilizzo di fonti rinnovabili per limitare le emissioni di gas serra.

D.P.R. n. 59/2009

Il D.P.R. n. 59/2009 stabilisce i requisiti minimi e i criteri per la prestazione energetica degli edifici. Sono quindi indicate le procedure di calcolo nazionali per la valutazione dei fabbisogni relativi alla climatizzazione invernale, alla produzione dell'acqua calda sanitaria, alla climatizzazione estiva e, per gli edifici non residenziali, all'illuminazione artificiale.

D.M. 26/06/2009

L'entrata in vigore del D.M. 26/06/2009 rende obbligatoria la certificazione energetica degli edifici redatta da un tecnico abilitato.

D. Lgs. 28/2011

Il D.lgs. 28/2011, denominato “Decreto rinnovabili”, introduce l’obbligo di riportare l’indicatore di prestazione energetica sugli annunci commerciali per la vendita degli immobili. Viene inoltre ribadita la necessità di utilizzo di fonti rinnovabili per coprire in parte il fabbisogno energetico dell’edificio.

D.L. 63/2013

D.L 63/2013: Da “ACE” a “APE”

Con il D.L 63/2013 la certificazione cambia nome: non si parla più di Attestato di certificazione energetica ma di Attestato di prestazione energetica.

D.M. 26 giugno 2015

Il D.M. 26 giugno 2015 aggiorna il quadro normativo di riferimento con la pubblicazione di tre documenti riguardanti rispettivamente:

- la modalità di compilazione dell’attestato di prestazione energetica;
- l’applicazione del metodo di calcolo e la definizione dei requisiti minimi;
- l’adeguamento delle linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Dal 1° ottobre 2015 entrano quindi in vigore le nuove regole per la redazione dell’attestato di prestazione energetica. In particolare il calcolo degli indicatori di prestazione dovrà essere effettuato sulla base della quota di energia primaria non rinnovabile. Altra novità riguarda il ruolo dell’illuminazione artificiale che entra a far parte dell’APE, limitatamente agli edifici del terziario.

Decreto legislativo 10 giugno 2020 n.48, Attuazione EPDB III

Nel 2020 è stato pubblicato il decreto legislativo 10 giugno 2020 n.48, attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio. Il decreto apporta modifiche rilevanti al D.lgs 19/08/2005 N.192.

La direttiva oggetto di recepimento mira a:

- favorire la realizzazione di soli edifici nZEB entro il 2050;
- promuovere l'uso delle tecnologie informatiche e intelligenti (ICT) per garantire agli edifici di operare e consumare in maniera quanto più efficiente;
- dare un impulso alla mobilità elettrica con l'integrazione delle infrastrutture di ricarica negli edifici;
- razionalizzare le disposizioni delle precedenti versioni della direttiva alla luce dell'esperienza applicativa.

2.3. Le normative UNI

La necessità di fornire un attestato di prestazione energetica per gli edifici ha determinato la definizione di procedure di calcolo precise, in ottemperanza alle direttive europee e nazionali.

Di seguito sono riportate le principali norme UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) sulla certificazione energetica.

UNI-TS 11300

“Prestazioni energetiche degli edifici”- Parte 1-6

La specifica tecnica UNI-TS 11300 stabilisce il metodo di calcolo per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Essa, al momento, è suddivisa in sei parti.

UNI-TS 11300-1

La parte 1 della UNI-TS 11300 definisce il metodo di calcolo mensile per la determinazione dei fabbisogni di energia termica per la climatizzazione estiva ed invernale. In dettaglio, fornisce le linee guida sia per una procedura di calcolo standard che per una valutazione in particolari condizioni di esercizio.

UNI-TS 11300-2

La UNI-TS 11300-2 consente di determinare:

- il fabbisogno di energia utile per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS);
- i rendimenti e i fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari dei sottosistemi dell'impianto termico;
- il rendimento globale medio stagionale;
- il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

UNI-TS 11300-3

La UNI-TS 11300 parte 3 consente la determinazione:

- dei rendimenti e dei fabbisogni di energia dei sistemi di climatizzazione estiva;
- dei fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione estiva.

UNI-TS 11300-4

La UNI/TS 11300-4 consente di determinare il fabbisogno di energia per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria nel caso in cui i sottosistemi di generazione forniscano l'energia termica utile da fonti energetiche rinnovabili o con metodi diversi dalla combustione a fiamma di combustibili fossili.

UNI-TS 11300-5

La specifica tecnica fornisce i metodi di calcolo per determinare il fabbisogno di energia primaria degli edifici distinguendo tra energia consegnata ed esportata e permettendo di determinare la quota di energia da fonti rinnovabili.

UNI-TS 11300-6

La UNI-TS 11300-6 introduce il calcolo del fabbisogno di energia elettrica per il funzionamento di impianti per il trasporto di cose e/o persone.

UNI 10349

Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici. Parte 1-3

UNI EN 15193:2017

Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione.

La norma stabilisce la metodologia per la valutazione della prestazione energetica dei sistemi di illuminazione, sia per edifici nuovi che per edifici esistenti o ristrutturati. Fornisce quindi una metodologia di calcolo basata sull'indice LENI, inteso come la misura del fabbisogno di energia annuo per l'illuminazione artificiale.

UNI EN 12464-1

Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni.

La norma specifica i requisiti di illuminazione per persone, in posti di lavoro in interni, in relazione alle esigenze di comfort visivo.

UNI EN ISO 14683

Ponti termici in edilizia – Coefficienti di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento.

UNI CEI EN 16247-1:2012 & UNI CEI EN 16247-2:2014

Diagnosi energetiche - Parte 1: Requisiti generali

Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici

La norma definisce i requisiti e la metodologia per le diagnosi energetiche. Si applica a tutte le forme di aziende ed organizzazioni, a tutte le forme di energia e di utilizzo della stessa, con l'esclusione delle singole unità immobiliari residenziali.

Capitolo 3:

Il caso studio “Brancaccio” di Matera

3.1. Metodologia seguita

Nel momento in cui si intende valutare con precisione le prestazioni energetiche di un edificio, è necessario ricondursi ad un modello di calcolo che descriva il più realisticamente possibile il suo comportamento, tenendo conto dell’interazione tra sistemi tecnici e involucro edilizio.

Per costruire il modello energetico occorre seguire i seguenti step:

- inserimento dei dati climatici (norma UNI 10349);
- definizione del fabbricato e delle zone termiche;
- definizione dei servizi energetici presenti e degli impianti termici a servizio di ogni zona (riscaldamento, acqua calda sanitaria, raffrescamento, ventilazione, trasporto e illuminazione);
- calcolo, per ciascuna zona dell’edificio, dei seguenti parametri:
 - fabbisogno di energia termica per riscaldamento o raffrescamento;
 - fabbisogno di energia per produzione di acqua calda sanitaria;
 - fabbisogno di energia per ventilazione meccanica;
 - fabbisogno di energia per illuminazione;
 - fabbisogno di energia per trasporto di cose e persone.

La validazione di tale modello verrà poi eseguita adattando il calcolo all’utenza, il che significa imputare all’interno del software valori non standard, commisurati ai reali consumi dell’edificio, alle modalità reali di utilizzo degli impianti e ai dati effettivi di occupazione dell’edificio.

Nel presente capitolo si riportano gli step necessari alla costruzione del modello energetico per il caso studio in esame, la casa di riposo “Brancaccio” di Matera. A tale fine si è scelto di utilizzare “Termolog Epix 11”, il software della logical soft per la certificazione energetica degli edifici.

3.2. Inquadramento territoriale e dati climatici

La Residenza per anziani “Brancaccio” nasce nel 1934 nella città di Matera e si trasferisce nel 1980 in Via degli Etruschi n.1. Fino al luglio 2016 lo stabile è stato di proprietà della Fondazione Residenza Assistenziale Mons. Brancaccio, ma attualmente è gestito dalla Cooperativa Sociale il Sicomoro.

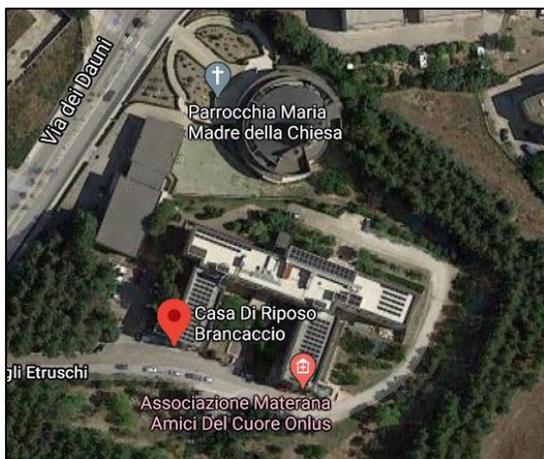


Figura 4 – Geolocalizzazione del “Brancaccio”

Figura 5 – Particolare ingresso edificio

Negli ultimi anni è stata avviata una profonda ristrutturazione architettonica e impiantistica dell’edificio che riguarda principalmente la riqualificazione energetica degli impianti esistenti, la realizzazione di nuovi impianti di riscaldamento e raffrescamento e il rifacimento dell’impianto elettrico.

L’attuale struttura è degli anni ’70 e si sviluppa per circa 7500 m² distribuiti su 5 livelli, in grado di accogliere circa 250 ospiti tra anziani e operatori sanitari.

Le stanze di degenza sono distribuite negli ultimi tre piani della residenza, con differenze in relazione al grado di autosufficienza e alle necessità dei pazienti. Nei primi due livelli della struttura hanno invece sede le sale comuni del “centro diurno polifunzionale” e gli uffici della “fondazione Brancaccio”, del gruppo “Il Sicomoro” e della Onlus “Associazione amici del cuore”.

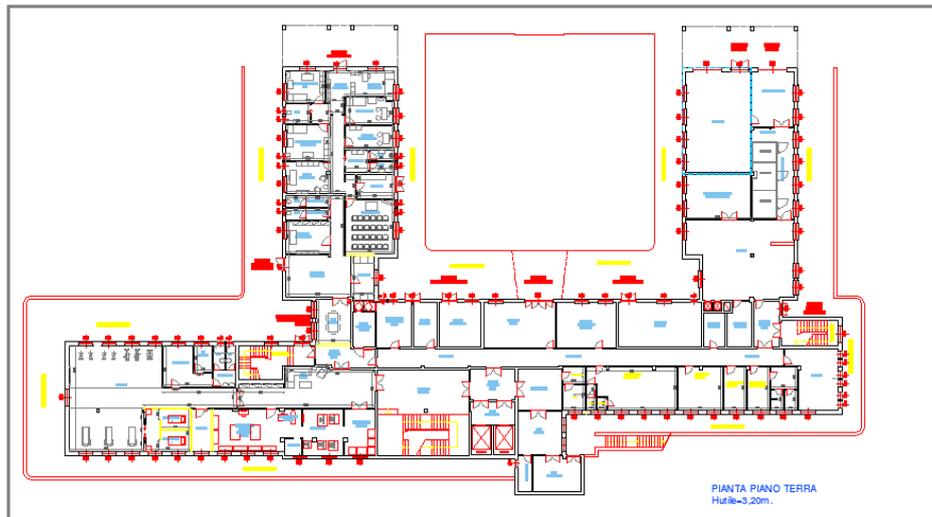


Figura 6 – Pianta piano terra

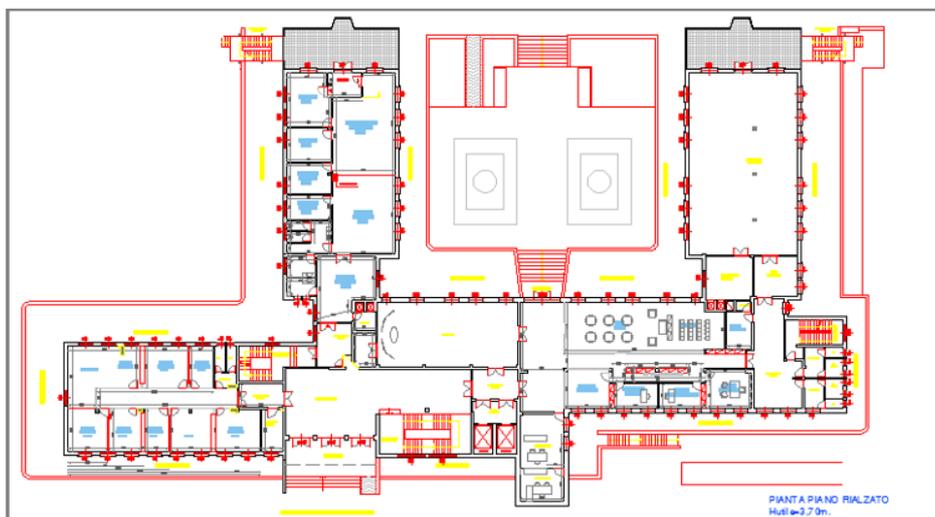


Figura 7 – Pianta piano rialzato



Figura 8 – Pianta piano primo



Figura 9 – Pianta piano secondo



Figura 10 – Pianta piano terzo

In Tabella 1 sono riportati i dati climatici relativi alla città di Matera.

Località	Latitudine	Longitudine	Zona climatica	Gradi Giorno
Matera (MT)	40,68	16,58	D	1776

Tabella 1 – Dati climatici (MT)

Zona climatica: nel D.P.R. 412/93 (art. 2) “Individuazione della zona climatica e dei gradi-giorno” il territorio nazionale è stato suddiviso in 6 zone climatiche (A-F), dove nella zona A ricadono le località con climi più caldi e nella zona F le località con climi più freddi. La localizzazione dell’edificio è un fattore fondamentale per valutare concretamente le sue caratteristiche energetiche.

Gradi Giorno (GG): rappresentano la quantità di energia necessaria a riscaldare o raffreddare un ambiente rispetto a una temperatura di riferimento.

$$GG = \sum_{e=1}^n (T_i - T_e) \quad (5)$$

Dove:

- n = numero di giorni della stagione di riscaldamento;
- T_i =temperatura di riferimento ambiente interno (fissato a 20° C dalla normativa italiana);
- T_e =temperatura esterna media giornaliera.

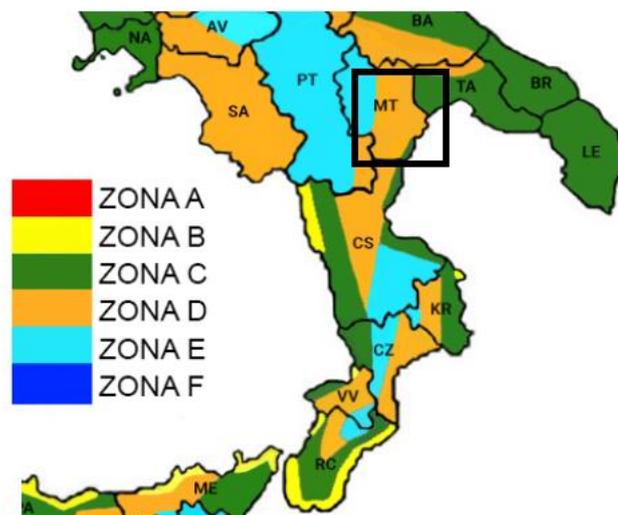


Figura 11 – Zona climatica (MT)

3.3. Analisi e modellazione dell'edificio

Il processo di analisi consta di varie fasi che iniziano con il rilievo dei dati per il sistema edificio-impianto nelle condizioni di esercizio. In particolare al fine di valutare i fabbisogni energetici di un edificio risulta necessario analizzare i seguenti aspetti:

- le caratteristiche costruttive;
- il comportamento termodinamico dei materiali impiegati;
- gli impianti e l'efficienza dei sistemi installati.

Edificio	Anno di costruzione	Numero di piani	Superficie lorda	Destinazione d'uso (D.P.R 412/93)
Casa di riposo Brancaccio	1970	5	7495 [m ²]	E.3 ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili

Tabella 2 – Dati generali della casa di riposo

3.3.1. Zonizzazione dell'edificio

In accordo con la normativa UNI/TS 11300-1 cap.7, l'edificio è stato suddiviso in zone termiche. Con zona termica si intende quella parte dell'ambiente climatizzato mantenuto a temperatura uniforme attraverso lo stesso impianto di climatizzazione.

Nel caso studio in esame la centrale termica che serve gran parte dell'edificio è ubicata al piano terra e prevede un impianto ibrido con caldaie a condensazione e pompe di calore, responsabile anche della produzione di acqua calda sanitaria (ACS).

Sei diversi locali sono invece climatizzati da impianti VRV (Variant Refrigerant Volume) ad espansione diretta mentre il terzo piano è servito da una centrale termica indipendente. Si rimanda al paragrafo 3.4 per una più dettagliata descrizione degli impianti termici.

Si sono quindi individuate le seguenti zone termiche:

- 1) “Degenza-Servizi” (piano terra, rialzato, primo e secondo);
- 2) “Fondazione” (piano terra);
- 3) “Associazione” (piano terra);
- 4) “Palestra” (piano terra);
- 5) “Direzione-area relax” (piano rialzato);
- 6) “Centro polifunzionale” (piano rialzato);

- 7) “Uffici Sicomoro” (piano rialzato);
- 8) “Piano tre” (terzo piano);

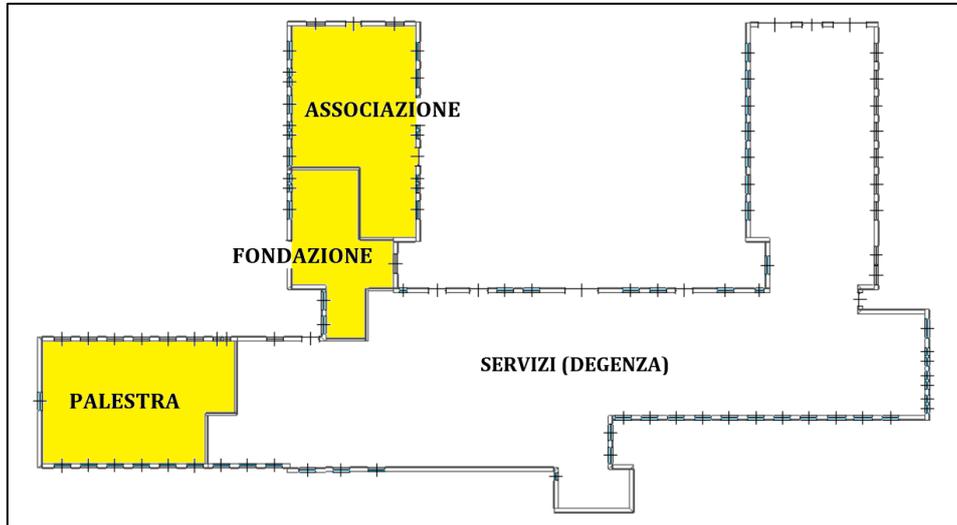


Figura 12 – Pianta piano terra



Figura 13 – Pianta piano rialzato

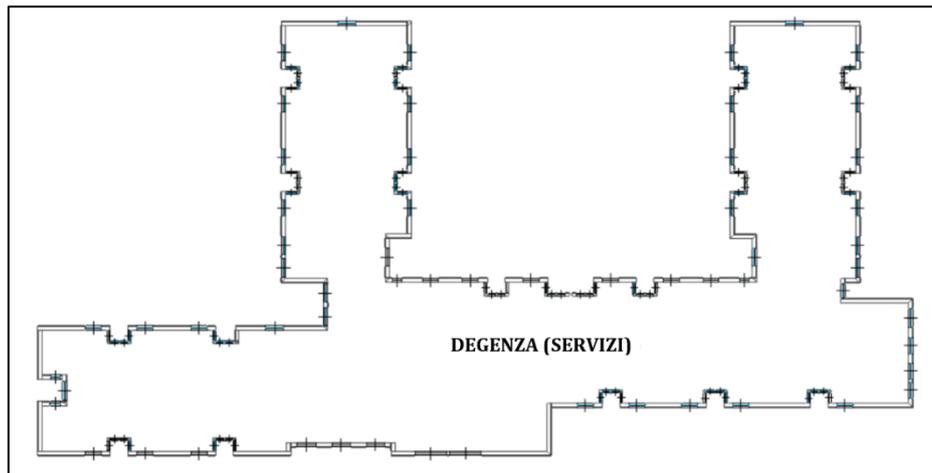


Figura 14 – Pianta piano primo

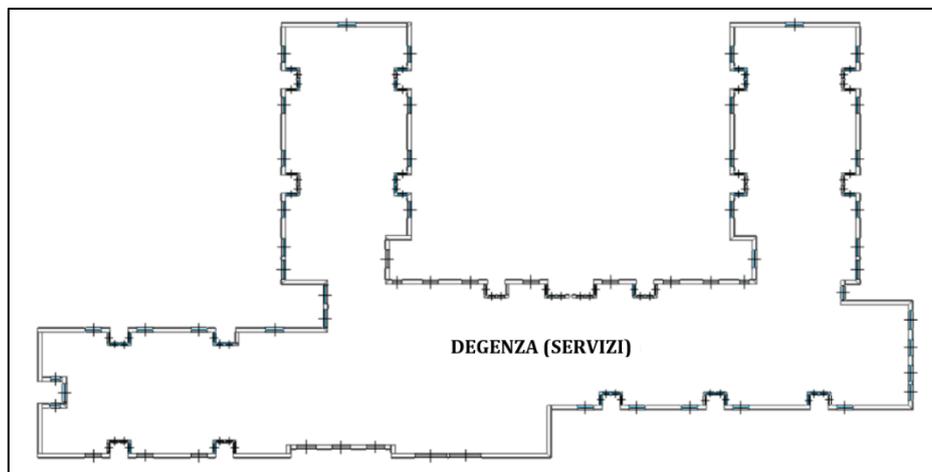


Figura 15 – Pianta piano secondo

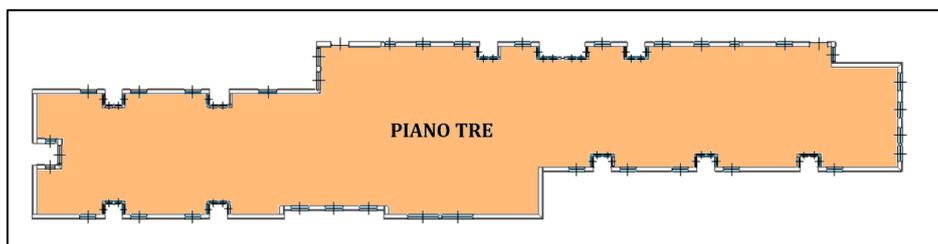


Figura 16 – Pianta piano terzo

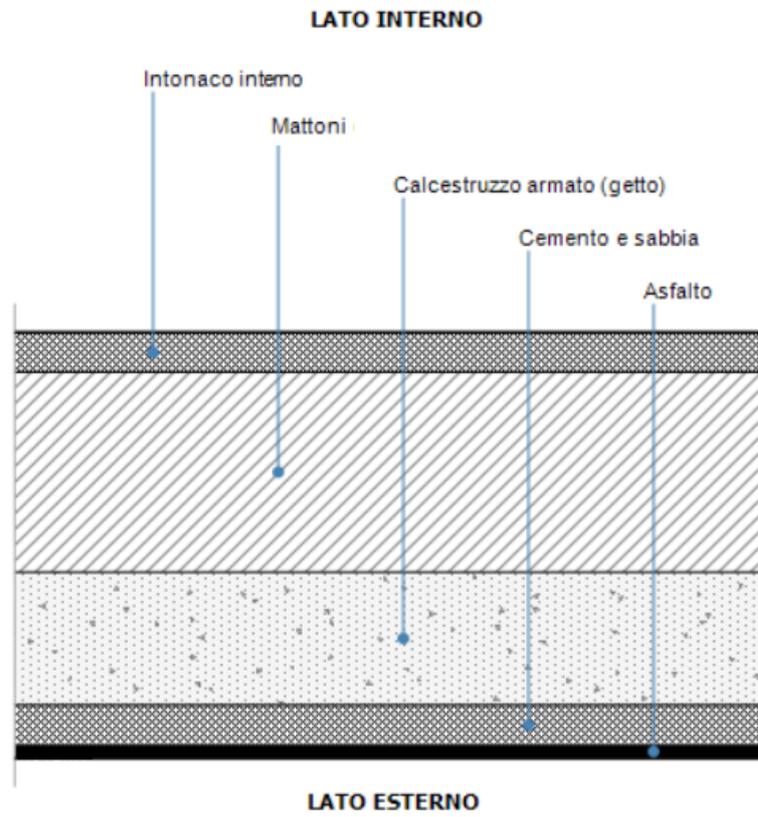
3.3.2. Componenti dell'involucro edilizio

Le prestazioni energetiche di un edificio dipendono dall'efficienza dell'involucro edilizio e in particolare dai valori di trasmittanza termica (U) e di resistenza termica (R) dei materiali da cui è composto. In particolare i materiali componenti un involucro che separa due ambienti a differenti temperature offre una resistenza al passaggio del calore che varia in relazione diretta allo spessore del materiale e in relazione inversa alla sua "facilità" a trasmettere il calore.

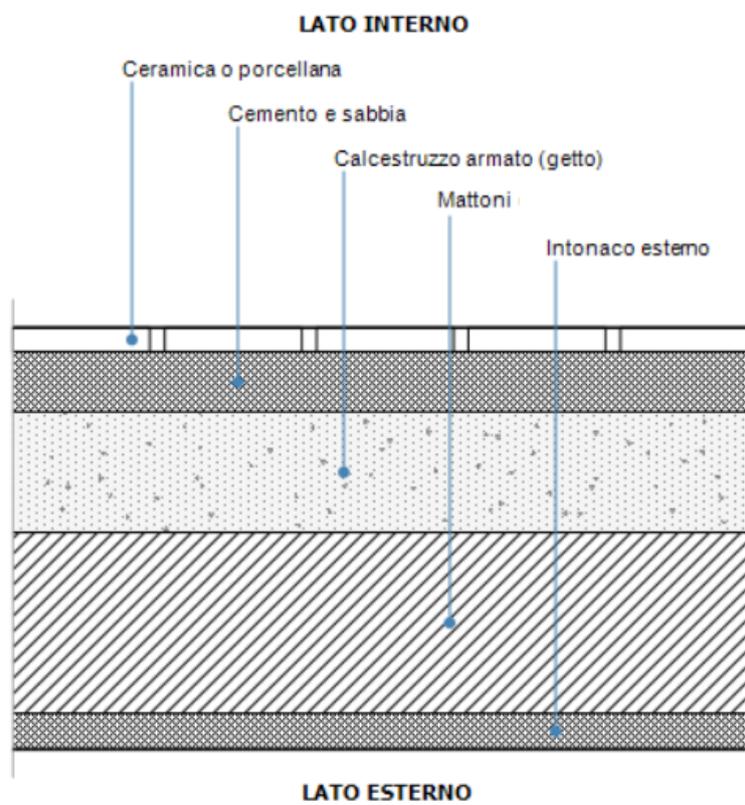
Nelle tabelle seguenti sono riportate le stratigrafie dei componenti dell'involucro edilizio della casa di riposo "Brancaccio" e i relativi valori di trasmittanza termica.

Elemento	Schema 2D
Muro perimetrale	

Solaio
controterra



Solaio
interpiano



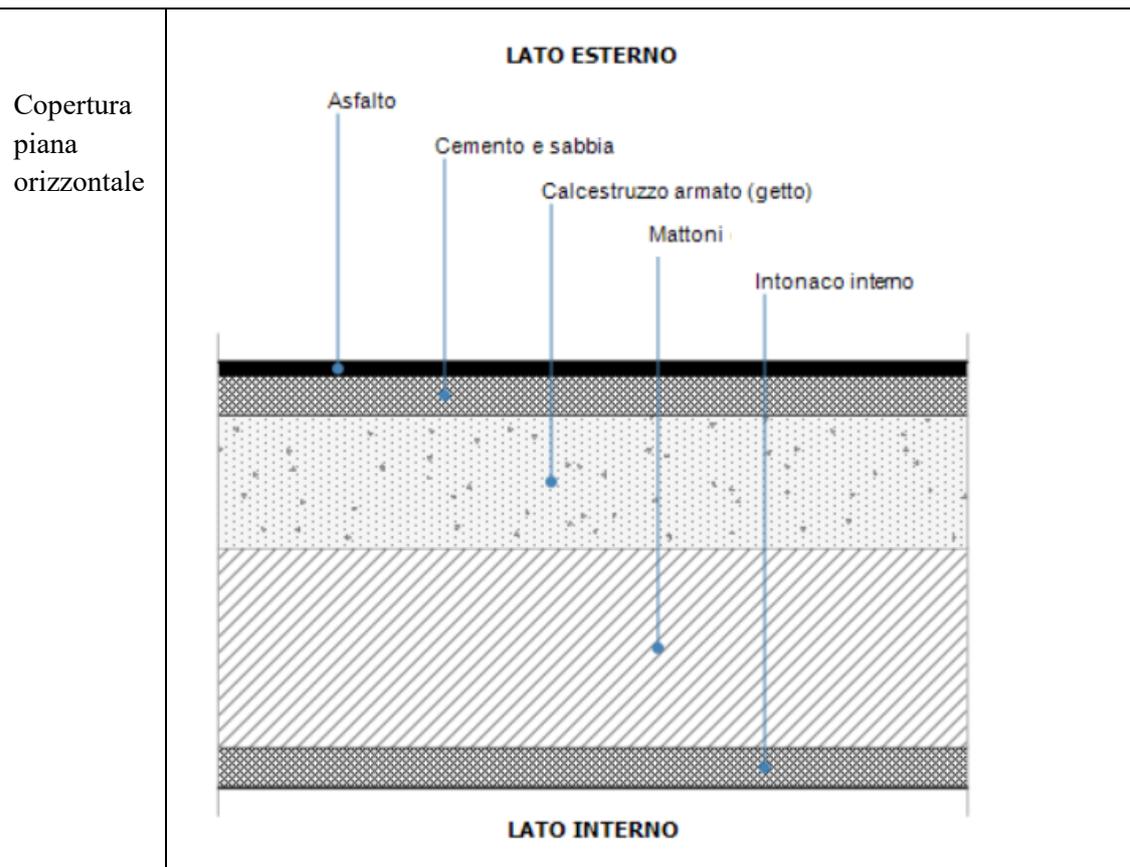


Tabella 3 – Stratigrafie dei componenti dell’involucro edilizio

Elemento	Spessore [cm]	Trasmittanza [W/m ² K]
Muro perimetrale	40	1,14
Solaio contro terra	32	1,69
Solaio d’interpiano	35	1,55
Copertura piana orizzontale	32	1,69

Tabella 4 – Spessore e trasmittanza dei componenti

Proprietà	Valore
Trasmittanza termica	3,16 [W/m ² K]
Trasmittanza termica compresa chiusura	2,45 [W/m ² K]
Tipo di vetro	doppio
Emissività vetro	0,837
Trasmissione solare totale	0,762
Schermatura	Avvolgibili in PVC
Materiale del telaio	Metallo
Tipo telaio	Senza taglio termico
Spessore telaio	5 [mm]
Trasmittanza telaio	5,881 [W/m ² K]
Trasmittanza termica cassonetto	6,0 [W/m ² K]
Coeff. radiativo esterno	1,71 [W/m ² K]
Coeff. radiativo interno	1,85 [W/m ² K]
Coeff. convettivo esterno	23,29 [W/m ² K]
Coeff. convettivo interno	5,85 [W/m ² K]

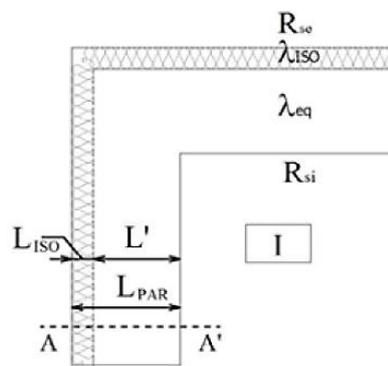
Tabella 5 – Proprietà dei serramenti in uso al “Branccaccio”

PONTI TERMICI

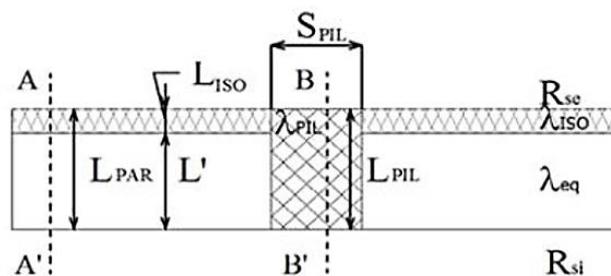
Una definizione di ponte termico è contenuta nell'Allegato A del D.Lgs 192/2005: “è la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza degli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro)”.

In generale esistono tre tipologie di ponte termico:

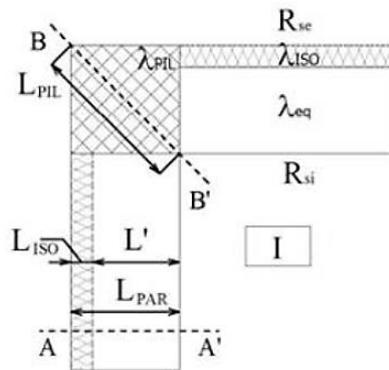
- il ponte termico geometrico, dove la discontinuità è data dalla differente superficie disperdente tra interno ed esterno come nel caso di un angolo nel quale la superficie esterna fredda è maggiore di quella interna più calda;



- il ponte termico con discontinuità termo-fisica, dove l'interruzione e la diversità di materiale provocano un diverso comportamento al passaggio di calore;



- il ponte termico caratterizzato da discontinuità geometrica e termo-fisica, che unisce i due comportamenti precedenti.



Il parametro caratteristico di dispersione di un ponte termico lineare è la trasmittanza termica lineica Ψ , ovvero la quantità di flusso termico scambiato attraverso un metro di ponte termico con salto termico pari ad un grado.

In tutte le regioni, in ottemperanza a quanto indicato dalle UNI TS 11300 parte 1 del 2014 (paragrafo 11.1.3), la dispersione attraverso i ponti termici deve essere sempre valutata con metodo di calcolo puntuale.

Tale vincolo vale sia per il calcolo di progetto che ai fini della produzione di un certificato energetico, pertanto il coefficiente di scambio termico relativo ad un ponte termico dovrà essere sempre valutato con la formula seguente:

$$H = \psi \cdot l \quad [\text{W/K}] \quad (6)$$

Dove:

- Ψ è la trasmittanza lineica del ponte termico $[\text{W}/(\text{mK})]$;
- l è la lunghezza del ponte termico $[\text{m}]$;

Nella modellazione del caso studio in esame si è utilizzato il modulo “Ponti Termici” di Termolog che permette di calcolare, in accordo con la UNI EN ISO 14683, la trasmittanza lineica a partire dalle stratigrafie delle strutture che compongono il ponte termico.

I ponti termici individuati per la residenza “Brancaccio” sono del tipo:

- “Parete con pilastro”;
- “Angolo sporgente con o senza pilastro”;
- “Angolo rientrante con o senza pilastro”;
- “Parete – solaio”;
- “Parete – serramento”;
- “Parete - copertura piana”.

Le tipologie sopra descritte sono state poi introdotte nell’edificio tramite la procedura guidata (wizard) offerta dal software.

Nella figura sottostante è rappresentato uno dei ponti termici individuati, della tipologia angolo sporgente, con valore di trasmittanza (esterno) pari a $-0,254$ [W/(mK)].

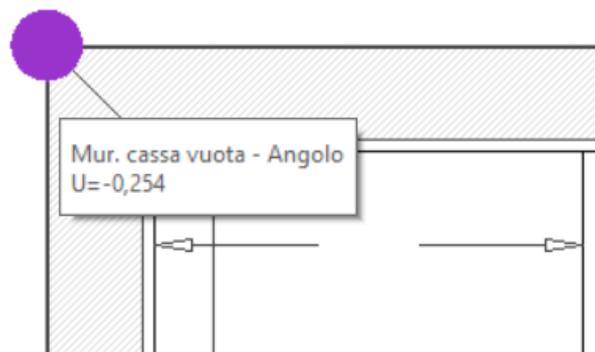


Figura 17 – Dettaglio ponte termico (Termolog)

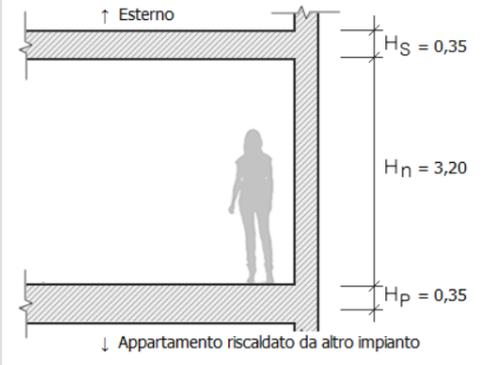
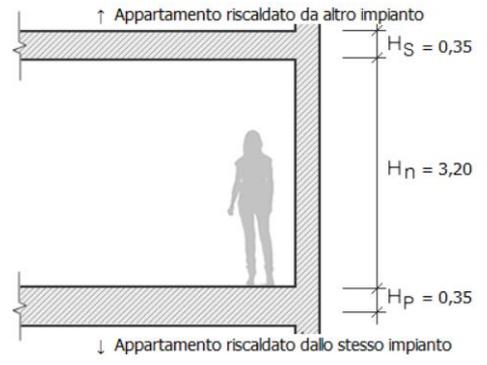
3.3.3. Modello 3D

Dopo aver definito i componenti dell'involucro edilizio si è potuto procedere alla modellazione vera e propria della casa di riposo.

Termolog permette l'importazione, in formato dwg, della planimetria dell'edificio che è servita da base per l'inserimento delle strutture disperdenti.

Per ognuno dei cinque livelli si è indicato lo spessore di soffitti e pavimenti, l'altezza netta dei locali e gli ambienti con cui essi confinano, nonché il verso delle dispersioni (Tabella 6).

Le superfici e i volumi sono invece calcolati automaticamente da Termolog, tramite l'input grafico, per ognuna delle zone termiche (Tabella 7) o per ogni piano dell'edificio (Tabella 8).

Edificio	Altezza netta [m]	Schema
Piano terzo	3,2	
Piano secondo	3,2	

Piano primo	3,2	
Piano rialzato	3,7	
Piano terra	3,2	
Totale	16,5	-

Tabella 6 – Dati in input per i cinque livelli del “Brancaccio”

EDIFICIO	Sup. utile [m²]	Sup. lorda [m²]	Vnetto [m³]	Vlordo [m³]
Degenza-Servizi	4521,50	5211,02	14871,20	19048,89
Fondazione	92,30	106,84	295,36	393,06
Associazione	171,60	196,90	549,12	723,95
Palestra	178,50	201,32	571,20	740,55
Direzione	196,50	224,16	727,05	903,07
Centro polif.	256,10	291,89	947,57	1177,19
Uffici Sicomoro	212,20	241,16	785,14	972,92
Piano tre	865,80	1022,10	2779,22	3760,25
Totale	6494,50	7495,39	21525,86	27719,89

Tabella 7 – Riepilogo delle geometrie dell'edificio per zona

Edificio	Sup. utile [m²]	Sup. trasparente [m²]
Piano terra	1478,5	125,05
Piano rialzato	1469,6	229,5
Piano primo	1340,3	283,6
Piano secondo	1340,3	283,6
Piano terzo	865,8	169,75
Totale	6494,5	1091,5

Tabella 8 – Valori di superficie utile e trasparente per piano

Le figure 18/19/20/21 mostrano il risultato della modellazione 3D dell'edificio "Brancaccio".



Figura 18 – Vista lato sud

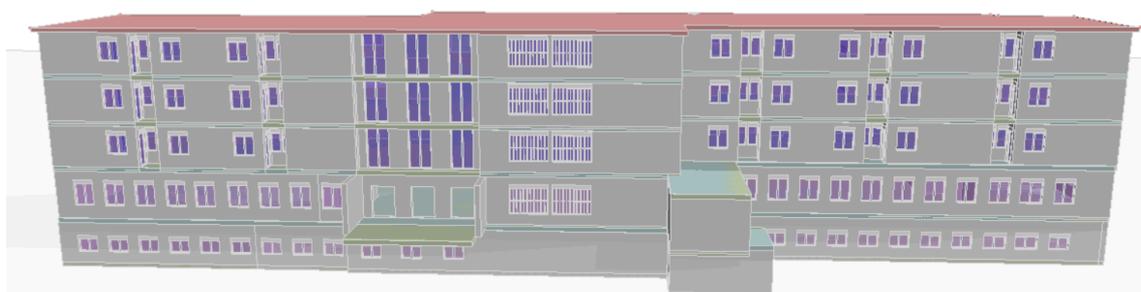


Figura 19 – Vista lato nord



Figura 20 – Vista laterale

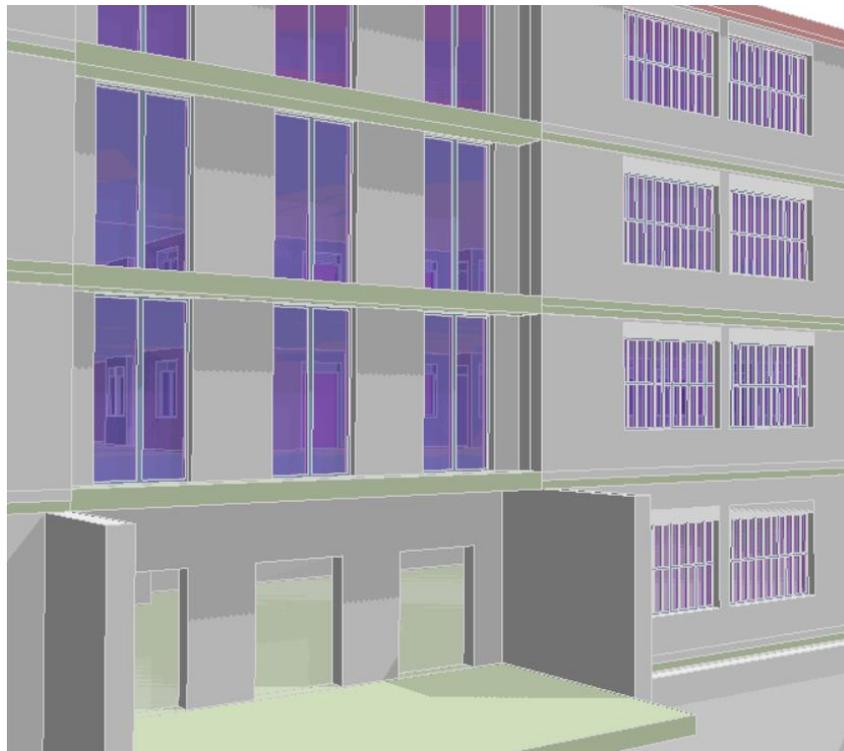


Figura 21 – Particolare ingresso

Ai fini di una corretta analisi si sono modellati gli ostacoli e gli aggetti, fondamentali per il calcolo degli ombreggiamenti.

Con ostacoli si intendono tutte quelle ostruzioni esterne (edifici, colline, ecc.) nelle adiacenze dell'edificio che causano una riduzione degli apporti solari.

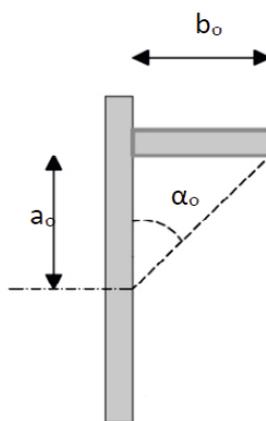
Tipici esempi di aggetti orizzontali sono la presenza di balconi superiori o, nel caso del serramento, l'imbotte superiore della finestra. In presenza sia dell'imbotte sia di balconi, si considera il maggiore angolo di ostruzione fra i due.

Gli aggetti verticali da considerare sono, ad esempio, le rientranze e le sporgenze della facciata, così come l'imbotte (verticale) stessa della finestra.

Termolog permette di modellare graficamente ostacoli e aggetti e calcola automaticamente gli ombreggiamenti sulle strutture disperdenti dell'involucro nella seguente maniera:

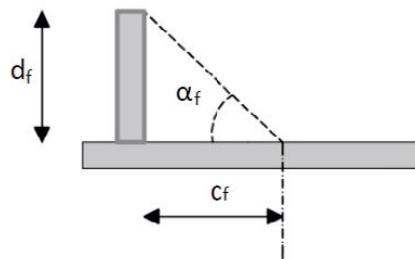
- per gli aggetti orizzontali, a partire dalla distanza verticale a_o , tra il centro dell'elemento e l'intradosso dell'aggetto orizzontale, e dall'estensione dell'aggetto b_o , è possibile calcolare l'angolo di ombreggiatura dell'aggetto orizzontale α_o :

$$\alpha_o = \arctan\left(\frac{b_o}{a_o}\right)$$



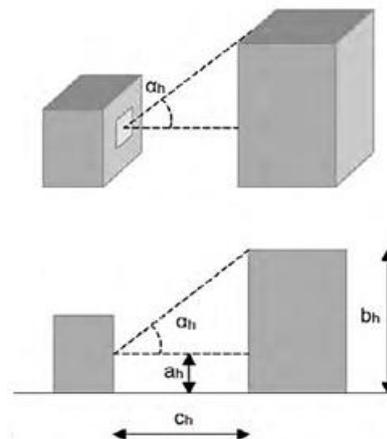
- per gli aggetti verticali, a partire dalla distanza orizzontale c_f , tra il centro dell'elemento e il bordo dell'aggetto, e dall'estensione dell'aggetto d_f , è possibile calcolare l'angolo di ombreggiatura dell'aggetto verticale α_f :

$$\alpha_f = \arctan\left(\frac{d_f}{c_f}\right)$$



- per le ostruzioni esterne si considerano i seguenti input:
 - a_h altezza da terra del centro dell'elemento;
 - b_h altezza da terra dell'ostruzione antistante;
 - c_h distanza tra il centro dell'elemento e il piano dell'ostruzione;
 L'angolo di ombreggiatura α_h vale:

$$\alpha_h = \arctan\left(\frac{b_h - a_h}{c_h}\right)$$



Gli ostacoli esterni nelle vicinanze della residenza “Brancaccio” sono mostrati in Figura 22/23: si tratta della parrocchia “Maria Madre della Chiesa” di altezza pari a 11 metri e di un ufficio privato di altezza pari a 7 metri. In Figura 24 è invece mostrato un esempio di oggetto orizzontale.

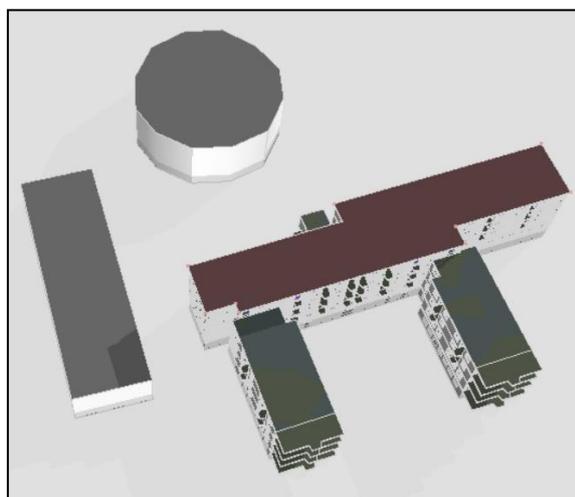
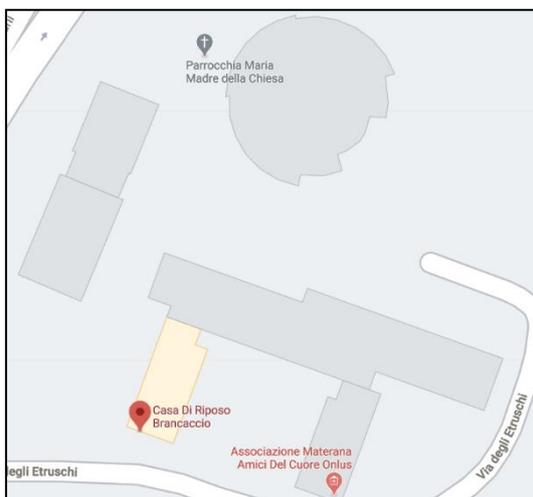


Figura 22 – Ostacoli esterni (Google Maps)

Figura 23 – Ostacoli esterni (Termolog)

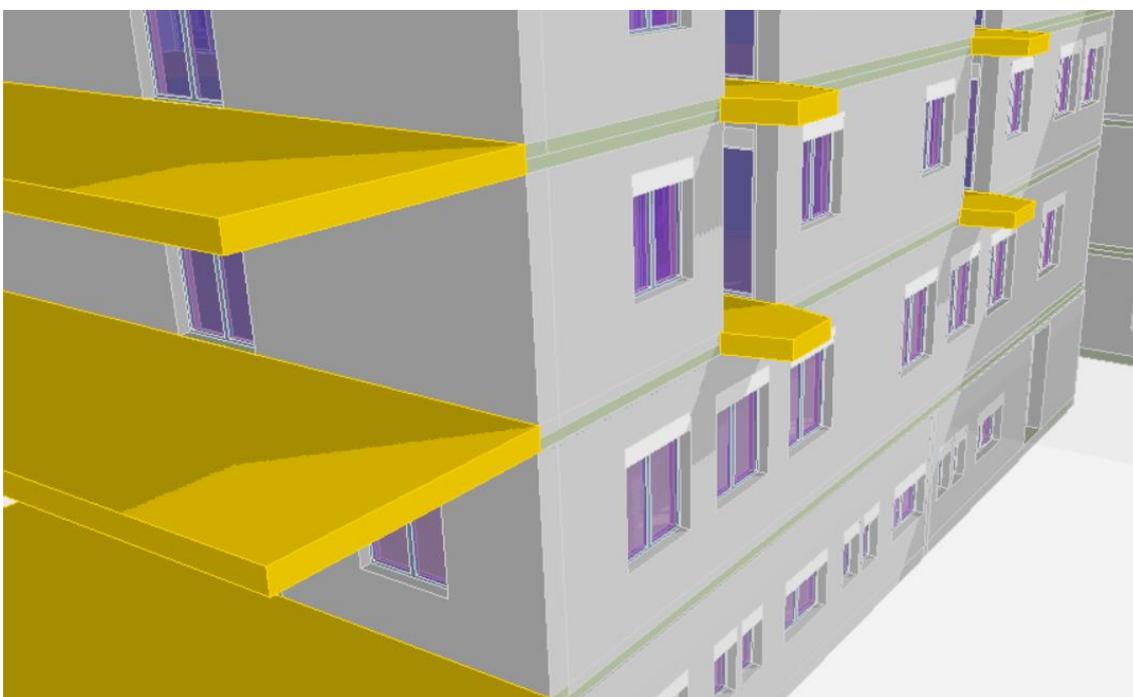


Figura 24 – Esempi di oggetti orizzontali (in giallo)

3.3.4. Scambi termici

Nel presente paragrafo si riportano i risultati relativi all'analisi degli scambi termici complessivi per l'edificio in esame.

La quota di scambio termico globale per trasmissione viene determinata come sommatoria di tutte le trasmittanze per le relative superfici lorde, opportunamente corrette per il fattore di scambio termico.

Nel grafico in Figura 25 si riporta la distribuzione degli scambi termici per trasmissione in funzione del tipo di struttura opaca o trasparente che costituisce l'involucro.

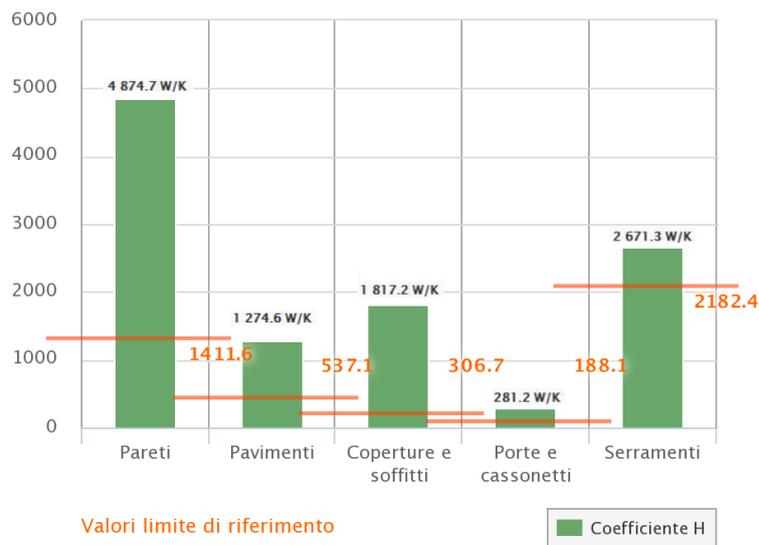


Figura 25 – Coefficienti di scambio termico per tipo di struttura [W/K]

A seguire un toroide che mostra gli scambi termici globali valutati in ciascuna zona termica.

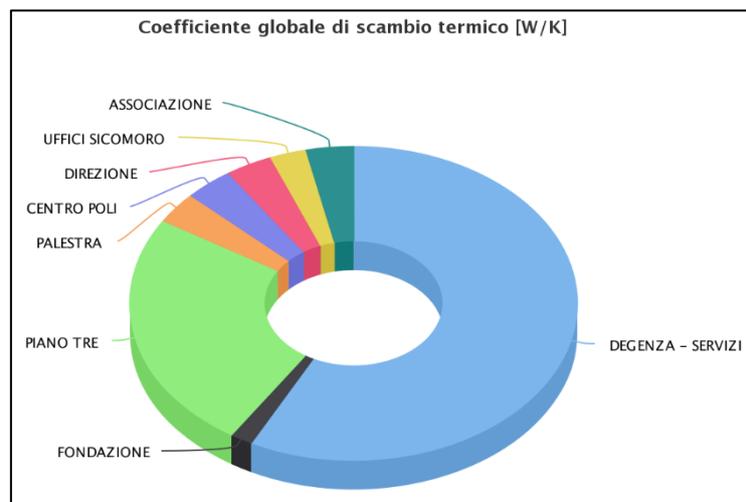


Figura 26 – Suddivisione dello scambio termico per zona termica

Nel grafico in Figura 27 viene invece evidenziato il peso dell'orientamento sullo scambio termico globale.

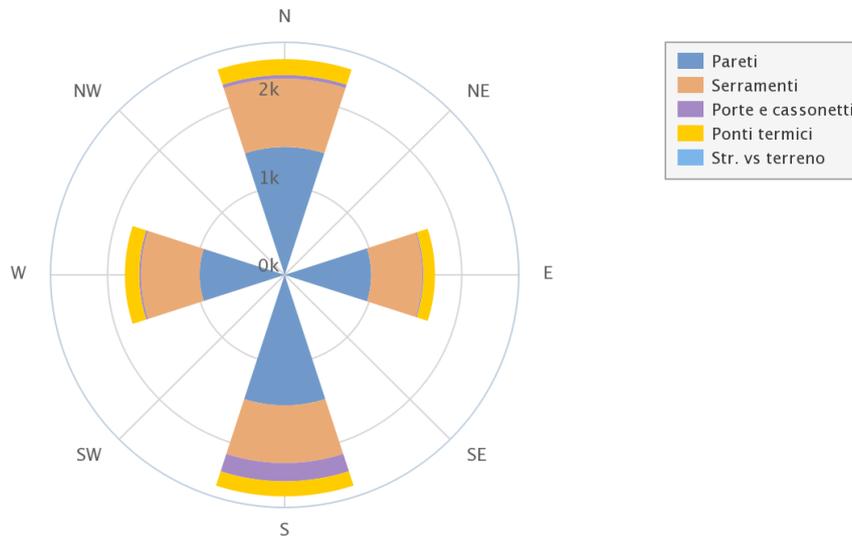


Figura 27 – Coefficienti di scambio termico per orientamento [W/K]

Di fondamentale importanza per il calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio sono i valori dei coefficienti di scambio termico per ventilazione e trasmissione.

Scambio termico per trasmissione

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione è dato dalla somma dei seguenti coefficienti:

$$H_{tr} = H_D + H_G + H_U + H_A \quad (7)$$

Dove:

- H_D è il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno [W/K];
- H_G è il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno [W/K];
- H_U è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati [W/K];
- H_A è il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone (interne o meno all'edificio) climatizzate a temperatura diversa [W/K].

Scambio termico per ventilazione

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione dipende dai valori dei ricambi d'aria e dall'occupazione degli ambienti in relazione alla loro destinazione d'uso. In particolare si calcola come:

$$H_v = \rho_a c_a \cdot \left(\sum_k b_{ve,k} q_{ve,k,mn} \right) \quad (8)$$

Dove:

- $\rho_a c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1200 [J/m³K];
- $q_{ve,k,mn}$ è la portata mediata sul tempo del flusso d'aria k-esimo [m³/h];
- $b_{ve,k}$ è il fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k-esimo.

In Tabella 9 sono riportati i valori dei coefficienti di scambio termico per le zone termiche della casa di riposo "Brancaccio".

Zona riscaldata	Hv	Htr
DEGENZA- SERVIZI	4979,13	7479,62
FONDAZIONE	68,29	210,94
PIANO TRE	1284,01	3202,71
PALESTRA	132,06	419,44
CENTRO POLIF.	219,08	457,38
DIREZIONE	168,09	439,31
UFFICI SICOMORO	181,52	341,90
ASSOCIAZIONE	126,96	441,60
Totale	7159,14	12992,9

Legenda

Hv	coefficiente di scambio termico per ventilazione [W/K]
Htr	coefficiente di scambio termico per trasmissione [W/K]

Tabella 9 – Dispersioni per ventilazione e trasmissione

3.4. Impianti termici

Per modellare opportunamente gli impianti in Termolog è necessario conoscere lo schema generale di funzionamento dell'impianto e in particolare:

- i sistemi di emissione e terminali;
- i sistemi impiantistici di distribuzione;
- le centrali termiche e i generatori;
- i serbatoti di accumulo.

Le tipologie di sistema impiantistico e di terminale

Per ogni servizio occorre individuare la tipologia di sistema impiantistico, ovvero la rete di distribuzione dell'energia, dalla produzione all'erogazione.

Di seguito le tipologie di distribuzione dell'energia in relazione ai servizi di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria.

PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO

- Il circuito **idronico** distribuisce l'acqua in tubazioni;
- Il circuito **aeraulico** distribuisce l'aria in canalizzazioni;
- Il circuito **diretto** non prevede canalizzazione aria o acqua.

PER ACQUA CALDA SANITARIA

- Il circuito **idronico aperto** eroga acqua calda sanitaria in tubazioni.

PER VENTILAZIONE

- Il circuito **aeraulico** distribuisce l'aria in canalizzazioni.

Per ogni tipologia di sistema di distribuzione corrispondono diverse tipologie di terminali, cioè di dispositivi che emettono energia termica all'interno delle zone climatizzate.

I terminali a loro volta sono collegati al dispositivo di produzione (generatore) tramite la rete di distribuzione (eventualmente "virtuale" in caso di sistema diretto).

Centrali termiche e accumuli

La centrale termica può essere costituita da uno o più generatori che possono funzionare in cascata o in parallelo.

Ogni centrale termica serve un solo sistema impiantistico per servizio e viceversa ogni sistema impiantistico è servita da una e una sola centrale termica.

Serbatoi di accumulo

I serbatoi di accumulo hanno la funzione di immagazzinare energia termica o frigorifera prodotta da un generatore o da un pannello solare e di modularne quindi l'erogazione all'utenza a seconda della richiesta nel tempo.

Nel modello di calcolo di Termolog gli accumuli possono essere suddivisi in tre tipologie:

1. serbatoi di sistema impiantistico;
2. serbatoi di centrale termica;
3. serbatoi di generatore.

Un accumulo di sistema impiantistico rappresenta un serbatoio di compenso che può essere collegato ad uno solo tra i sistemi impiantistici presenti.

Un accumulo di centrale è un serbatoio per cui la fornitura di acqua calda o fredda è affidata a tutti i generatori che fanno parte della centrale termica o frigorifera di riferimento.

Un accumulo di generatore è adatto per modellare un serbatoio associato a uno solo tra i generatori presenti all'interno di una centrale termica. Il servizio dell'accumulo dipende quindi dal generatore a cui è associato.

I serbatoi di accumulo possono poi essere adibiti ad un singolo servizio tra riscaldamento, raffrescamento e ACS, oppure al servizio combinato di riscaldamento e ACS (ad eccezione dei serbatoi di sistema impiantistico).

A seguire la descrizione degli impianti termici presenti nella casa di risposo "Brancaccio".
Maggiori informazioni sui componenti costituenti gli impianti sono riportate nell'apposita sezione "ALLEGATI A".

3.4.1. Impianto ibrido

Nella zona termica “DEGENZA-SERVIZI” è ubicata, al piano terra, la centrale termica principale dell’edificio.

L’impianto di riscaldamento installato è un sistema ibrido con n.6 caldaie a condensazione DAIKIN montate a cascata, con potenza termica cadauna pari a 27 kW, e da n. 6 pompe di calore DAIKIN HPU HYBRID con potenza termica pari a 8 kW ciascuna.

Sono installate altresì n. 4 accumuli Rotex Sanicube SCS 538/0/0, da 500 L cadauno e, per migliorare l’efficienza della centrale, è montato un kit di impianto solare termico, costituito da n.5 pannelli solari termici a svuotamento, in modo da contribuire al riscaldamento dell’acqua calda sanitaria. È possibile quindi il funzionamento contemporaneo della pompa di calore in riscaldamento e della caldaia in produzione istantanea di ACS. Per tali motivi il sistema ibrido è composto da:

- unità interna ibrida per la produzione di acqua calda sanitaria istantanea e acqua per il riscaldamento;
- unità esterna per il solo riscaldamento.

In funzione riscaldamento la temperatura dell’acqua di mandata, prodotta dallo scambiatore della pompa di calore, arriva fino a 55°C, mentre lato caldaia arriva fino a 80°C. La pompa di calore ibrida richiede inoltre uno spazio di installazione minimo e si integra perfettamente con i radiatori esistenti (terminali di emissione).

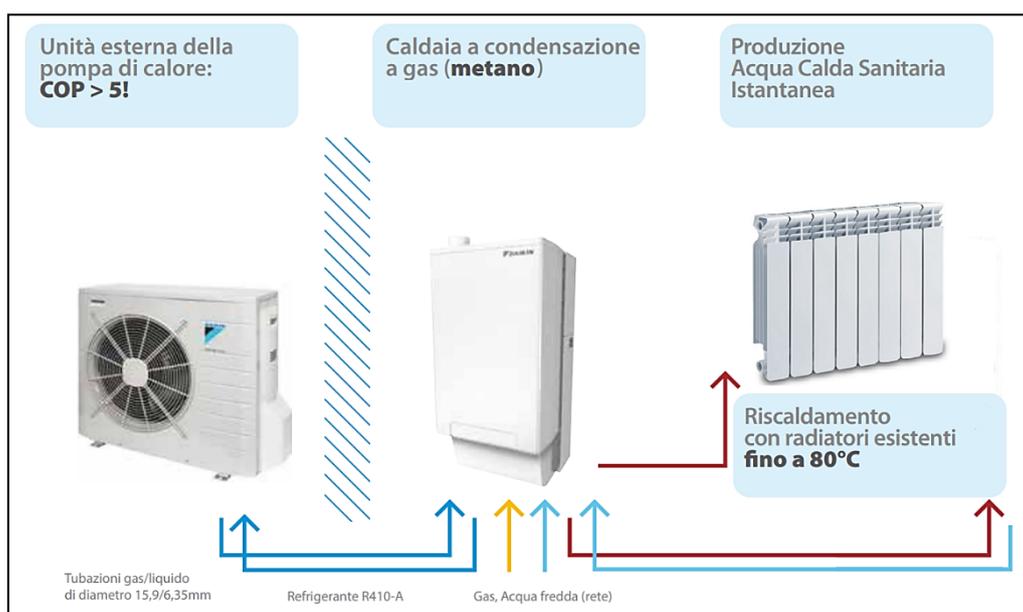


Figura 28 – Funzionamento HPU Hybrid



Figura 29 – Unità esterne PdC



Figura 30 – Serbatoi di accumulo



Figura 31 – Particolare delle n.6 caldaie a condensazione



Figura 32 – Dettaglio collettori solari termici

Principio di funzionamento della centrale per la climatizzazione invernale

HPU Hybrid attiva la pompa di calore o la caldaia o entrambe le tecnologie a seconda del valore di temperatura esterna con l'obiettivo di ottimizzare i consumi energetici.

In dettaglio:

- quando le temperature esterne sono elevate funziona solo la pompa di calore, che in questa condizione è molto efficiente;
- quando fuori le temperature sono prossime allo 0 °C si ha un funzionamento ibrido. La pompa di calore rende molto meno, per cui il sistema usa il fluido preriscaldato dalla pompa di calore per darlo in ingresso alla caldaia a condensazione, che porta l'acqua alla temperatura desiderata;
- quando fuori le temperature sono molto rigide funziona solo la caldaia a condensazione. In queste condizioni la pompa di calore è inefficiente e la caldaia lavora a pieno regime per garantire la temperatura ideale dell'acqua.

È l'impianto stesso a regolare le temperature di soglia in cui attivare l'uno o l'altro dispositivo, in base alla temperatura ambientale esterna e alla temperatura di mandata degli impianti presenti.

Il funzionamento contemporaneamente della Pdc e caldaia è la modalità che caratterizza il vero funzionamento ibrido del sistema in quanto l'acqua viene preriscaldata dalla pompa di calore e immessa in caldaia per effettuare solamente il restante salto termico.

Principio di funzionamento della centrale per la produzione di ACS

L'acqua presente negli accumuli Sanicube Rotex è riscaldata in primis dal kit solaris (Tabella 13). Quando l'energia solare non è sufficiente a soddisfare il fabbisogno richiesto dalla struttura intervengono le caldaie ibride dedicate al riscaldamento dell'acqua calda sanitaria. La produzione di ACS, a carico della caldaia, ha una temperatura variabile tra i 45°C e i 65°C.

Il sanicube Rotex è una combinazione di accumulatore termico e scaldacqua continuo. È importante sottolineare che l'acqua d'accumulo senza pressione funge unicamente da elemento di "accumulo di calore" e non è acqua che va in ricircolo nelle tubazioni. L'acqua presente all'interno del Sanicube viene perciò definita "acqua tecnica" in quanto funge da scambiatore di calore per l'acqua calda sanitaria.

Regolazione impianto ibrido

La centralina di regolazione gestisce il funzionamento della pompa di calore e della caldaia a condensazione in modo da minimizzare le spese di energia primaria (gas metano e energia elettrica).

Il sistema di regolazione è in grado di realizzare le seguenti funzioni:

- set point di temperatura di mandata dipendente dal clima e dalle condizioni dell'ambiente interno;
- doppi set point attivabili tramite contatti remoti;
- gestione di più zone termiche indipendenti;
- programmi preimpostati per il riscaldamento;
- programmi di funzionamento per la pompa di ricircolo dell'acqua calda sanitaria;
- controllo automatico della produzione di ACS istantanea o tramite termoaccumulo;
- monitoraggio dei consumi e dell'energia termica prodotta.

Inserimento dati in Termolog

Nelle tabelle seguenti sono riportati i dati in input richiesti da Termolog e relativi agli impianti sopra descritti.

CLIMATIZZAZIONE INVERNALE	
Tipologia di sistema impiantistico	IDRONICO
Zona termica di riferimento	“DEGENZA-SERVIZI”
Terminali di emissione	RADIATORI SU PARETE INTERNA
Potenza termica di progetto emessa	280764 [W]
Temperatura di mandata al terminale (lato caldaia)	80°C
Tipo di regolazione	ZONA + CLIAMTICA
Rendimento di regolazione η_{rg}	0,995

Tabella 10



Figura 33 – Scelta del sistema impiantistico (Termolog)

CENTRALE TERMICA	
Nome sistema di generazione	IMPIANTO IBRIDO
Servizio	RISCALDAMENTO + ACS
Funzionamento dei generatori	CON PRIORITA': IN CASCATA

Tabella 11

GENERATORI		
Tipo di generatore	POMPA DI CALORE	CALDAIA A COND.
Marca-modello	DAIKIN HPU EVLQ08CV3	DAIKIN EHYKOMB33AA
Numero di generatori	6	6
Combustibile	Energia elettrica	Metano
Potenza nominale	8 [kW]	27 [kW]
Luogo di installazione	ESTERNO	INTERNO (C.T.)
COP	4,45 ⁽¹⁾ / 3,45 ⁽²⁾	-

Tabella 12

(1) Stato: T_a BS/BU 7°C/6°C - LWC 35°C (DT = 5°C)

(2) Stato: T_a BS/BU 7°C/6°C - LWC 45°C (DT=5°C)

IMPIANTO SOLARE TERMICO	
Marca – modello	ROTEX SOLARIS V26P
Tipologia dei collettori solari	PIANI
Numero di collettori installati	5
Sup. solare lorda del singolo collettore	2,6 [m ²]
Angolo di Azimut α ⁽³⁾	20°
Inclinazione β ⁽⁴⁾	30°
Resa termica del singolo collettore	1105 [kWh/m ²]

Tabella 13

L'analisi dei serbatoi di accumulo nella valutazione del bilancio energetico di un impianto per riscaldamento è trattata nel capitolo 7 delle UNI TS 11300 parte 2.

Il calcolo delle perdite di energia $Q_{l,s}$ associate all'accumulo viene effettuato da TERMOLOG in funzione della geometria, dello spessore e della conduttività dello strato isolante del serbatoio, nonché della differenza tra la temperatura dell'acqua contenuta nel serbatoio e la temperatura dell'ambiente in cui è ubicato. Sono in particolare richiesti i seguenti dati:

ACCUMULO	
Marca-Modello	ROTEX SANICUBE SCS 538/0/0
Servizio	ACS
Ubicazione accumulo	CENTRALE TERMICA
Volume del serbatoio	500 [L]
Temperatura media acqua serbatoio	65 °C
Coefficiente dispersione termica	4,91 [W/K]

Tabella 14 – Serbatoio di accumulo, “Branaccio”

(3) L'angolo di Azimut (α) rappresenta lo scostamento rispetto alla direzione ottimale verso sud.

(4) L'angolo di tilt (β) rappresenta l'inclinazione della superficie rispetto al piano orizzontale.

RISCALDAMENTO+ACS	
IMPIANTO IBRIDO	SIH1+SIW1 (Idronico)
Solare Termico	SIW1 - ACS
sanicube solaris	SIW1 - ACS
● DAIKIN HPU HYBRID 8 kW -...	Pompa di calore
● DAIKIN HPU HYBRID 8 kW -...	Pompa di calore
● DAIKIN HPU HYBRID 8 kW -...	Pompa di calore
● DAIKIN HPU HYBRID 8 kW -...	Pompa di calore
● DAIKIN HPU HYBRID 8 kW -...	Pompa di calore
● DAIKIN HPU HYBRID 8 kW -...	Pompa di calore
● 1 - Caldaia a condensazion...	Generatore a gas
● 2 - Caldaia a condensazion...	Generatore a gas
● 3 - Caldaia a condensazion...	Generatore a gas
● 4 - Caldaia a condensazion...	Generatore a gas
● 5 - Caldaia a condensazion...	Generatore a gas
● 6 - Caldaia a condensazion...	Generatore a gas

Figura 34 – Schermata riassuntiva dell'impianto (Termolog)

3.4.2. Impianti VRV ad espansione diretta

Gli impianti VRV (Variant Refrigerant Volume) si riferiscono a sistemi di climatizzazione a portata variabile del fluido refrigerante, in cui l'energia termica è trasportata da un generatore (chiller) alle unità terminali presenti nei vari locali.

Tali impianti riescono a modulare in maniera continua i rapporti di compressione di gas refrigerante in maniera tale da garantire il funzionamento delle unità terminali sia per il raffrescamento che per il riscaldamento degli ambienti. In questo caso i sistemi VRV riescono a recuperare parte dell'energia termica sottratta agli ambienti da raffrescare per trasferirla agli ambienti da riscaldare.

Gli impianti di condizionamento installati nelle zone termiche “FONDAZIONE”, “ASSOCIAZIONE”, “PALESTRA”, “DIREZIONE-AREA RELAX”, “CENTRO POLIFUZIONALE” e “UFFICI SICOMORO” sono impianti ad espansione diretta (Figura 35).

In particolare si tratta di sistemi VRV-INVERTER a flusso di refrigerante (R410A) variabile, del tipo multisplit, costituiti da un'unità esterna con ventilatore e compressore collegate tramite linee frigorifere ad ogni unità interna.

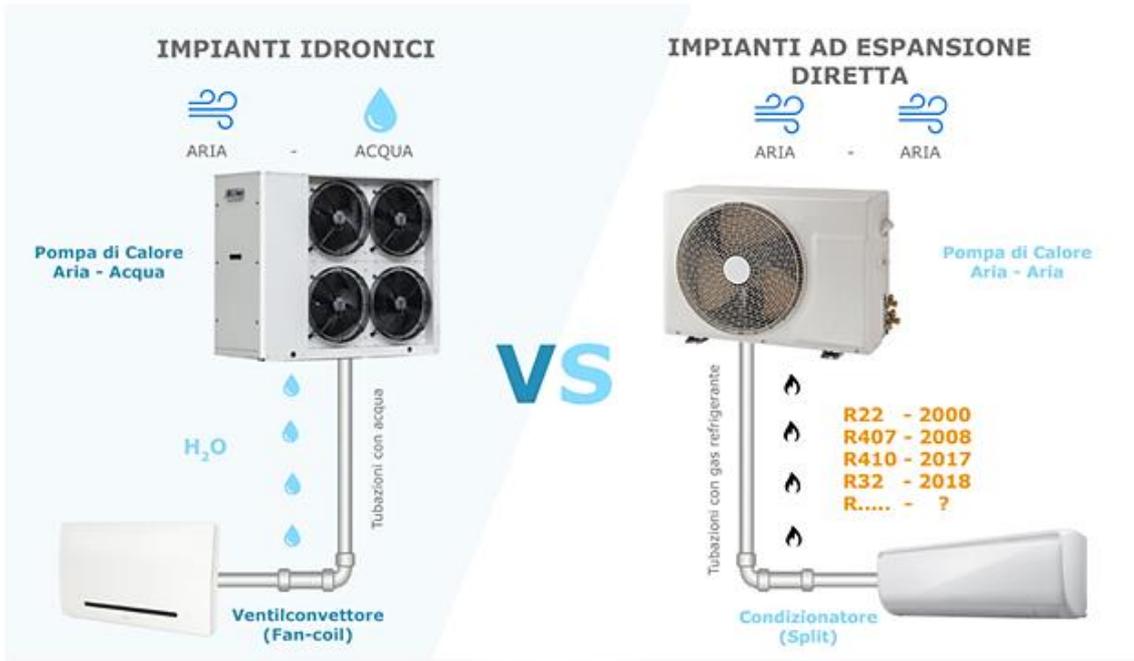


Figura 35 – Impianti ad espansione diretta VS impianti idronici

Si riportano nelle tabelle seguenti le caratteristiche principali degli impianti installati per ognuna delle zone termiche sopra citate. Nel caso del “Braccaccio” le unità terminali dei sistemi VRV funzionano per il condizionamento estivo, invernale e per la ventilazione meccanica dei locali.

VRV FONDAZIONE		
Marca- modello	Macchina	N°
DAIKIN - RXYSQ4T8Y	Unità esterna a gas R410A: MINI VRV IV 4 CV 3PH Potenza nominale in raffreddamento 15,5 kW	1
DAIKIN - FXAQ15P	Unità interna per installazione a parete Resa frigorifera nominale 1,7 kW Resa termica nominale 1,9 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	2
DAIKIN - FXZQ15A	Unità interna a cassetta a quattro vie tipo fully flat Resa frigorifera nominale 1,7 kW Resa termica nominale 1,9 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	1
DAIKIN - FXZQ20A	Unità interna a cassetta a quattro vie tipo fully flat Resa frigorifera nominale 2,2 kW Resa termica nominale 2,5 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	1
DAIKIN - VAM500FC	Unità di ventilazione a recupero di calore Funzione di free cooling, scambiatore di calore a recupero totale privo di scarico condensa Portata d'aria nominale 500 m ³ /h	1

Tabella 15

VRV ASSOCIAZIONE		
Marca- modello	Macchina	N°
DAIKIN - RXYSQ5T8Y	Unità esterna a gas R410A: MINI VRV IV 5 CV 3PH Potenza nominale in raffrescamento 15,5 kW	1
DAIKIN - FXAQ15P	Unità interna per installazione a parete Resa frigorifera nominale 1,7 kW Resa termica nominale 1,9 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	7
DAIKIN - VAM1000FC	Unità di ventilazione a recupero di calore Funzione di free cooling, scambiatore di calore a recupero totale privo di scarico condensa Portata d'aria nominale 1000 m ³ /h	1

Tabella 16

VRV PALESTRA		
Marca- modello	Macchina	N°
DAIKIN - RXYSQ4T8Y	Unità esterna a gas R410A: MINI VRV IV 4 CV 3PH Potenza nominale in raffrescamento 15,5 kW	1
DAIKIN - FXAQ15P	Unità interna per installazione a parete Resa frigorifera nominale 1,7 kW Resa termica nominale 1,9 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	1
DAIKIN - FXZQ20P	Unità interna per installazione a parete Resa frigorifera nominale 2,2 kW Resa termica nominale 2,5 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	1
DAIKIN - FXSQ63A	Unità interna canalizzabile da controsoffitto Ventilatori con motori DC inverter a basso consumo energetico e regolazione automatica.	1
DAIKIN - VAM1000FC	Unità di ventilazione a recupero di calore Funzione di free cooling, scambiatore di calore a recupero totale privo di scarico condensa Portata d'aria nominale 1000 m ³ /h	1

Tabella 17

VRV DIREZIONE		
Marca- modello	Macchina	N°
DAIKIN - RXYSQ5TY1	Unità esterna compatta a gas R410A. Potenza nominale in raffrescamento 14,00 kW	1
DAIKIN - FXZQ20P	Unità interna per installazione a parete Resa frigorifera nominale 2,2 kW Resa termica nominale 2,5 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	1
DAIKIN - FXAQ15P	Unità interna per installazione a parete. Resa frigorifera nominale 1,7 kW Resa termica nominale 1,9 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	4
DAIKIN - VKM50GBM	Unità di ventilazione a recupero di calore con post trattamento dell'aria e umidificazione. Funzione di free cooling, scambiatore di calore a recupero totale privo di scarico condensa Portata d'aria nominale 500 m ³ /h	2

Tabella 18

VRV UFFICI SICOMORO		
Marca- modello	Macchina	N°
DAIKIN - RXYSQ6T8Y	Unità esterna a gas R410A: MINI VRV IV 6 CV 3PH Potenza nominale in raffrescamento 15,5 kW	1
DAIKIN - FXAQ20P	Unità interna per installazione a parete Resa frigorifera nominale 2,2 kW Resa termica nominale 2,5 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	6
DAIKIN - FXAQ25P	Unità interna per installazione a parete Resa frigorifera nominale 2,8 kW Resa termica nominale 3,2 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	1
DAIKIN - FXAQ32P	Unità interna per installazione a parete Resa frigorifera nominale 3,6 kW Resa termica nominale 4,0 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	1
DAIKIN - VAM1000FC	Unità di ventilazione a recupero di calore Funzione di free cooling, scambiatore di calore a recupero totale privo di scarico condensa Portata d'aria nominale 1000 m ³ /h	1

Tabella 19

VRV CENTRO POLIFUNZIONALE		
Marca- modello	Macchina	N°
DAIKIN - RXYSQ10TY1	Unità esterna compatta a gas R410A Potenza nominale in raffrescamento 28,00 kW	1
DAIKIN - FXZQ25A	Unità interna a cassetta a quattro vie tipo fully flat. Resa frigorifera nominale 2,8 kW Resa termica nominale 3,2 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	1
DAIKIN - FXZQ32A	Unità interna a cassetta a quattro vie tipo fully flat. Resa frigorifera nominale 3,6 kW Resa termica nominale 4,0 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	5
DAIKIN - FXAQ50A	Unità interna a cassetta a quattro vie tipo fully flat. Resa frigorifera nominale 5,6 kW Resa termica nominale 6,3 kW Alimentazione 220-240 V, monofase, 50 Hz	2
DAIKIN - VAM650FC	Unità di ventilazione a recupero di calore Funzione di free cooling, scambiatore di calore a recupero totale privo di scarico condensa. Portata d'aria nominale 650 m ³ /h	1

Tabella 20

Impianto di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore

Per il rinnovo dell'aria sono previste n.7 unità di recupero di calore aventi rispettivamente una portata di aria nominale pari a:

- 500 m³/h per la zona “Fondazione”;
- 1000 m³/h per la zona “Associazione”;
- 1000 m³/h per la zona “Palestra”;
- 1000 m³/h per la zona “Direzione” (n.2 unità);
- 1000 m³/h per la zona “Uffici Sicomoro”;
- 650 m³/h per la zona “Centro polifunzionale”;

GRIGLIE DI RIPRESA

L'aria di espulsione viene aspirata sia dai servizi igienici che dai corridoi, per mezzo di griglie di ripresa in alluminio anodizzato, e attraversa il recuperatore di calore prima di essere allontanata all'esterno per mezzo di griglie in acciaio zincato.

GRIGLIE DI RINNOVO

L'aria di rinnovo presa dall'esterno per mezzo di griglie in acciaio zincato attraversa il recuperatore di calore a flussi incrociati e, nel periodo invernale, viene riscaldata e immessa in ambiente tramite bocchette in alluminio. Il controllo della temperatura dell'aria immessa è garantito dalle unità interne gestite da un termostato ambiente.

Inserimento dati in Termolog

A titolo di esempio si riportano i dati di input richiesti dal software per la zona “Direzione-area relax”. In maniera analoga si è proceduto per tutte le altre zone termiche servite dagli impianti VRV.

CLIMATIZZAZIONE INVERNALE	
Tipologia di sistema impiantistico	DIRETTO
Zona termica di riferimento	“DIREZIONE”
Terminali di emissione	PANNELLI A PARETE
Tipo di regolazione	ZONA + CLIMATICA
Rendimento di regolazione η_{rg}	0,995

Tabella 21

CLIMATIZZAZIONE ESTIVA

Tipologia di sistema impiantistico	DIRETTO
Zona termica di riferimento	“DIREZIONE”
Terminali di emissione	TERMINALI A ESPANSIONE DIRETTA
Temperatura di mandata al terminale	7°C
Rendimento di emissione η_e	0,98
Tipo di regolazione	MODULANTE
Rendimento di regolazione η_{rg}	0,90

Tabella 22

VENTILAZIONE MECCANICA

Tipologia di funzionamento	VENTILAZIONE IBRIDA
Zona termica di riferimento	“DIREZIONE”
Funzionamento dei ventilatori	DOPPIO FLUSSO CON RECUPERO DI CALORE
Portata d’aria nominale	1000 [m ³ /h]
Potenza elettrica ventilatori	420 [W]

Tabella 23


 Idronico


 Aeraulico


 Diretto

▲ **SIH2 - riscaldamento diretto 1**  Diretto

▲  **VRV DIREZIONE**

- Emissione
- Regolazione

 **SI**

Pannelli a parete

Zona + climatica

▲ **SIC1 - raffrescamento diretto 1**  Diretto

▲  **VRV DIREZIONE**

- Emissione
- Regolazione

 **SI**

Terminali ad espansione diretta, unit...

Regolazione modulante

Figura 36 – Scelta del sistema impiantistico (Termolog)

CENTRALE TERMICA	
Nome sistema di generazione	IMPIANTO VRV
Servizio	RISCALDAMENTO + RAFFRESCAMENTO
Combustibile	ENERGIA ELETTRICA

Tabella 24

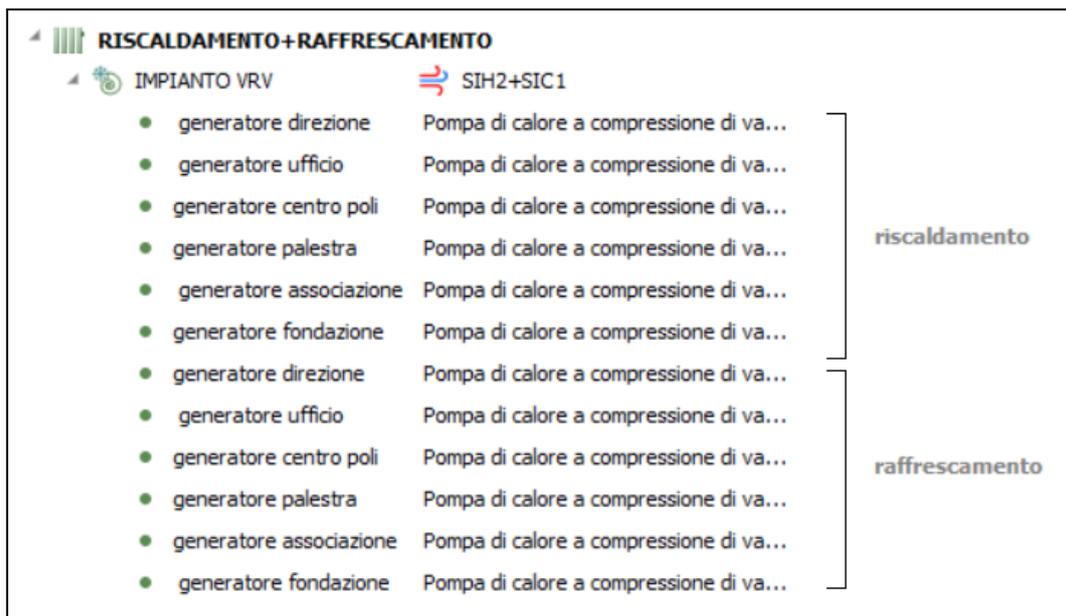


Figura 37 – Schermata riassuntiva degli impianti VRV (Termolog)

3.4.3. Centrale termica “Piano tre”

Il terzo piano del “Brancaccio” è servito da una centrale termica indipendente, ubicata sul terrazzo dell’edificio (Figura 38).

L’impianto di riscaldamento si compone di n.2 caldaie “Ferrolì” con potenza termica di 70 kW cadauna mentre l’impianto di raffrescamento prevede una macchina frigorifera a compressione di vapore con potenza pari a 90 kW.



Figura 38 – Centrale termica

I dati relativi agli impianti termici sono stati inseriti in Termolog come riportato nelle tabelle seguenti.

CLIMATIZZAZIONE INVERNALE	
Tipologia di sistema impiantistico	IDRONICO
Zona termica di riferimento	“PIANO TRE”
Terminali di emissione	PANNELLI ANNEGATI A SOFFITTO
Tipo di regolazione	ZONA + CLIAMTICA
Potenza termica di progetto emessa	101091 [W]
Rendimento di regolazione η_{rg}	0,96

Tabella 25

CLIMATIZZAZIONE ESTIVA	
Tipologia di sistema impiantistico	IDRONICO
Zona termica di riferimento	“PIANO TRE”
Terminali di emissione	VENTILCONVETTORI IDRONICI
Temperatura di mandata al terminale	7°C
Rendimento di emissione η_e	0,98
Tipo di regolazione	ON-OFF
Rendimento di regolazione η_{rg}	0,84

Tabella 26



Figura 39 – Scelta del sistema impiantistico (Termolog)

GENERATORI		
Servizio	RISCALDAMENTO	RAFFRESCAMENTO
Tipo di generatore	CALDAIA A GAS	CHILLER
Marca-modello	FERROLI	-
Combustibile	Metano	Energia elettrica
Potenza nominale	70 [kW] (cad.)	90 [kW]
Luogo di installazione	ESTERNO	ESTERNO
EER	-	2,5

Tabella 27



Figura 40 – Schermata riassuntiva degli impianti (Termolog)

3.4.4. Impianto di raffrescamento

In assenza di informazioni precise circa l'impianto di raffrescamento della zona "Degenza-Servizi" si è scelto di modellare la seguente soluzione impiantistica.

CLIMATIZZAZIONE ESTIVA	
Tipologia di sistema impiantistico	IDRONICO
Zona termica di riferimento	"DEGENZA-SERVIZI"
Terminali di emissione	VENTILCONVETTORI IDRONICI
Temperatura di mandata al terminale	7°C
Rendimento di emissione η_e	0,98

Tabella 28

GENERATORE	
Servizio	RAFFRESCAMENTO
Tipo di generatore	CHILLER
Numero di generatori identici	2
Marca-modello	DAIKIN-EWAQ080GXS
Combustibile	Energia elettrica
Potenza per unità	80 [kW]
Luogo di installazione	ESTERNO
EER	3,10

Tabella 29

3.4.5. Impianto fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico da 54 kW installato sul tetto del "Brancaccio" rende i sistemi di climatizzazione in uso ancora più efficienti. L'energia elettrica prodotta da fonte solare viene quindi utilizzata per alimentare i generatori (pompe di calore) dell'impianto termico abbattendo notevolmente i costi in bolletta.

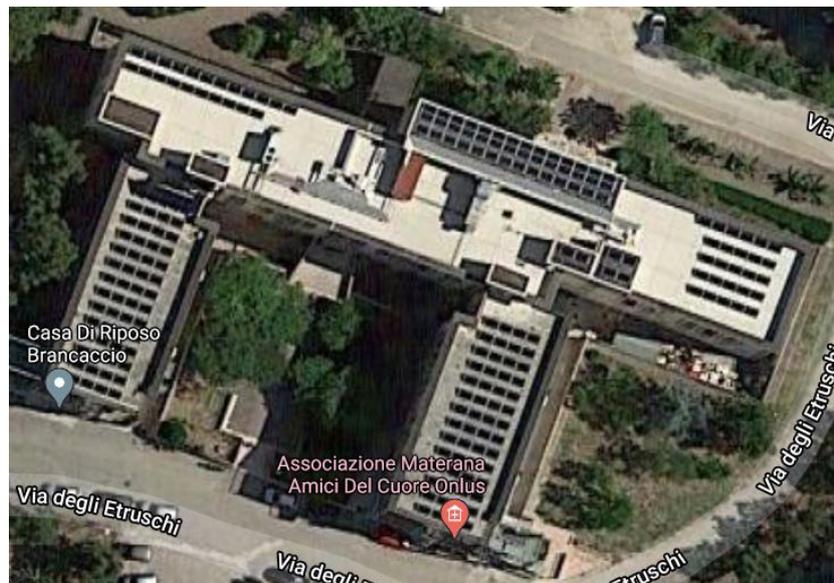


Figura 41 – Impianto FV (Google maps)

In Tabella 30 si riportano i dati dell'impianto FV richiesti per la modellazione dell'impianto in Termolog.

IMPIANTO FOTOVOLTAICO	
Tipologia di modulo fotovoltaico	SILICIO POLICRISTALLINO
Numero di moduli installati	203
Sup. solare lorda del singolo modulo	1,75 [m ²]
Potenza modulo	265 [W]
Angolo di Azimut α	20°
Inclinazione β	30°

Tabella 30



Figura 42 – Creazione dell’impianto fotovoltaico (Termolog)



Figura 43/44 – Particolare dell’impianto fotovoltaico

3.5. Illuminazione e trasporto

Così come gli impianti termici, anche l'impianto elettrico è stato oggetto, nel 2018, di un intervento di riqualificazione che ha portato alla sostituzione degli apparecchi illuminanti esistenti.

Nei primi quattro piani dell'edificio sono installati apparecchi di illuminazione a soffitto a tecnologia LED (Figura 45).

Nelle stanze di degenza dell'ultimo livello sono invece presenti apparecchi di illuminazione installati a parete ed equipaggiati con sorgenti fluorescenti (Figura 46).

Le schede tecniche relative agli apparecchi di illuminazione in uso al "Brancaccio" sono consultabili nella sezione "ALLEGATI B".

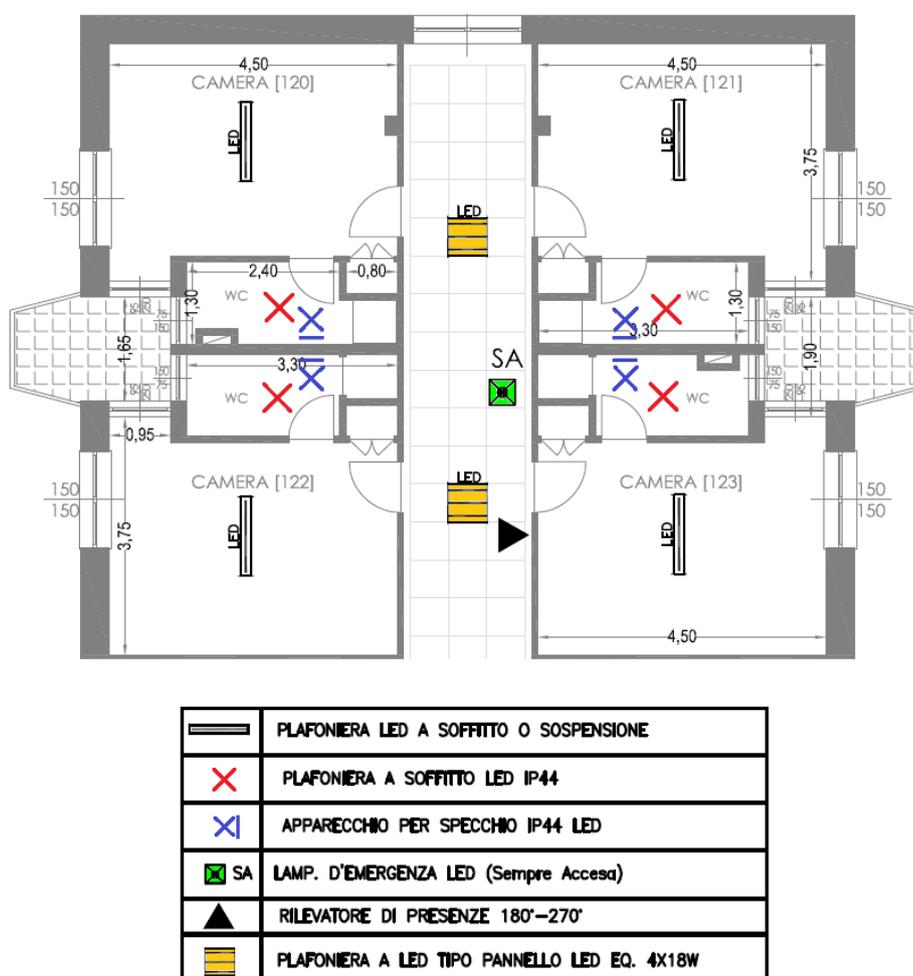


Figura 45 – Apparecchi (sorgenti LED) installati a soffitto (piano 1-2)

Le logiche di controllo sono tutte manuali ON/OFF ad eccezione dei corridoi (ambienti in assenza di luce naturale) nei quali la logica di controllo, basata sull'occupazione, è di tipo manual ON/auto OFF. In quest'ultimo caso è previsto lo spegnimento automatico dei dispositivi di illuminazione entro e non oltre 15 minuti dal rilevamento dell'ultima presenza (sensori infrarossi) nell' area illuminata.



Figura 46 – Apparecchi (sorgenti fluorescenti) installati a parete

La normativa UNI EN 12464-1 specifica i requisiti illuminotecnici per i posti di lavoro in interni, che corrispondono alle esigenze di comfort visivo e di prestazione visiva. Per le case di riposo si riportano di seguito i valori limite di illuminamento medio per i diversi ambienti.

	EN 12464
Ingresso/reception	- 300 lux
Corridoi	- 200 lux di giorno - 50 lux di notte
Sale di soggiorno, aree comuni	- 200 lux
Camere e bagni	- 100 lux nelle camere - 200 lux nei bagni
Reparti di lavoro	- 500 lux negli uffici

Tabella 31 – Valori limite di illuminamento medio

Dai valori di densità di potenza (Tabella 32) si può intuire come l'impianto sia stato dimensionato secondo i valori minimi previsti dalla normativa sopra citata.

Zona	Potenza installata [W]	Densità di potenza [W/m²]
Degenza-Servizi	12344,1	2,7
Fondazione	542,2	5,9
Associazione	1029,3	6
Palestra	708,9	4
Direzione-area relax	1051,5	5,4
Centro polifunzionale	1063,7	4,2
Uffici Sicomoro	1242,2	5,9
Piano tre	6540,2	7,6

Tabella 32 – Densità di potenza installata per zona

Per un'ulteriore conferma di ciò, è stato calcolato il valore di illuminamento medio con il software Dialux evo 9.1. Si è considerata, a titolo d'esempio, una stanza di degenza situata al primo piano (sorgenti LED a soffitto). Il risultato del calcolo è mostrato nelle figure 47/48 e 49.



Nelle immagini a colori sfalsati le variazioni cromatiche sono associate ai valori di illuminamento. Il valore di illuminamento medio per le camere e per i bagni è rispettivamente di 130 e 200 lux, valori che, come detto, rispettano i valori minimi imposti dalla normativa.

I dati relativi all'impianto di illuminazione sono stati inseriti in Termolog e, per ognuna delle zone termiche, si è indicata:

- la potenza installata per l'illuminazione artificiale;
- la tipologia di sistema di controllo della luce artificiale;
- la tipologia di sistema di controllo della presenza;
- la tipologia di sorgente.

TRASPORTO

Si è infine modellato il servizio per lo spostamento di cose e persone ipotizzando la presenza di n. 2 ascensori a fune con potenza dei motori elettrici pari a 3 kW cadauno.

3.6. Risultati del calcolo standard

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati del calcolo, eseguito con Termolog, relativo ai fabbisogni di energia primaria del caso studio, con la corrispondente classe energetica dell'edificio. Sono inoltre presentati gli interventi migliorativi obbligatori da indicare nell'attestato di prestazione energetica.

3.6.1. Fabbisogni e classe energetica

Come già detto, la classe energetica di un edificio è definita a partire dal valore dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento: $EP_{gl,nren,rif,standard}$. L'edificio di riferimento è un edificio identico in termini di geometria, orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, e avente caratteristiche termiche e parametri energetici rispondenti ai requisiti minimi di legge. Per la redazione dell'APE l'edificio di riferimento si considera dotato della stessa tipologia di impianto dell'edificio reale ma con efficienze prefissate dalla normativa.

In Tabella 33/34 sono riportati i valori dei fabbisogni di energia termica e di energia primaria per ognuno dei servizi energetici presenti nella casa di riposo "Brancaccio".

FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA UTILE			
EPH,nd	Riscaldamento	77,21	kWh/(m ² anno)
EPC,nd	Raffrescamento	28,94	kWh/(m ² anno)
EPW,nd	Acqua calda sanitaria	31,11	kWh/(m ² anno)
EPV,nd	Ventilazione	2,64	kWh/(m ² anno)
EPL,nd	Illuminazione	21,79	kWh/(m ² anno)
EPT,nd	Trasporto	2,38	kWh/(m ² anno)

Tabella 33 – Fabbisogni di energia termica

FABBISOGNI DI ENERGIA PRIMARIA					
Rinnovabile		Non rinnovabile		Totale	
kWh/(m ² anno)		kWh/(m ² anno)		kWh/(m ² anno)	
EPH,ren	32,44	EPH,nren	70,66	EPH,tot	103,1
EPC,ren	7,2	EPC,nren	20,86	EPC,tot	28,06
EPW,ren	0,23	EPW,nren	38,09	EPW,tot	38,32
EPV,ren	1,51	EPV,nren	4,16	EPV,tot	5,66
EPL,ren	12,45	EPL,nren	34,38	EPL,tot	46,83
EPT,ren	1,36	EPT,nren	3,75	EPT,tot	5,11
EPgl,ren	55,19	EPgl,nren	171,89	EPgl,tot	211,08

Tabella 34 – Fabbisogni di energia primaria

Il valore dell'indice globale di energia primaria non rinnovabile, confrontato con lo stesso indice riferito all'edificio di riferimento, determina la classe energetica di appartenenza (Figura 50).

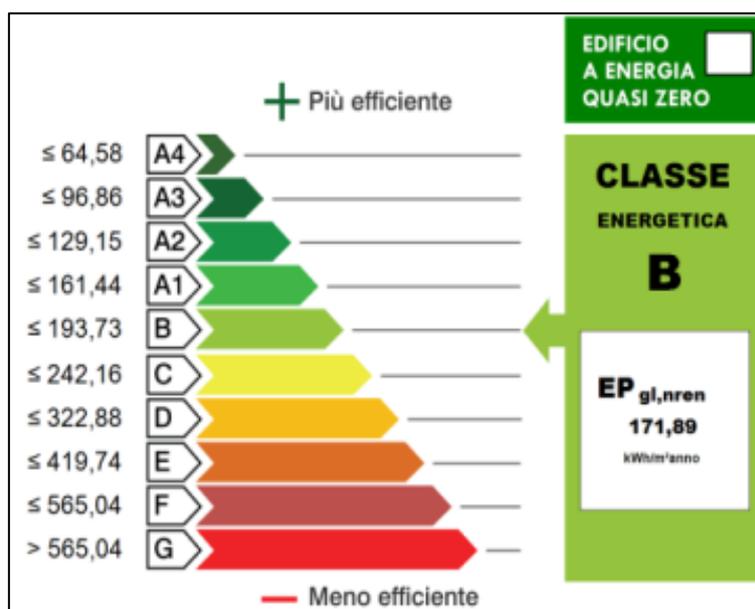


Figura 50 – Classe energetica, casa di riposo "Branaccio"

Per ogni zona termica Termolog calcola le durate della stagione di riscaldamento e di raffrescamento, in conformità con la normativa UNI/TS 11300 e i fabbisogni di energia in uscita dai singoli generatori.

3.6.2. Interventi migliorativi

Termolog propone in automatico gli interventi migliorativi obbligatori da indicare nell'APE stimando la soluzione più efficiente tra le diverse alternative; gli scenari di miglioramento energetico sono definiti secondo le sei raccomandazioni previste dal certificato energetico: isolamento degli elementi opachi, sostituzione dei serramenti, modifiche all'impianto di climatizzazione estiva o invernale, fonti rinnovabili e relamping dell'illuminazione.

Nel caso della residenza per anziani “Brancaccio” l'intervento migliorativo più vantaggioso è quello che riguarda l'isolamento delle strutture opache, in particolare del muro perimetrale e della copertura piana dell'edificio. Tale intervento permette un passaggio dalla classe energetica B alla classe energetica A1, come mostrato in Figura 51.

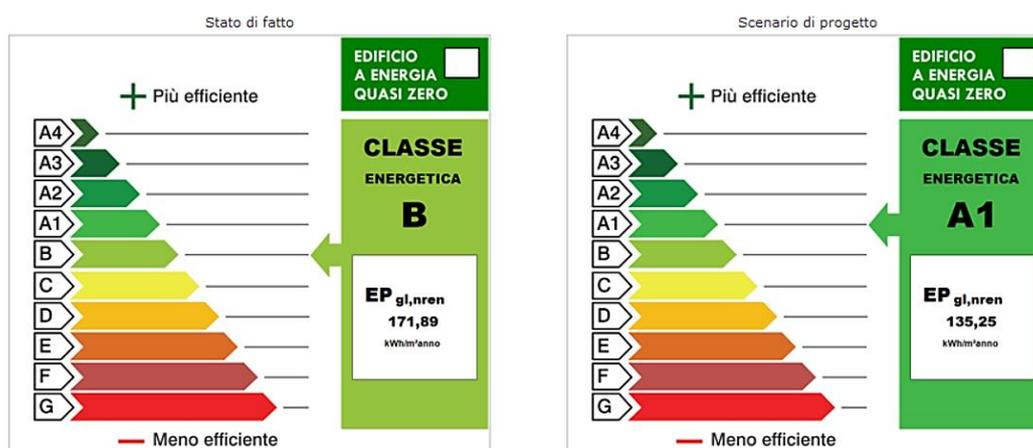


Figura 51 – Intervento sulle strutture opache

L'isolamento delle strutture opache limita le dispersioni termiche dell'edificio: diminuisce lo scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento e diminuiscono gli apporti solari sulle superfici opache. Di conseguenza il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento relativo allo scenario migliorativo diminuisce del 45% rispetto allo stato di fatto (mentre aumenta del 7% il fabbisogno di energia per il raffrescamento degli ambienti).

In Figura 52 sono graficati i fabbisogni di energia primaria per il riscaldamento e il raffrescamento, per lo stato di fatto e per lo scenario migliorativo. I fabbisogni relativi alla produzione di ACS, alla ventilazione, all'illuminazione e al trasporto restano invariati; il salto di classe energetica è dovuto principalmente alla diminuzione dell'indice

di prestazione (non rinnovabile) per il riscaldamento che passa dal valore di 70,7 kWh/(m² anno) al valore di 32,4 kWh/(m² anno).

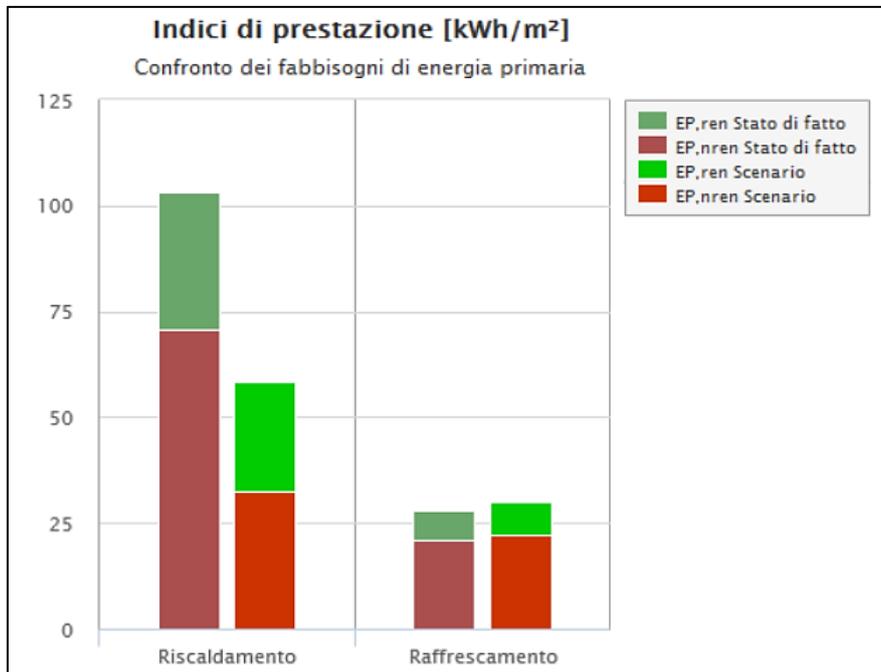


Figura 52 – Confronto dei fabbisogni di energia primaria

La diminuzione dei consumi di gas metano per il riscaldamento comporta un risparmio annuo stimato di circa 21500 euro, con un tempo di ritorno dell’investimento iniziale di circa 13 anni.



Figura 53 – Risparmio economico annuo e PBT (Pay-Back Time)

3.7. Calcolo adattato all'utenza

Quando si esegue una Diagnosi Energetica si effettua un calcolo adattato all'utenza e molti dati di input che nell'APE sono standardizzati vengono quindi modificati. Il modello standard viene personalizzato e tarato in modo da essere confrontabile con i consumi reali dedotti dalle bollette.

Il modulo "Diagnosi energetica" (metodo mensile) di Termolog consente di gestire le condizioni reali di utilizzo dell'edificio, modificando:

1. le temperature esterne medie mensili;
2. l'orario di funzionamento degli impianti;
3. i profili di temperatura interna degli ambienti;
4. il valore dei ricambi d'aria e dei fabbisogni di acqua calda sanitaria;
5. il valore degli apporti interni.

Nella presente sezione saranno valutati i primi quattro punti, mentre il calcolo degli apporti interni sarà oggetto di discussione del capitolo 4.

3.7.1. Analisi dei consumi reali

I dati relativi ai reali consumi del “Branaccio” sono stati raccolti e distinti per vettore energetico (energia elettrica, gas metano) e, al fine di eseguire un’analisi quanto più attendibile possibile, si sono analizzate le bollette, su base mensile, di tre anni successivi. Di seguito si riporta l’analisi dei consumi per il triennio 2017,2018,2019.

ENERGIA ELETTRICA

Consumo di energia elettrica [kWh]				
Dal	Al	2017	2018	2019
01/01	31/01	21113,00	26621,00	28510,00
01/02	28/02	20849,00	24806,00	23016,00
01/03	31/03	23298,00	22085,00	22862,00
01/04	30/04	20089,00	13622,00	19879,00
01/05	31/05	16328,00	12356,00	19164,00
01/06	30/06	15237,00	15032,00	19189,00
01/07	31/07	18208,00	20005,00	19977,00
01/08	31/08	19158,00	25762,00	21710,00
01/09	30/09	14568,00	18886,00	18880,00
01/10	31/10	12739,00	22288,00	17514,00*
01/11	30/11	18254,00	25910,00	22082,00*
01/12	31/12	27282,00	30197,00	28740,00*

** i consumi relativi ai mesi di ottobre, novembre e dicembre 2019 sono stimati.*

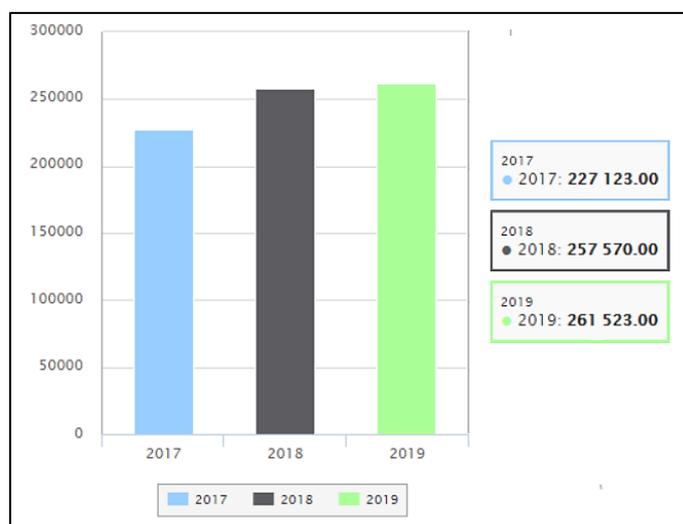


Figura 54 – Consumo annuale [kWh]

METANO

Consumo di metano [m ³]				
Dal	Al	2017	2018	2019
01/01	31/01	14145,00	9485,00	10911,00
01/02	28/02	8339,00	9411,00	8803,00
01/03	31/03	6790,00	9873,00	10397,00
01/04	30/04	4354,00	6577,00	9772,00
01/05	31/05	2267,00	2070,00	4218,00
01/06	30/06	1547,00	1681,00	1441,00
01/07	31/07	1689,00	1486,00	1272,00
01/08	31/08	1676,00	1467,00	1148,00
01/09	30/09	1628,00	1558,00	1207,00
01/10	31/10	3069,00	3148,00	3109,00*
01/11	30/11	7666,00	6874,00	7270,00*
01/12	31/12	10333,00	9677,00	10005,00*

* i consumi relativi ai mesi di ottobre, novembre e dicembre 2019 sono stimati.

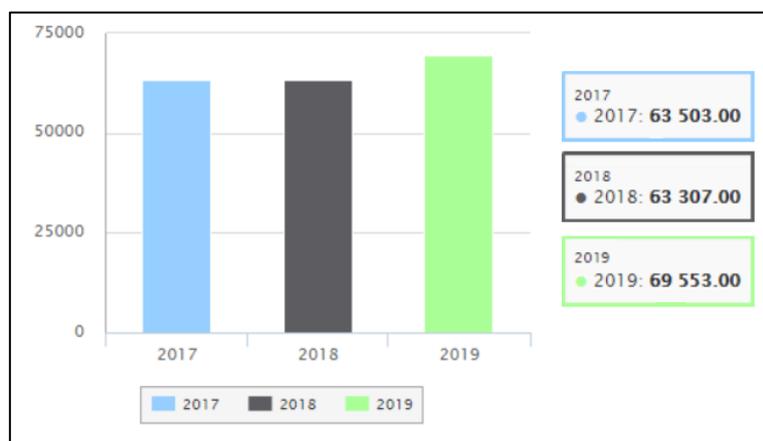


Figura 55 – Consumo annuale [m³]

Un'ulteriore distinzione dei consumi è effettuata da Termolog in relazione al servizio energetico.

Il grafico in Figura 56 riporta il peso del riscaldamento e della produzione di ACS nel consumo annuale di metano. In Figura 57 sono invece visibili i consumi registrati mese per mese.

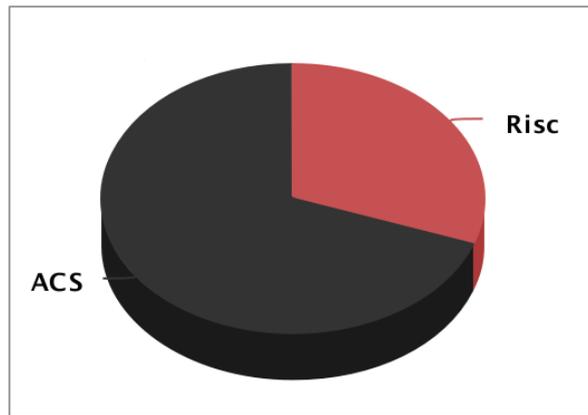


Figura 56 – Consumo annuale di metano per servizio energetico

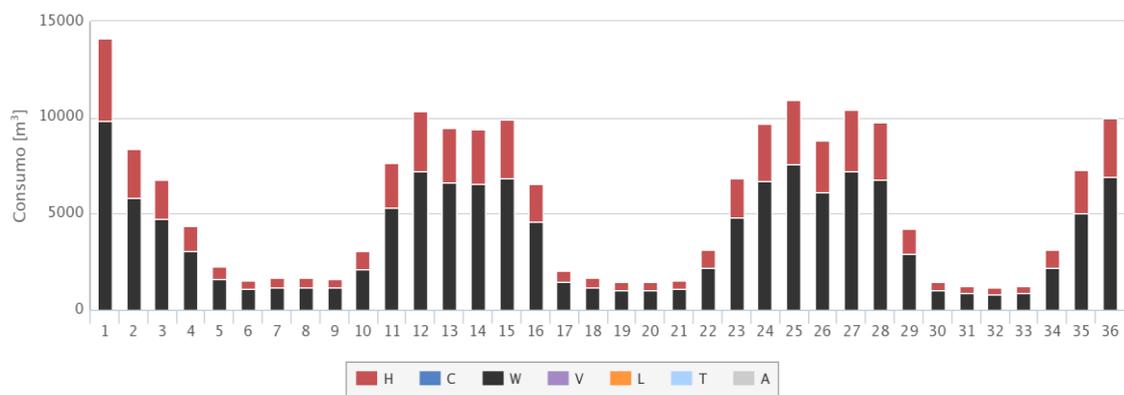


Figura 57 – Consumo di metano per mese

Come previsto, il consumo maggiore di gas metano è dovuto alla produzione di acqua calda sanitaria. I consumi per la climatizzazione invernale ed estiva degli ambienti sono infatti per la maggior parte elettrici, con funzionamento prevalente delle pompe di calore.

3.7.2. Temperature esterne

Il clima esterno è una delle variabili che maggiormente influenzano la determinazione dei consumi reali. La norma UNI 10349 fornisce, per il territorio italiano, i valori delle temperature esterne medie mensili delle singole località.

I valori delle temperature per la città di Matera, riferite all'anno 2019, sono state inserite in Termolog per la validazione del modello edificio-impianto (Tabella 35).

Temperatura esterna media mensile [C°]					
Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
8,6	8,2	10,7	14,8	18,7	22,2
Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
26	26,4	21,6	16,3	11,9	8,8

Tabella 35 – Temperatura esterna media mensile (MT)

Il bilancio energetico di involucro viene eseguito valutando mensilmente la differenza tra la temperatura interna dell'ambiente e la temperatura esterna media.

3.7.3. Reale funzionamento degli impianti

Il Modulo “Diagnosi” consente di modificare i giorni e le ore di funzionamento relative alla centrale di riscaldamento o combinata (per riscaldamento e acqua calda sanitaria). Non è possibile invece modificare i giorni di funzionamento della centrale di raffrescamento.

L' inserimento delle durate reali di funzionamento dell'impianto è fondamentale nel caso si stia redigendo una diagnosi energetica col fine di determinare i fabbisogni ideali per la contabilizzazione di calore; questa informazione riduce il valore di QH_{nd} (fabbisogno di energia termica utile ideale) proporzionando sul numero di giorni reali dell'edificio.

Per la zona climatica D è prevista una durata della stagione di riscaldamento convenzionale che va dal 1° novembre al 15 aprile con un massimo di 12 ore giornaliere. Non conoscendo la reale gestione degli impianti si è ipotizzato il seguente profilo di utilizzo:

- impianto di riscaldamento ibrido con caldaie e pompe di calore (zona “Degenza-Servizi”) e impianto di riscaldamento con caldaie a gas (“Piano 3”) con

programma orario dalle ore 7:00 alle ore 19:00 con funzionamento al 100 % e temperatura di Set point fissata a 20 ° C.

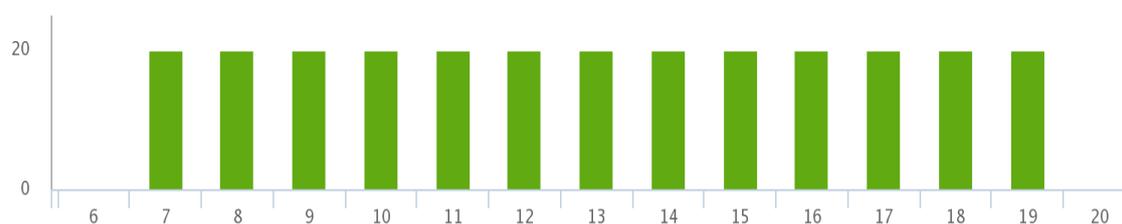


Figura 58 – Programmazione termostato impianto di riscaldamento

3.7.4. Ricambi d'aria e fabbisogno ACS

È stato infine possibile intervenire, zona per zona, sui valori dei ricambi d'aria e dei fabbisogni di acqua calda sanitaria.

Il valore dei ricambi d'aria è stato considerato pari a 0,5 vol/h per tutte le zone termiche.

I valori per il fabbisogno di ACS ($Q_{h,w}$) sono invece stati valutati servendosi della norma UNI EN 8996 che effettua il calcolo (annuale) sulla base dei seguenti parametri:

- numero di persone presenti nella zona;
- numero di giorni/anno di presenza degli utenti all'interno della zona;
- tipo di attività svolta;
- tipo di consumo di ACS nella zona (basso, medio, alto).

I risultati, espressi in kWh, sono riportati in Tabella 36.

Zona termica	$Q_{h,w}$
DEGENZA- SERVIZI	291532,80
FONDAZIONE	384,00
PIANO TRE	72883,20
PALESTRA	6700,00
CENTRO POLIF.	1152,00
DIREZIONE	1152,00
UFFICI SICOMORO	768,00
ASSOCIAZIONE	768,00
Totale [kWh]	375340

Tabella 36 – Fabbisogno di ACS per zona termica

Capitolo 4:

Apporti interni di calore

Come detto in precedenza, il cuore del lavoro di tesi è la definizione di una procedura alternativa al metodo prescritto dalla normativa tecnica, per il calcolo degli apporti di calore interni mensili che tenga conto del sistema di illuminazione artificiale presente ai fini del calcolo del consumo energetico globale di un edificio.

Gli apporti interni di calore includono qualunque forma di energia (calore) generata, all'interno dello spazio riscaldato, da sorgenti interne diverse dal sistema di riscaldamento. Il calcolo degli apporti di calore interni è di fondamentale importanza per valutare i fabbisogni di energia termica per il riscaldamento ed il raffrescamento (capitolo 1, paragrafo 1.1), nonché gli indici di prestazionali e la classe energetica di riferimento dell'edificio preso in esame.

4.1. Norma UNI/TS 11300-1

Gli apporti interni di calore sono valutati dalla normativa UNI/TS 11300-1 attraverso valori convenzionali.

Nei casi di valutazione di progetto o di valutazione standard gli apporti termici interni sono espressi in funzione della destinazione d'uso (ad esclusione degli edifici residenziali) attraverso un valore medio annuale costante (Figura 59).

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali
		W/m ²
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari	6
E.2	Edifici adibiti a uffici e assimilabili	6
E.3	Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili	8
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	8
E.4 (2)	Mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto	8
E.4 (3)	Bar, ristoranti, sale da ballo	10
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili	8
E.6 (1)	Piscine, saune e assimilabili	10
E.6 (2)	Palestre e assimilabili	5
E.6 (3)	Servizi di supporto alle attività sportive	4
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	4
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili	6

Figura 59 – UNI/TS 11300-1 prospetto E.3

La UNI TS 11300 fornisce inoltre i valori di apporti interni medi, applicabili sia in condizioni invernali che estive, distinguendo tra:

- apporti globali;
- apporti dagli occupanti;
- apporti dalle apparecchiature.

Apporti globali

Le sorgenti di energia termica, all'interno di uno spazio chiuso, sono riconducibili agli occupanti, all'acqua sanitaria reflua e alle apparecchiature elettriche. Tali contributi sono ricavati in relazione alla destinazione d'uso dei locali. In Figura 60 sono riportati i valori per edifici adibiti a ufficio.

Giorni	Ore	Ambienti ufficio (60% della superficie utile di pavimento) $(\Phi_{\text{int,Oc}} + \Phi_{\text{int,A}})/A_f$ W/m ²	Altre stanze, atri, corridoi (40% della superficie utile di pavimento) $(\Phi_{\text{int,Oc}} + \Phi_{\text{int,A}})/A_f$ W/m ²
Lunedì - Venerdì	07.00 - 17.00	20,0	8,0
	17.00 - 23.00	2,0	1,0
	23.00 - 07.00	2,0	1,0
	Media	9,50	3,92
Sabato - Domenica	07.00 - 17.00	2,0	1,0
	17.00 - 23.00	2,0	1,0
	23.00 - 07.00	2,0	1,0
	Media	2,0	1,0
Media		7,4	3,1

$(\Phi_{\text{int,Oc}} + \Phi_{\text{int,A}})$ è il flusso termico dalle persone e dalle apparecchiature, in W;
 A_f è la superficie utile di pavimento.

Figura 60 – UNI/TS 11300-1 prospetto 15

Apporti dagli occupanti

Gli apporti interni di calore dovuti alla presenza degli occupanti sono ricavati in funzione della densità di occupazione, in base ai valori riportati in Figura 61.

Classe di densità di occupazione	m ² di superficie utile di pavimento per persona	Fattore di simultaneità	$\Phi_{int, Oc} / A_f$ W/m ²
I	1,0	0,15	15
II	2,5	0,25	10
III	5,5	0,27	5
IV	14	0,42	3
V	20	0,40	2

$\Phi_{int, Oc}$ è il flusso termico dalle persone, in W;
 A_f è la superficie utile di pavimento.

Figura 61 – UNI/TS 11300-1 prospetto 16

Il fattore di simultaneità per l'affollamento indica la scarsa probabilità che il numero massimo di persone previste sia effettivamente presente.

Apporti medi delle apparecchiature

Gli apporti interni medi di calore dovuti alle apparecchiature elettriche sono ricavati in funzione della destinazione d'uso dei locali, in base ai valori riportati in Figura 62.

Categoria di edificio	Apporto termico delle apparecchiature durante il periodo di funzionamento $\Phi_{int, A} / A_f$ W/m ²	Simultaneità f_A	Apporto termico medio delle apparecchiature $\Phi_{int, A} / A_f$ W/m ²
Uffici	15	0,20	3
Attività scolastiche	5	0,15	1
Cura della salute, attività clinica	8	0,50	4
Cura della salute, attività non clinica	15	0,20	3
Servizi di approvvigionamento	10	0,25	3
Esercizi commerciali	10	0,25	3
Luoghi di riunione	5	0,20	1
Alberghi e pensioni	4	0,50	2
Penitenziari	4	0,50	2
Attività sportive	4	0,25	1

$\Phi_{int, A}$ è il flusso termico delle apparecchiature, in W;
 A_f è la superficie utile di pavimento.

Figura 62 – UNI/TS 11300-1 prospetto 17

4.2. Metodologia proposta per il caso studio in esame

L'approccio normativo per il calcolo degli apporti di calore interni è oggetto di discussione nel presente elaborato, in particolare per quanto riguarda il ruolo svolto dagli apporti di calore interni legati al sistema di illuminazione. L'utilizzo di un valore medio standardizzato non considera fattori cruciali come la disponibilità di luce naturale nei diversi mesi dell'anno, l'efficienza dei sistemi di illuminazione presenti e la potenza elettrica installata per unità di superficie in funzione dell'illuminamento medio richiesto nei diversi ambienti.

Il calcolo degli apporti di calore interni per illuminazione deve, pertanto, essere affrontato con maggior precisione, dal momento che contribuisce in maniera significativa alla prestazione energetica finale di un edificio.

La procedura proposta, per la casa di riposo "Brancaccio", valuta separatamente il contributo degli apporti di calore interni per l'illuminazione per poi sommarli agli apporti di calore legati all'occupazione e all'utilizzo di apparecchiature elettriche.

4.2.1. Apporti interni per l'occupazione e le apparecchiature elettriche

- Il valore degli apporti interni per la presenza di persone ($\phi_{int, occ.}$) è stato ottenuto in funzione della densità di occupazione nei diversi ambienti (Figura 61).
- Il valore degli apporti interni per le apparecchiature elettriche ($\phi_{int, app.}$) è stato ottenuto in funzione della destinazione d'uso (Figura 62).

Per valutare in maniera precisa il valore $\phi_{int, occ.}$ si sono ipotizzati, per ciascun ambiente, gli orari effettivi di presenza giornaliera, sulla base della giornata tipo della casa di cura "Brancaccio".

GIORNATA TIPO CASA DI RIPOSO “BRANCACCIO”

MATTINA

7:00/8:00 Cura e igiene personale;

8:00/9:00 Colazione;

9:00/12:00 Visita medica, animazione, terapia occupazionale assistita, bagni programmati, passeggiata nel parco, ginnastica motoria dolce;

12:00/13:00 Pranzo;

POMERIGGIO

14:00/15:30 Riposo;

15:30 Merenda;

16:30/ 17:30 Attività religiosa: Rosario e S. Messa;

17:30/18:45 Socializzazione (incontri amichevoli, gioco di carte, attività comuni);

SERA

19:00/20:00 Cena;

20.30/21.30 TV (spazi comuni e/o stanze degenza);

Nei prospetti seguenti sono riportati i valori medi ponderati degli apporti di calore interni legati all'occupazione e alle apparecchiature elettriche, rispettivamente per i seguenti locali:

- Cappella (piano terra);
- Palestra (piano terra);
- Cucina e servizi (piano terra);
- Salette di gruppo – centro polifunzionale (piano rialzato);
- Refettorio (piano rialzato);
- Area relax (piano rialzato) e sale comuni;
- Degenza – pazienti autosufficienti (piano primo e piano secondo);
- Degenza – pazienti assistiti (piano terzo);
- Uffici – (piano terra e piano rialzato);

CAPPELLA (100 m²) – affollamento max: 35 pers.

Giorno	Ora	ϕ int, occ. / Af [W/m²]	ϕ int, app. / Af [W/m²]	Totale [W/m²]
Lunedì-Sabato	16.30 - 17.30	10		
	Altre 23 h	2		
Media ponderata su 24 h		2,33	1	3,33
	10.00 - 11.00	10		
Domenica	16.30 – 17.30	10		
	Altre 22 h	2		
Media ponderata su 24 h		2,67	1	3,67
Media ponderata su 7 giorni e 24 h			1	3,38

PALESTRA (122 m²) – affollamento max: 20 pers.

Giorno	Ora	ϕ int, occ. / Af [W/m²]	ϕ int, app. / Af [W/m²]	Totale [W/m²]
Lunedì-Sabato	10.00 – 12.00	5		
	15.00 – 17.00	5		
	Altre 20 h	2		
Media ponderata su 24 h		2,5	1	3,5
Domenica				-
Media ponderata su 24 h e 7 giorni				3

CUCINA (158 m²)

Giorno	Ora	ϕ int, occ. / Af [W/m²]	ϕ int, app. / Af [W/m²]	Totale [W/m²]
Lunedì- Domenica	07.00 – 09.00	10		
	09.00 – 11.00	5		
	11.00 – 14.00	10		
	14.00 – 18.00	5		
	18.00 – 21.00	10		
	Altre 10 h	2		
Media ponderata su 24 h e 7 giorni		5,41	3	8,41

Centro polifunzionale (256 m²) - affollamento max: 40 pers.

Giorno	Ora	ϕ int, occ. / Af [W/m²]	ϕ int, app. / Af [W/m²]	Totale [W/m²]
Lunedì-Sabato	09.00 – 12.00	5		
	14.00 – 19.00	5		
	Altre 16 h	2		
Media ponderata su 24 h		3	1	4
Domenica				-
Media ponderata su 24 h e 7 giorni				3,43

REFETTORIO (257 m²) – affollamento max: 100 pers.

Giorno	Ora	ϕ int, occ. / Af [W/m²]	ϕ int, app. / Af [W/m²]	Totale [W/m²]
Lunedì- Domenica	08.00- 09.00	10		
	12.00 – 13.00	10		
	19.00 – 20.00	10		
	Altre 21 h	2		
Media ponderata su 24 h e 7 giorni		3	2	5

AREA RELAX (86 m²) - SALE COMUNI

Giorno	Ora	ϕ int, occ. / Af [W/m²]	ϕ int, app. / Af [W/m²]	Totale [W/m²]
Lunedì-Sabato	10.00 – 12.00	10		
	17.00 – 18.00 *	15		
	18.00 – 19.00	10		
	20.30 – 21.30	5		
	Altre 19 h	2		
Media ponderata su 24 h		3,67	2	5,67
	10.00 – 12.00 *	15		
Domenica	17.00 – 19.00	10		
	20.30 – 21.30	5		
	Altre 19 ore	2		
Media ponderata su 24 h		3,87	2	5,87
Media ponderata su 24 h e 7 giorni				5,7

* orario di visite

STANZE DEGENZA (pazienti autosufficienti)

Giorno	Ora	ϕ int, occ. / Af [W/m ²]	ϕ int, app. / Af [W/m ²]	Totale [W/m ²]
Lunedì-Domenica	07.00 – 08.00	5		
	08.00 – 14.00	3		
	14.00 – 16.00	5		
	16.00 - 18.00	3		
	18.00 – 21.00	3		
	Altre 10 h	5		
Media ponderata su 24 h e 7 giorni		4,08	2	6,08

STANZE DEGENZA (pazienti assistiti)

Giorno	Ora	ϕ int, occ. / Af [W/m ²]	ϕ int, app. / Af [W/m ²]	Totale [W/m ²]
Lunedì-Sabato	24 h	5		
Media ponderata su 24 h		5	4	9
Domenica	10.00 -12.00 *	10		
	Altre 22 h	5		
Media ponderata su 24 h		5,42	4	9,42
Media ponderata su 24 h e 7 giorni				9,06

* orario di visite

UFFICI

Per gli uffici si sono considerati i valori della normativa UNI/TS 11300-1 prospetto 15
(v. Figura 2)

Il contributo degli apporti di calore è stato così calcolato:

PIANO TERRA (sup. utile 1478 m²)

- Uffici fondazione, sup. utile 92,3 m² di cui:
 - 32,9 m² di ambienti ufficio → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 7,4 \text{ W/m}^2$
 - 59,4 m² corridoi, altre stanze → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 3,1 \text{ W/m}^2$
- Uffici associazione, sup. utile 171,6 m² di cui:
 - 103,8 m² di ambienti ufficio → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 7,4 \text{ W/m}^2$
 - 67,8 m² di corridoi/alte stanze → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 3,1 \text{ W/m}^2$
- Palestra, sup. utile 122 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 3 \text{ W/m}^2$
- Cucina e servizi, sup. utile 158 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 8,41 \text{ W/m}^2$
- Altro (C.T, depositi, lavanderia), sup. utile 928 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 4 \text{ W/m}^2$

PIANO RIALZATO (sup. utile 1470 m²)

- Uffici Sicomoro, sup. utile 212,2 m² di cui:
 - 160,6 m² di ambienti ufficio → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 7,4 \text{ W m}^2$
 - 51,6 m² corridoi, altre stanze → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 3,1 \text{ W/m}^2$
- Centro polifunzionale, sup. utile 256,1 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 3,43 \text{ W/m}^2$
- Area relax, sup. utile 86 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 5,7 \text{ W/m}^2$
- Refettorio, sup. utile 257 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 5 \text{ W/m}^2$
- Cappella, sup. utile 101 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 3,38 \text{ W/m}^2$
- Uffici (parroco, direzione), sup. utile 90 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 7,4 \text{ W/m}^2$
- Altro (Atri, corridoi), sup. utile 468 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 3,1 \text{ W/m}^2$

PIANO 1 (sup. utile 1340 m²)

- Stanze degenza, sup. utile 650 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 6,08 \text{ W/m}^2$
- Sala comune, sup. utile 75 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 5,7 \text{ W/m}^2$
- Altro (corridoi, depositi), sup. utile 615 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 4 \text{ W/m}^2$

PIANO 2 (sup. utile 1340 m²)

- Stanze degenza, sup. utile 650 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 6,08 \text{ W/m}^2$
- Sala comune, sup. utile 75 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 5,7 \text{ W/m}^2$
- Altro (corridoi, depositi), sup. utile 615 m² → $\phi_{\text{int}} (\text{occ.}+\text{app.}) = 4 \text{ W/m}^2$

PIANO 3 (sup. utile 866 m²)

- Stanze degenza, sup. utile 266 m² → ϕ_{int} (occ.+app.) = 9,06 W/m²
- Altro (corridoi, depositi), sup. utile 600 m² → ϕ_{int} (occ.+app.) = 5 W/m²

In sintesi si riportano, in Tabella 37/38, i valori degli apporti di calore (ϕ_{int} , occ. + ϕ_{int} , app.) per piano e per zona termica.

Edificio	ϕ_{int}, occ.+app. [W]	ϕ_{int}, occ.+app. [W/m²]
Piano terra	6812,7	4,6
Piano rialzato	6460,2	4,4
Piano primo	6839,5	5,1
Piano secondo	6839,5	5,1
Piano terzo	5410	6,25
Totale	32361,9	4,98

Tabella 37 – Apporti di calore (ϕ_{int} , occ.+app) per piano

Zona Termica	ϕ_{int}, occ.+app. [W]	ϕ_{int}, occ.+app. [W/m²]
Degenza-Servizi	21893,5	4,84
Fondazione	427,6	4,63
Associazione	978,3	5,70
Palestra	592	3,32
Direzione	833,7	4,24
Centro polif.	878,4	3,43
Uffici Sicomoro	1348,4	6,35
Piano tre	5410	6,25
Totale	32361,9	4,98

Tabella 38 – Apporti di calore (ϕ_{int} , occ.+app) per zona termica

Ai valori sopra calcolati dovrà essere sommata la quota di apporti interni per l'illuminazione artificiale degli ambienti.

4.2.2. Apporti interni per l'illuminazione artificiale

La procedura proposta per il calcolo degli apporti interni legati al sistema di illuminazione, si struttura nei seguenti passi:

1. L'energia necessaria per l'illuminazione del "Brancaccio" viene calcolata attraverso l'indice LENI (norma UNI EN 15193:2017);
2. Per ogni valore dell'indice LENI (kWh/m^2) annuale sono calcolati anche i valori mensili di energia specifica per l'illuminazione (kWh/m^2);
3. L'energia specifica giornaliera per l'illuminazione (kWh/m^2) è ottenuta dividendo l'energia mensile per il numero di giorni di ogni mese;
4. La potenza specifica giornaliera (W/m^2) è ottenuta dividendo l'energia specifica giornaliera (kWh/m^2) per 24 h e moltiplicando per 1000 (conversione in Watt);
5. È stata poi derivata la quota di calore immessa in ambiente dagli apparecchi di illuminazione (sorgenti di calore interne). Partendo dai dati in letteratura si è assunta come energia termica immessa in ambiente una percentuale pari rispettivamente al 79% (per sorgenti fluorescenti) e 75% (per sorgenti LED) della potenza elettrica (calcolata al punto 4).
6. La quota di calore appena calcolata rappresenta proprio il valore degli apporti interni per l'illuminazione ($\phi_{\text{int, ill.}}$).

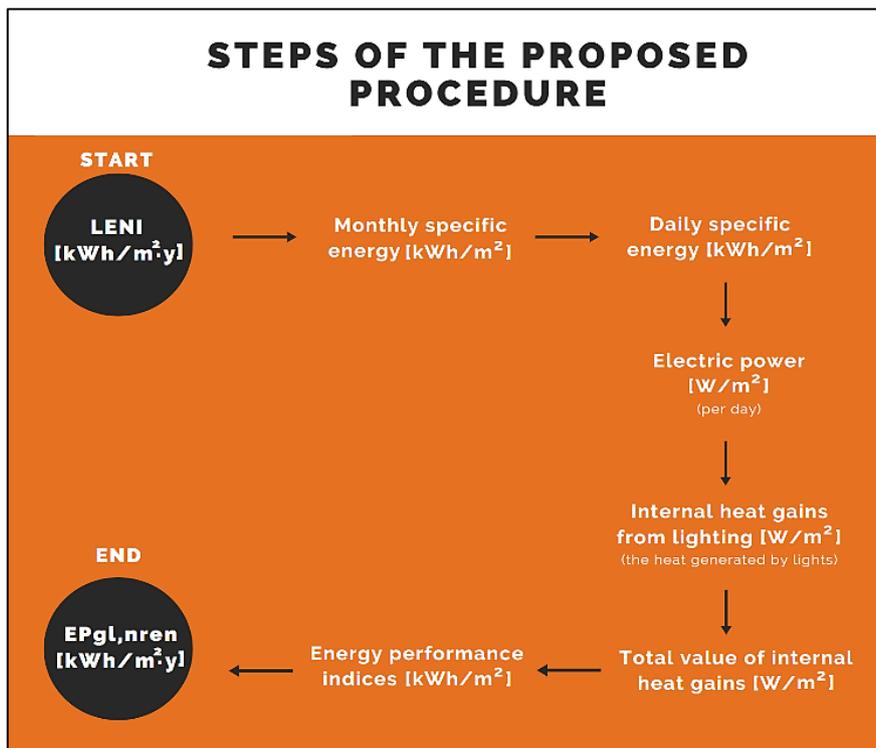


Figura 63 – Procedura proposta

4.2.3. Calore emesso dagli apparecchi di illuminazione

Per stimare la quota di calore immessa in ambiente dalle sorgenti luminose si sono utilizzati i valori pubblicati dal DOE (Department Of Energy del governo degli Stati Uniti) nell'ambito di uno studio sull'efficienza delle diverse tecnologie di illuminazione. Tali valori sono anche riportati nel manuale *“Fondamenti di illuminotecnica. Vantaggi dell'illuminazione a LED”* di Palazzoli Academy (Figura 64).



	INCANDESCENT 60W	FLUORESCENT typical linear CW	METAL HALIDE	LED
visible light	8%	21%	27%	15-25%
IR	73%	37%	17%	0%
UV	0%	0%	0%	0%
TOTAL RADIANT ENERGY	81%	58%	63%	15-25%
heat (conduction + convection)	19%	42%	37%	75-85%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

Figura 64 – Componenti di emissione tra vari tipi di sorgenti luminose

Le lampade fluorescenti convertono il 79% della potenza fornita in calore, sia direttamente (42%), che sottoforma di radiazione infrarossa (37%). Nei LED non si ha né infrarosso né ultravioletto e l'efficacia è attestata intorno al 25%, con un 75% di calore dissipato.

Prima di ricorrere all'utilizzo dei valori in Figura 64 si è però iniziato uno studio più approfondito per stimare la quota di energia termica immessa in ambiente dall'intero sistema apparecchio-sorgente, con particolare riferimento ai modelli installati nella casa di riposo “Branaccio” (Tabella 39/40).

TECNOLOGIA LED

- a) ACCIAIO ECO LED – Beghelli;
- b) ACCIAIO ECO LED – Beghelli;
- c) LENS PANEL LED – Beghelli;
- d) GITA 2 – Eglo.

	⁽⁵⁾ P _{eq}	Pot. LED	CCT	R _a	Assorbimento Max.	Flusso LED (T _j =25°C)	Flusso uscente	Efficienza luminosa
		[W]	[K]	-	[W]	[lm]	[lm]	[lm/W]
a)	2x36	30	4000	> 80	35	5570	4700	135
b)	2x58	52	4000	> 80	58	8350	7000	120
c)	4x18	32	4000	> 80	35	4700	4300	122
d)	-	-	4000	-	8,3	-	900	108,4

Tabella 39 – Apparecchi LED in uso al “Branccaccio”

TECNOLOGIA FLUORESCENTE

- e) Sorgente fluorescente: MASTER TL-D Super 80 36W/840 1SL/25 – Philips

CCT	Assorbimento Max	Flusso luminoso	Efficienza luminosa
[K]	[W]	[lm]	[lm/W]
4000	36	3350	93

Tabella 40 – Sorgenti fluorescenti in uso al “Branccaccio”

Ogni apparecchio “testaletto” monta 2 lampade fluorescenti T8 da 36 W ed ha le seguenti caratteristiche:

- ⁽⁶⁾ LOR (Rendimento ottico): 45,0 % ;
- Flusso luminoso in uscita: 3015 lm ;
- Potenza assorbita (lampada +alimentatore): 87 W ;
- Efficacia apparecchio: 35 lm/W.

(5) Potenza equivalente per il confronto con apparecchi a tubo fluorescenti

(6) The light output ratio (LOR) shows how much light gets lost inside the luminaire

Per valutare la percentuale di calore immessa in ambiente dagli apparecchi di illuminazione si sono effettuate prove di laboratorio, utilizzando come strumento di misura una sfera integratrice.

La sfera integratrice (o sfera di Ulbricht) serve per misurare il flusso totale emesso da una sorgente luminosa. Tale dispositivo si basa sull'ipotesi per cui, inserendo una sorgente all'interno di una sfera cava con pareti interne perfettamente diffondenti, l'illuminamento in ciascun punto sulla superficie interna della sfera non dipende dalla sorgente ed è proporzionale al flusso luminoso.

Nelle misure di laboratorio, in sfera integratrice (Figura 65) è stato usato come strumento di lettura lo spettroradiometro che fornisce, sulla superficie di test, valori sia fotometrici che radiometrici, quindi la luminanza (L_v) e la radianza (L_e).



Figura 65 – Sfera integratrice, laboratorio ENEA

Dalle misure di laboratorio si è notato che il rapporto:

$$\frac{L_v}{L_e} = \frac{\text{flusso luminoso}}{\text{potenza radiante}}$$

rimane pressoché costante in relazione alla tecnologia di illuminazione (il tipo di spettro è infatti caratteristico di ogni tecnologia) e a parità di temperatura di colore (CCT). In particolare questo rapporto vale 335 per la tecnologia LED e 311 per la tecnologia fluorescente compatta CFL-i (valore utilizzato anche per le sorgenti fluorescenti lineari).

Noto il valore del rapporto L_v/L_e è possibile procedere secondo i seguenti step:

1. La potenza radiante delle sorgenti in esame è stata calcolata come:

$$\text{Pot. radiante} = \frac{\text{flusso luminoso}}{\frac{L_v}{L_e}}$$

2. Dalla differenza tra la potenza elettrica e la potenza radiante è stata derivata la quota di energia non utile al fine di illuminare (“Pot. non luce”);

$$\text{Pot. non luce} = \text{Pot. elettrica} - \text{Pot. radiante}$$

3. La percentuale di luce emessa dall’apparecchio è stata calcolata dal rapporto tra la potenza radiante e la potenza elettrica;
4. La percentuale corrispondente a tutto ciò che non è luce è stata calcolata dal rapporto tra la “pot. non luce” e la potenza elettrica.

	Efficienza luminosa	Flusso apparecchio	Pot. elettrica	$\frac{L_v}{L_e}$	Pot. radiante	Pot. non luce	Luce	Altro
	[lm/W]	[lm]	[W]	-	[W]	[W]	%	%
a)	135	4700	35	335	14,03	20,97	40,09	59,91
b)	120	7000	58	335	20,89	37,11	36,03	63,97
c)	122	4300	35	335	12,84	22,16	36,68	63,32
d)	108,4	900	8,3	335	2,69	5,61	32,4	67,6
e)	35	3015	87	311	9,69	77,31	11,14	88,86

Tabella 41 – Stima del calore emesso dagli apparecchi di illuminazione

Per le sorgenti LED tutto ciò che non è luce si può considerare calore (lo spettro dei LED è quasi interamente nel visibile), quindi la quota di calore immessa in ambiente dagli apparecchi LED risulta pari a circa il 60-65% della potenza fornita.

Per le sorgenti fluorescenti lo spettro elettromagnetico presenta dei picchi sia in infrarosso (IR) che in ultravioletto (UV). Pur supponendo di trascurare, per semplicità, la quota ultravioletta (la radiazione infrarossa è percepita dal nostro corpo sottoforma di calore), c'è un'ulteriore questione relativa alle riflessioni che si verificano all'interno degli apparecchi fluorescenti. La percentuale di "non luce" è di circa l'89 % (Tabella 41) ma non si è riusciti a stimare con esattezza il calore immesso in ambiente rispetto alla quota dispersa in riflessioni interne.

A causa dell'impossibilità di eseguire ulteriori prove in laboratorio si è deciso di utilizzare le percentuali di emissione di calore in Figura 64, restringendo le considerazioni alla sola sorgente luminosa piuttosto che al sistema apparecchio-sorgente.

4.2.4. Indice LENI

L'indice LENI è stato introdotto dalla Norma europea EN 15193 (in Italia UNI EN 15193:2017, “Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione”) e rappresenta il fabbisogno netto di energia per illuminazione.

La valutazione dell'indice LENI può essere condotta, per edifici esistenti o di nuova costruzione, secondo tre diverse metodologie (Figura 66), di cui due di calcolo e una di misurazione.

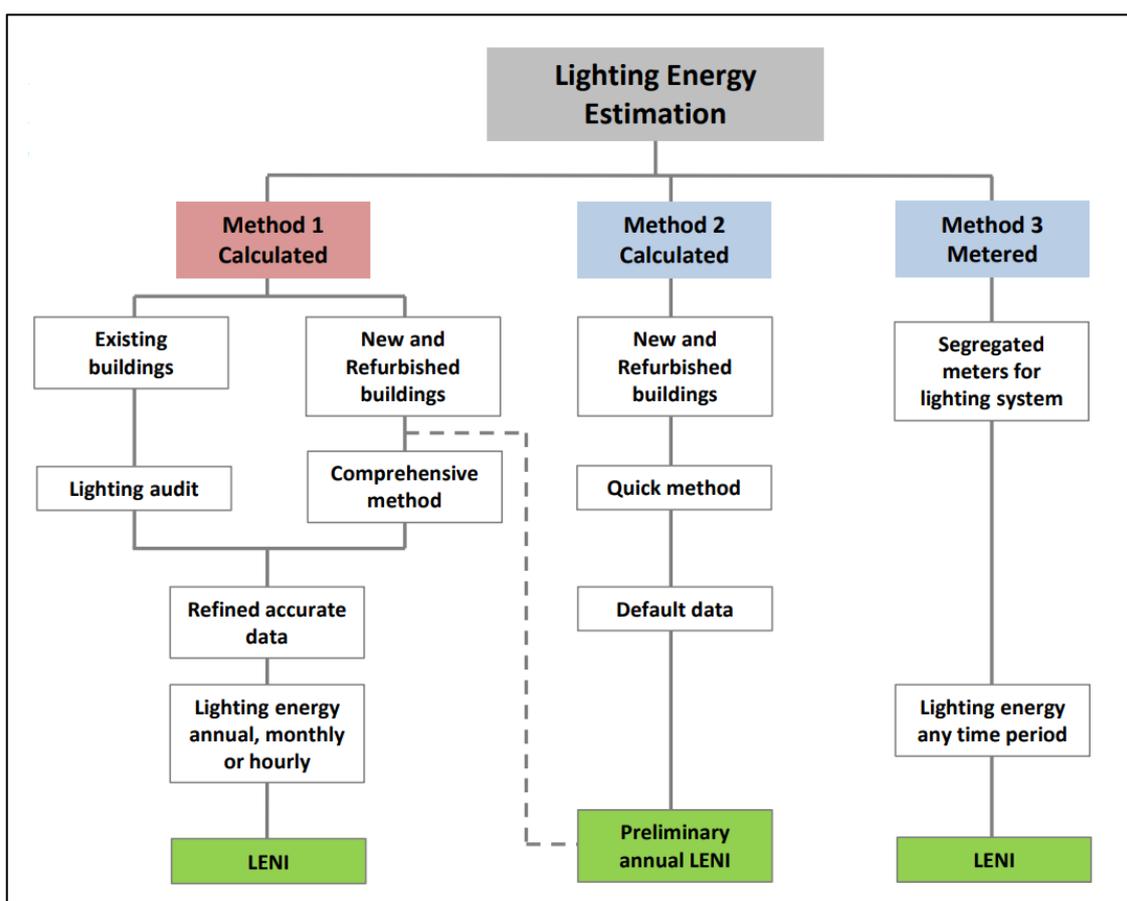


Figura 66 – Metodi per la valutazione dell’energia necessaria per l’illuminazione

È utile osservare che nella definizione dei vari parametri per il calcolo dell'indice LENI sono considerati i seguenti aspetti: modalità d'utilizzo e gestione dei sistemi di illuminazione artificiale, disponibilità di luce naturale all'interno degli ambienti, consumi dovuti ai sistemi di illuminazione di emergenza. Sono inoltre considerati, almeno in parte, aspetti relativi alla qualità del progetto illuminotecnico inerenti ai requisiti minimi

indicati nella UNI EN 12464-1 sull'illuminazione artificiale degli ambienti interni di lavoro.

Il valore del LENI dell'edificio è calcolato normalizzando l'energia annua totale necessaria per l'illuminazione [W] all'area utile [A] dello stesso edificio.

$$\text{LENI} = \frac{W}{A} \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{anno)} \quad (9)$$

Il fabbisogno di energia necessaria al sistema di illuminazione, W (kWh/anno), può essere calcolato con la relazione (10):

$$W = W_L + W_T \quad (10)$$

Dove:

- W_L (energia totale annua per l'illuminazione) rappresenta il fabbisogno energetico necessario agli apparecchi di illuminazione per garantire le condizioni di illuminazione fissate in sede progettuale.
- W_P (energia totale annua parassita) rappresenta il fabbisogno di energia necessario all'alimentazione dei dispositivi di emergenza e per il mantenimento delle condizioni di stand-by dei sistemi di controllo degli apparecchi di illuminazione.

I fabbisogni W_L e W_P sono calcolati con le relazioni (UNI EN 15193):

$$W_L = \sum_{zone} \frac{P_n \cdot F_C \cdot F_O \cdot (t_D \cdot F_D + t_N)}{1000} \quad (11)$$

$$W_P = \sum_{zone} \frac{P_{pc} \cdot t_y + P_{em} \cdot t_{em}}{1000} \quad (12)$$

Il significato dei parametri introdotti nelle relazioni (11) e (12) e le relative unità sono precisati in Tabella 42.

Simbolo	Unità di Misura	Significato
P _n	W	(total installed lighting power) Potenza elettrica complessivamente installata per l'illuminazione dell'edificio (o dell'ambiente) in esame
P _{pc}	W	(total installed parasitic power of the controls) Potenza elettrica necessaria all'alimentazione dei vari sistemi di controllo (emergenza, stand-by ...) eventualmente presenti
P _{em}	W	(total installed charging power of the emergency lighting luminaires) Potenza elettrica necessaria alla ricarica delle batterie dei dispositivi di illuminazione d'emergenza
t _D	h	(daylight time usage) tempo di accensione del sistema di illuminazione durante le ore diurne nel periodo di calcolo considerato
t _N	h	(non-daylight time usage) tempo di accensione del sistema di illuminazione durante le ore serali e notturne nel periodo di calcolo considerato
t _y	h	(time step) Intervallo di tempo considerato (orario, mensile, annuale) Es. 8760 h, 730 h ...
t _{em}	h	(emergency lighting charge time) Tempo necessario alla ricarica delle batterie dei dispositivi di illuminazione di emergenza
F _c	-	(constant illuminance factor) coefficiente di correzione per valutare l'effetto della presenza di eventuali sistemi di controllo per mantenere livelli di illuminamento costanti
F _o	-	(occupancy dependance factor) coefficiente di correzione per valutare l'effetto della presenza di persone all'interno dell'edificio (o dell'ambiente) in esame
F _D	-	(daylight dependance factor) coefficiente di correzione per valutare il contributo dell'illuminazione naturale nell'edificio (o nell'ambiente) in esame

Tabella 42 – Significato dei parametri introdotti nelle relazioni (11) e (12)

Il coefficiente **F_c** può essere espresso in funzione del fattore di manutenzione, MF (maintenance factor) secondo la relazione:

$$F_c = 1 - \frac{1}{2} \cdot F_{cc} \cdot \frac{1 + MF}{2} \quad (13)$$

Quando F_{cc} (efficienza del controllo dell'illuminamento costante) non è noto, si utilizza la formula semplificata.

$$F_c = \frac{1 + MF}{2} \quad (14)$$

L'introduzione del coefficiente di manutenzione (MF) permette di considerare che, per mantenere in un dato ambiente l'illuminamento medio (E_m) precisato nella normativa tecnica, l'illuminamento iniziale dovrà risultare maggiorato di un fattore che tenga conto del decadimento del flusso luminoso delle sorgenti e dell'invecchiamento degli apparecchi di illuminazione.

Il coefficiente **F_o** introduce ulteriore complessità alla valutazione dei fabbisogni energetici relativi all'illuminazione degli ambienti, dipendendo a sua volta da altri due coefficienti, F_A e F_{oc}.

- F_{oc} (occupancy dependent lighting control system factor) è il fattore di dipendenza dal sistema di controllo dell'occupazione e tiene conto del tipo di accensione, spegnimento e regolazione del sistema di illuminazione.
- F_A (absence factor) è il fattore di assenza e indica il periodo temporale di utilizzo dell'impianto quando la zona è senza occupanti: quanto più il valore di F_A si avvicina a 0, tanto maggiore è la possibilità che l'ambiente sia occupato. I valori di questo parametro sono desumibili dal Prospetto D.2 della UNI TS 11300:2, in relazione alla destinazione d'uso dell'edificio considerato.

Il coefficiente di dipendenza dalla luce diurna **F_D** consente di valutare i valori relativi al risparmio energetico ottenibile attraverso una corretta integrazione tra illuminazione artificiale e illuminazione naturale degli ambienti interni.

La determinazione di F_D per la zona n-esima avviene attraverso la seguente formula:

$$F_{D,n} = 1 - (F_{D,S,n} \cdot F_{D,C,n}) \quad (15)$$

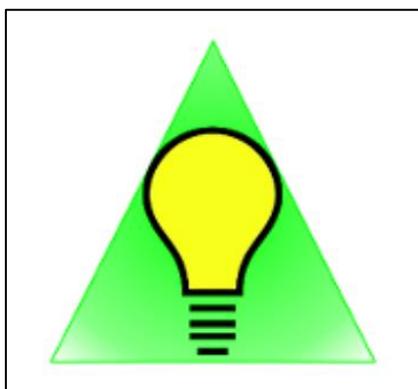
in cui $F_{D,S,n}$ rappresenta il fattore di disponibilità della luce diurna e $F_{D,C,n}$ è il fattore di comando della luce diurna che dipende dal sistema di controllo utilizzato. La procedura per la determinazione di F_D si struttura nei seguenti passi:

1. l'edificio viene suddiviso in zone illuminate o meno dalla luce naturale (zone $A_D - A_{ND}$);
2. si stima l'impatto dei parametri relativi ai locali, alla geometria della facciata ed alla presenza di ostruzioni esterne sull'illuminazione naturale degli spazi interni attraverso il fattore di luce diurna;
3. il potenziale di risparmio energetico è stimato in funzione del clima, dell'illuminamento mantenuto e del fattore di luce diurna;
4. in funzione del sistema di controllo presente si determina lo sfruttamento della luce naturale disponibile;
5. si convertono i valori annuali di $F_{D,n}$ in valori mensili.

Nel caso si scelga di utilizzare il metodo semplificato per la valutazione del LENI si utilizzano valori standard, ricavabili da tabella, per determinare i parametri sopra citati. Tale metodo potrebbe però restituire valori di LENI più elevati rispetto a quelli ottenibili con il metodo completo, il quale prevede una valutazione più accurata (mensile) dei consumi energetici per illuminazione e la determinazione dei parametri F_D , F_o , F_c per via analitica.

4.2.5. Software LENICALC

Il calcolo dell'indice LENI relativo alla casa di riposo è stato eseguito con il software LENICALC (V.3), sviluppato da ENEA con la collaborazione del Gruppo di lavoro UNI/CT023/GL10. La ragione che ha portato ENEA alla realizzazione di questo prodotto, risiede nella complessità del metodo di calcolo (metodo 1) che, nella norma UNI EN 15193-1:2017, consente la determinazione dell'indice LENI. Il tool LENICALC, sviluppato in lingua inglese, restituisce gli output richiesti dalla normativa, effettuando il calcolo sulla base delle variabili da cui dipende il consumo di energia elettrica per l'illuminazione.



In particolare la procedura di calcolo prevede la suddivisione dell'edificio in zone distinte in relazione al fatto che siano illuminate o meno dalla luce naturale (zone A_D e zone A_{ND}). Definita la potenza installata per gli impianti di illuminazione in ciascuna zona, la disponibilità annua di luce naturale viene stimata attraverso la determinazione dei parametri "fattore di luce diurna" (D), "fattore di disponibilità di luce naturale" ($F_{D,S,n}$) e fattore di assenza (F_A). Infine, in relazione alle logiche di controllo utilizzate (il software prevede l'inserimento di logiche in funzione dell'occupazione e/o della luce diurna), vengono determinati, sulla base di dati tabellari, i fattori di illuminamento costante FC , di dipendenza dalla luce diurna F_D e di occupazione F_O , al fine di calcolare il tempo effettivo di utilizzo degli impianti e quindi il fabbisogno di energia totale per l'illuminazione W_L . Quest'ultimo viene calcolato su base annua o mensile in funzione del numero di ore di utilizzo in condizioni di presenza di luce naturale (t_D) o di assenza di luce naturale (t_N). All'energia totale per l'illuminazione viene poi sommata quella dovuta alla condizione di stand-by degli impianti (W_P) e il contributo totale viene rapportato alla superficie utile di pavimento per determinare l'indice LENI (kWh/m^2 anno).

CASO STUDIO “BRANCACCIO”

Prima di iniziare con il progetto vero e proprio è richiesto l’inserimento delle seguenti proprietà di carattere generale:

CASA DI RIPOSO “BRANCACCIO” (MT)	
Fattore di mantenimento MF	0,7
Destinazione d’uso dell’edificio	Ospedali, case di cure
Latitudine	40,7
Longitudine	16,6
Hdir/Hglob (luminous exposure)	0,45
Anno di costruzione dell’edificio	1970

Tabella 43 – Dati generali

Il software permette poi l’importazione, in formato dxf, della planimetria dell’edificio (per ogni livello). Il piano di lavoro viene quindi suddiviso creando delle “ROOM” e, per ogni stanza, si specifica:

1. attività principale svolta nell’ambiente;
2. fattore di manutenzione della stanza;
3. altezza del piano di lavoro;
4. ore di funzionamento in presenza di luce naturale (Td);
5. ore di funzionamento in assenza di luce naturale (Tn).

Nella residenza per anziani si sono quindi individuate 382 “ROOM” così suddivise: 69 al piano terra, 53 al piano rialzato, 101 al primo piano, 101 al secondo piano e 58 al terzo piano. Per ognuna di esse si sono definiti i parametri precedentemente elencati. In particolare si è considerato un fattore MF pari a 0,7 (corrispondente a sorgenti LED installate in un ambiente pulito con manutenzione annuale degli apparecchi).

“ROOM”			
Destinazione d’uso	Attività	Td	Tn
Hospital	Wards-Bedroom	3000	2000
	Laboratory		
	Examination/treatment		
	Waiting area		
	Entrance hall		
	Corridor		
Offices	Office	2250	250
	Conference room		
	Bathroom		
	Archives		
	Entrance hall		
	Corridor		
Educational buildings	Junior common room	1800	200
	Room for group activities		
	Staff room		
	Gymnasium/sports hall	1000	1000
Hotel/Residential buildings	Kitchen	3000	2000
	Kitchen/storage		
	Dining room		
	Entrance hall		
	Corridor		

Tabella 44 – “ROOM”: dati richiesti in input

All’interno delle singole stanze è possibile scegliere se creare un’unica zona o più zone distinte, in base alla disposizione interna degli apparecchi di illuminazione e al loro funzionamento. Per ogni zona il software richiede di specificare:

1. illuminamento medio (Em) normativo;
2. illuminamento medio (Em) reale;
3. tipologia di sistema di controllo basato sulla presenza (sensori di occupazione);
4. tipologia di sistema di controllo basato sulla luce naturale (sensori photo-dimming);
5. fattore di assenza.

In Tabella 45 è riportata una panoramica generale dei dati relativi a ognuna delle zone individuate per il caso studio. Si veda il paragrafo 3.5 capitolo 3 per i dettagli circa l'impianto di illuminazione.

“ZONE”				
Tipo di stanza	Fa	E_m reale [lux]	Controllo occupazione	Controllo luce naturale
Wards-Bedroom 1°/2 ° floor	0	130-200	Manual ON/OFF	Manual
Wards-Bedroom 3° floor	0	300		
Laboratory	0,2	500		
Examination/treatment	0,4	500		
Waiting area	0	300		
Entrance hall	0	300		
Corridor	0,4	250		
			Manual ON/Auto OFF	
Office	0,3	500	Manual ON/OFF	Manual
Conference room	0,5	500		
Bathroom	0,9	200		
Archives	0,98	200		
Entrance hall	0	300		
Corridor	0,4	200		
			Manual ON/Auto OFF	
Junior common room	0,5	300	Manual ON/OFF	Manual
Room for group activities	0,4	300		
Staff room	0,4	200		
Gymnasium/sports hall	0,3	300		
Kitchen	0	500	Manual ON/OFF	Manual
Kitchen/storage	0,5	200		
Dining hall	0,7	300		
Entrance hall	0	300		
Corridor	0,4	200		
			Manual ON/Auto OFF	

Tabella 45 – “ZONE”: dati richiesti in input

Il valore di illuminamento medio reale relativo alle stanze di degenza e ai bagni è stato calcolato con il software Dialux Evo (Figura 48/49).

Il passo successivo consiste nell’inserimento, all’interno della sezione “WINDOW”, degli elementi trasparenti con le relative proprietà. In base ai dati riportati in Tabella 46, il software calcola automaticamente le zone illuminate o meno dalla luce naturale, rispettivamente “daylight area” (A_D) e “non-daylight area” (A_{ND}).

“WINDOW”	
Dimensioni geometriche della finestra	-
Fattore trasmissione luminosa del vetro	0,812
K1, fattore di riduzione in funzione del telaio	0,8
K2, f. di riduzione in funzione dello sporcamento	0,9
K3, f. di riduzione per luce non \perp sul vetro	0,85
Front obstruction angle: θ	$0^\circ - 90^\circ$
Overhang obstruction angle: α	$0^\circ - 90^\circ$
Side obstruction angle: β	$0^\circ - 90^\circ$

Tabella 46 – “WINDOW”: dati richiesti in input

La valutazione degli ombreggiamenti è stata invece eseguita dal modello “Termolog” precedentemente creato; per ogni finestra presente, il programma calcola gli angoli di ostruzione θ , α e β in relazione agli ostacoli e agli aggetti presenti. Un esempio di calcolo è mostrato in Figura 67.

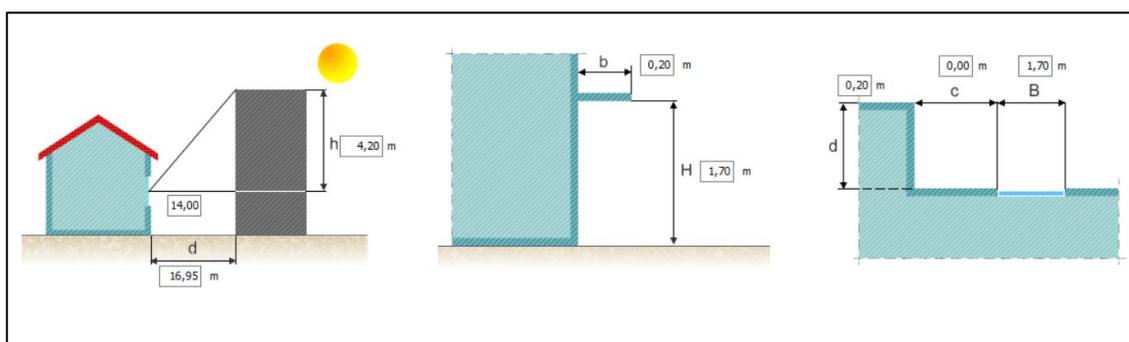


Figura 67 – Angoli θ - α - β (Termolog)

I valori così calcolati sono stati inseriti in LENICALC nell’apposita sezione.

In ultima analisi sono stati inseriti gli apparecchi luminosi, per l’illuminazione generale e per quella d’emergenza, nelle corrispondenti zone A_D e A_{ND} .

Reference Id	Description	Piw	Standby Pci	Chg Pei	Product Type
42934210 (ST...	RESCLITE PRO...	9.50 W	1.20 W	1.25 W	Emergency
Acciaio ECO LED	2 x 36	35.00 W	0.00 W	0.00 W	Luminaire
Acciaio ECO L...	2 X 58	52.00 W	0.00 W	0.00 W	Luminaire
Apparecchio SA		9.50 W	1.20 W	1.25 W	Luminaire+Emergency
barrisol LED	25 W	25.00 W	0.00 W	0.00 W	Luminaire
EGLO - GITA 2	94712	8.30 W	0.00 W	0.00 W	Luminaire
LENS PANEL LED	4 X 18	35.00 W	0.00 W	0.00 W	Luminaire
Philips TL-D 3...	fluorescente (t...	36.00 W	0.00 W	0.00 W	Luminaire
rilevatore infra...		0.45 W	0.10 W	0.00 W	Control

Figura 68 – Apparecchi illuminazione in uso al “Brancaccio”, LENICALC

Si consulti la sezione “ALLEGATI B” per la disposizione degli apparecchi di illuminazione nei diversi ambienti della casa di riposo.

Nelle figure 69/70/71/72 si riporta il modello del caso studio sviluppato su LENICALC per ogni livello (Verde = “ROOM”, marrone = “ZONE”; blu = “WINDOW”).

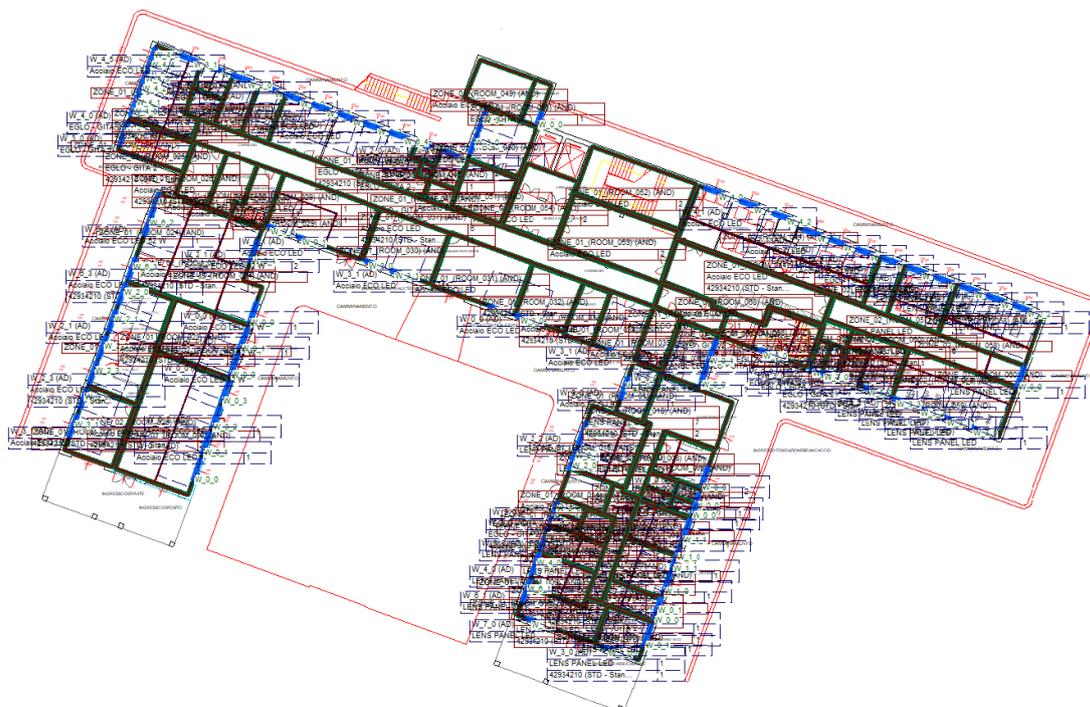


Figura 69 – Piano terra, LENICALC

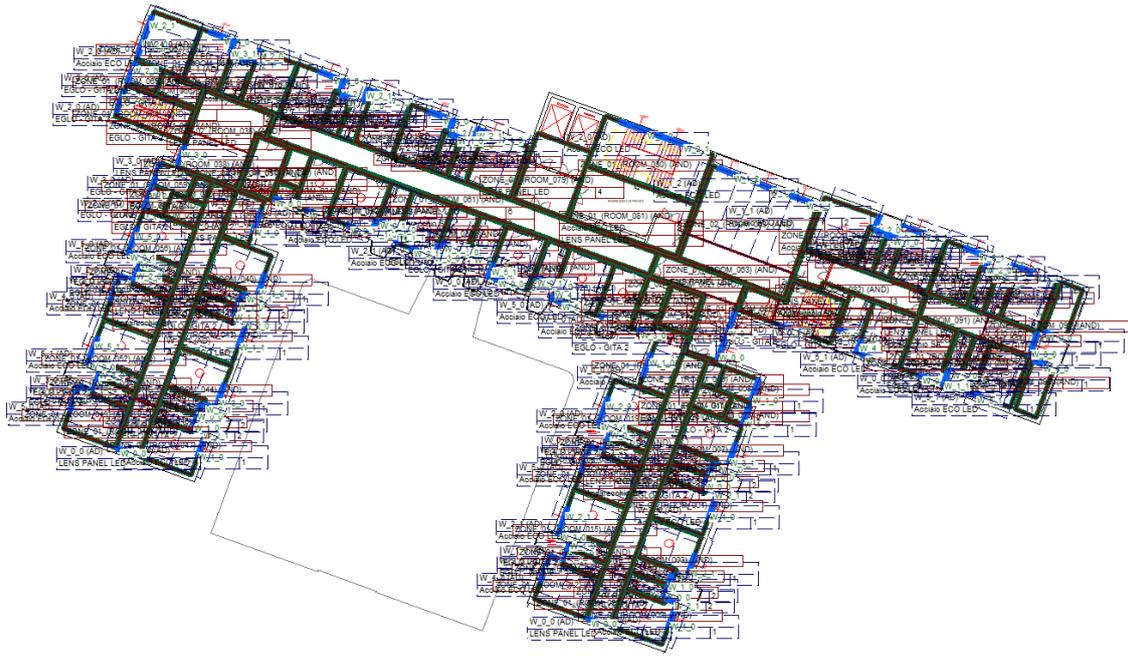


Figura 70 – Piano rialzato, LENICALC

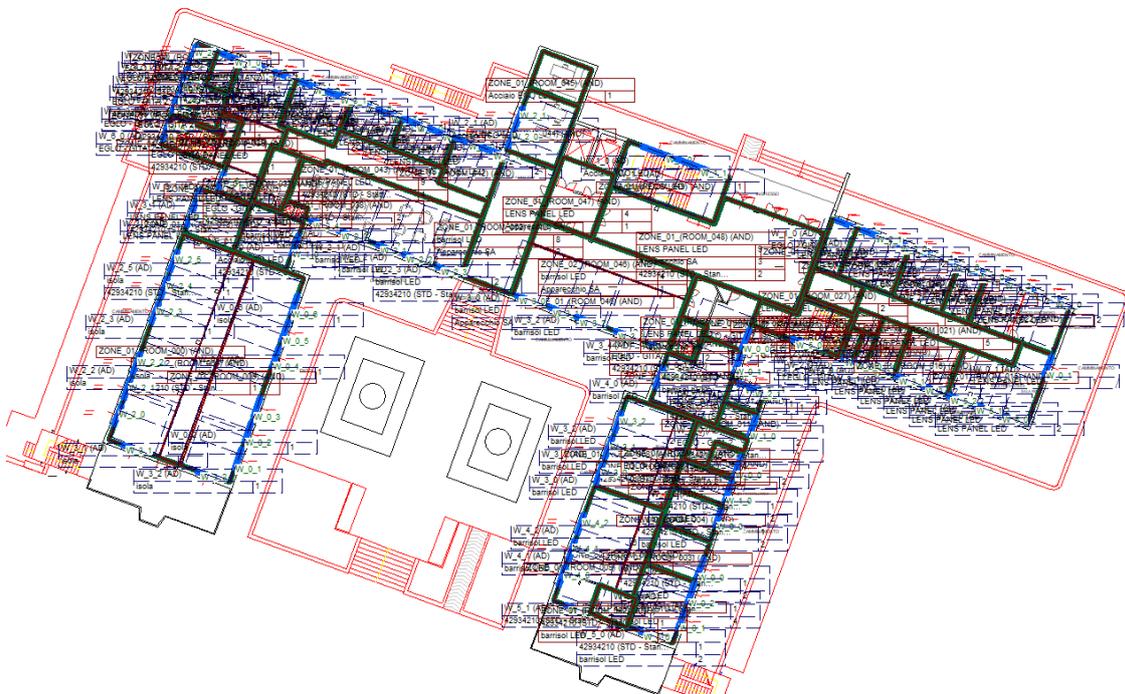


Figura 71 – Piano primo-secondo, LENICALC

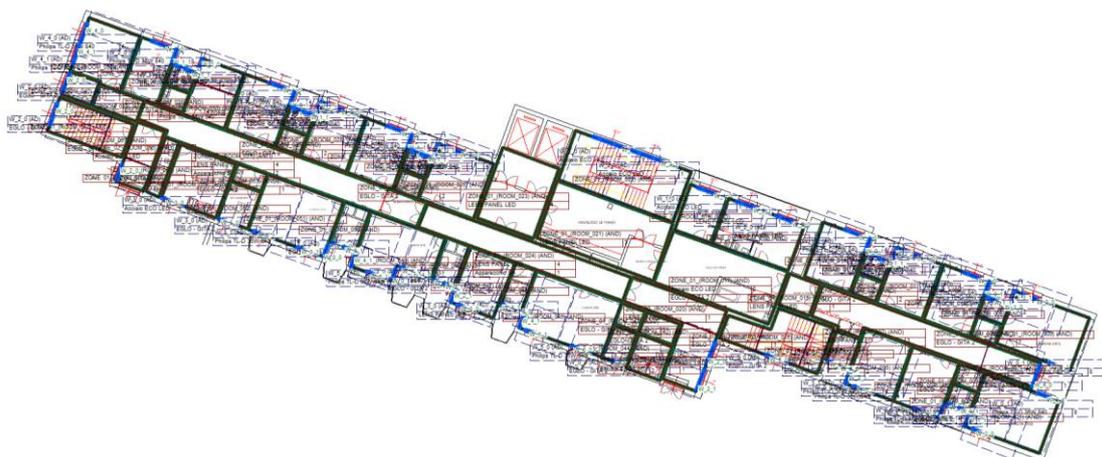


Figura 72 – Piano terzo, LENICALC

Il software restituisce i valori relativi al fabbisogno di energia per l’illuminazione, calcolando:

- il LENI di edificio (“Building Calculation”);
- l’energia specifica mensile dell’edificio;
- il LENIsub del piano (“Floor Calculation”);
- l’energia specifica mensile del piano;
- il LENIsub della stanza (“Room Energy Calculation”);
- l’energia specifica mensile della stanza.

I risultati ottenuti, per il caso studio in esame, sono riportati nelle tabelle seguenti.

	Installed power [W]	Building area [m²]	Annual building energy [kWh]	LENI [kWh/m² year]
Edificio	24522,10	6494,5	83879	12,92

Tabella 47 – LENI dell’edificio

Building monthly specific energy [kWh/m² month]					
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu
1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	1,05
Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1,06	1,06	1,07	1,09	1,11	1,13

Tabella 48 – Energia specifica mensile dell'edificio

	Installed power [W]	Floor area [m²]	Annual floor energy [kWh]	LENsub [kWh/m² year]
Piano terra	4939,80	1478	20440	13,83
Piano rialzato	5707,10	1470	16967	11,54
Piano primo	3667,50	1340	9951	7,43
Piano secondo	3667,50	1340	9951	7,43
Piano terzo	6540,20	866	26568	30,68

Tabella 49 – LENsub del piano

Floor monthly specific energy [kWh/m² month]					
	Piano terra	Piano rialzato	Primo piano	Secondo piano	Terzo piano
Gennaio	1,17	0,99	0,63	0,63	2,61
Febbraio	1,16	0,97	0,62	0,62	2,57
Marzo	1,15	0,95	0,61	0,61	2,54
Aprile	1,14	0,94	0,61	0,61	2,52
Maggio	1,14	0,94	0,60	0,60	2,50
Giugno	1,13	0,94	0,60	0,60	2,50
Luglio	1,14	0,94	0,61	0,61	2,51
Agosto	1,14	0,95	0,61	0,61	2,52
Settembre	1,15	0,96	0,62	0,62	2,55
Ottobre	1,16	0,97	0,62	0,62	2,58
Novembre	1,18	0,99	0,64	0,64	2,63
Dicembre	1,19	1,02	0,65	0,65	2,68

Tabella 50 – Energia specifica mensile del piano

Dall'analisi dei risultati è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- il valore del LENI_{sub} relativo al terzo piano è di molto superiore rispetto a quello degli altri livelli; questo è dovuto a una maggiore potenza installata per unità di superficie, riconducibile all'utilizzo di sorgenti fluorescenti.
- l'energia specifica mensile raggiunge i valori più elevati (in rosso) nel mese di dicembre e i valori più bassi (in verde) nel mese di giugno, corrispondenti ai periodi dell'anno con minore e maggiore disponibilità di luce naturale.

I valori di LENI_{sub} e di energia specifica mensile delle 382 stanze non sono riportati (per motivi di sintesi) ma, come già detto, costituiscono il punto di partenza per il calcolo degli apporti di calore interni legati al sistema di illuminazione.

4.2.6. Risultati del calcolo

Nel paragrafo 4.2 è stata illustrata la metodologia di calcolo proposta per valutare gli apporti interni per l'illuminazione. Nella presente sezione sono invece mostrati i risultati di tale calcolo.

Nelle Tabelle 51/52 sono riportati, a titolo d'esempio, i passaggi numerici relativi a due stanze di degenza, situate rispettivamente al primo piano (sorgenti LED) e al terzo piano (sorgenti fluorescenti).

Partendo dall'energia specifica mensile per la singola stanza (kWh/m²), si è prima ricavata l'energia giornaliera (kWh/m²), e poi la potenza specifica giornaliera (W/m²). Gli apporti interni per l'illuminazione, rappresentando la quota di calore immessa in ambiente dagli apparecchi luminosi, sono stati ricavati assumendo una quota di calore immessa pari al 75% e al 79% della potenza specifica giornaliera, rispettivamente per sorgenti LED e sorgenti fluorescenti.

STANZA DI DEGENZA (1° PIANO)					
Mesi	N° giorni	Monthly specific energy [kWh/m²]	Daily specific energy [kWh/m²]	Electric power [W/m²]	ϕ_{int, ill.} [W/m²]
Gen.	31	0,37	0,012	0,497	0,373
Feb.	28	0,36	0,013	0,536	0,402
Mar.	31	0,35	0,011	0,470	0,353
Apr.	30	0,34	0,011	0,472	0,354
Mag.	31	0,33	0,011	0,444	0,333
Giu.	30	0,33	0,011	0,458	0,344
Lug.	31	0,34	0,011	0,457	0,343
Ago.	31	0,34	0,011	0,457	0,343
Set.	30	0,35	0,012	0,486	0,365
Ott.	31	0,36	0,012	0,484	0,363
Nov.	30	0,38	0,013	0,528	0,396
Dic.	31	0,39	0,013	0,524	0,393

Tabella 51 – Calcolo degli apporti interni per l’illuminazione

STANZA DI DEGENZA (3° PIANO)					
Mesi	N° giorni	Monthly specific energy [kWh/m²]	Daily specific energy [kWh/m²]	Electric power [W/m²]	ϕ_{int, ill.} [W/m²]
Gen.	31	4,42	0,143	5,941	4,693
Feb.	28	4,39	0,157	6,533	5,161
Mar.	31	4,37	0,141	5,874	4,640
Apr.	30	4,36	0,145	6,056	4,784
Mag.	31	4,35	0,140	5,847	4,619
Giu.	30	4,34	0,145	6,028	4,762
Lug.	31	4,35	0,140	5,847	4,619
Ago.	31	4,36	0,141	5,860	4,629
Set.	30	4,37	0,146	6,069	4,794
Ott.	31	4,4	0,142	5,914	4,672
Nov.	30	4,43	0,148	6,153	4,861
Dic.	31	4,46	0,144	5,995	4,736

Tabella 52 – Calcolo degli apporti interni per l’illuminazione

In Tabella 53 sono riportati i valori di $\phi_{int, ill.}$ (W/m^2), relativi alle zone termiche individuate nel caso studio. Si sono quindi sommati, per ogni zona termica, i valori di potenza specifica giornaliera delle singole stanze e si sono poi calcolati i rispettivi valori degli apporti interni legati al sistema di illuminazione.

$\phi_{int, illuminazione}$ [W/m^2]				
	Degenza-Servizi	Fondazione	Associazione	Palestra
Gennaio	0,810	1,256	2,204	1,218
Febbraio	0,884	1,374	2,420	1,332
Marzo	0,789	1,230	2,172	1,192
Aprile	0,809	1,265	2,233	1,226
Maggio	0,778	1,219	2,153	1,182
Giugno	0,803	1,258	2,225	1,221
Luglio	0,779	1,219	2,155	1,182
Agosto	0,783	1,225	2,163	1,187
Settembre	0,816	1,275	2,245	1,233
Ottobre	0,801	1,245	2,191	1,207
Novembre	0,841	1,301	2,287	1,263
Dicembre	0,829	1,279	2,237	1,242
Media	0,810	1,262	2,224	1,224

	Direzione	Centro polif.	Uffici Sicomoro	Piano tre
Gennaio	0,725	0,853	0,874	2,771
Febbraio	0,779	0,918	0,935	3,021
Marzo	0,689	0,809	0,823	2,695
Aprile	0,700	0,826	0,835	2,762
Maggio	0,668	0,792	0,800	2,659
Giugno	0,689	0,816	0,823	2,743
Luglio	0,670	0,792	0,801	2,662
Agosto	0,679	0,801	0,811	2,677
Settembre	0,716	0,843	0,854	2,792
Ottobre	0,709	0,835	0,851	2,739
Novembre	0,763	0,889	0,912	2,687
Dicembre	0,757	0,891	0,921	2,654
Media	0,712	0,839	0,853	2,739

Tabella 53 – Apporti interni per l'illuminazione per zona termica

4.2.7. Apporti interni totali

Noti i valori degli apporti interni per l'occupazione e le apparecchiature elettriche (Tabella 38) e quelli per l'illuminazione (Tabella 53), è infine possibile ricavare i valori totali degli apporti di calore interni. In Tabella 54 è riportato il valore medio giornaliero per ogni zona termica.

Zona Termica	$\phi_{\text{int, tot}}$ [W/m²] (valore medio)
Degenza-Servizi	5,652
Fondazione	5,895
Associazione	7,925
Palestra	4,540
Direzione	4,955
Centro polif.	4,269
Uffici Sicomoro	7,208
Piano tre	8,987
Media (pesata sui m²)	6,105

Tabella 54 – Apporti di calore totali per zona termica

Mentre i valori degli apporti di calore per la presenza di persone e per le apparecchiature elettriche sono considerati costanti durante tutto l'anno (casa di riposo in funzione 365 giorni), quelli per l'illuminazione, dipendendo dal LENI e quindi dalla disponibilità di luce naturale, variano di mese in mese. Di conseguenza i valori riportati in Tabella 54 sono da intendersi come valori medi tra i diversi mesi dell'anno.

Nelle Figure 73/74 sono quindi mostrate le variazioni mensili degli apporti di calore interni.

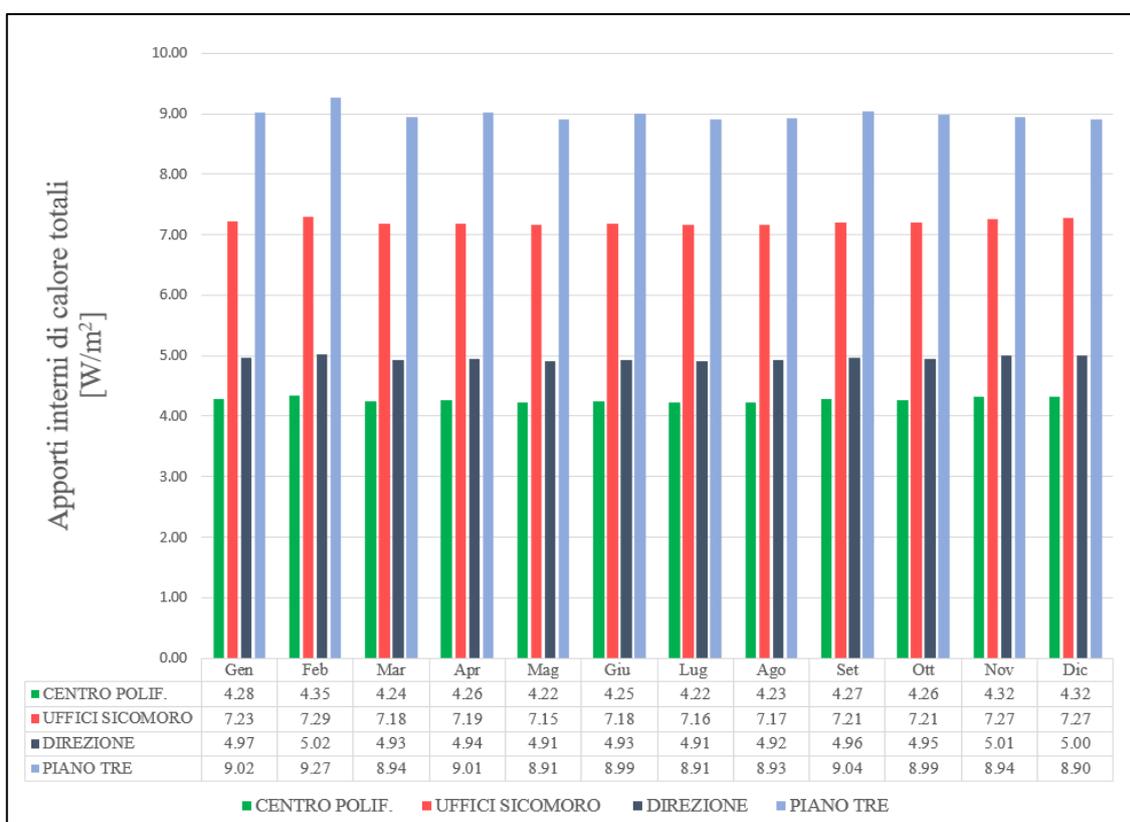
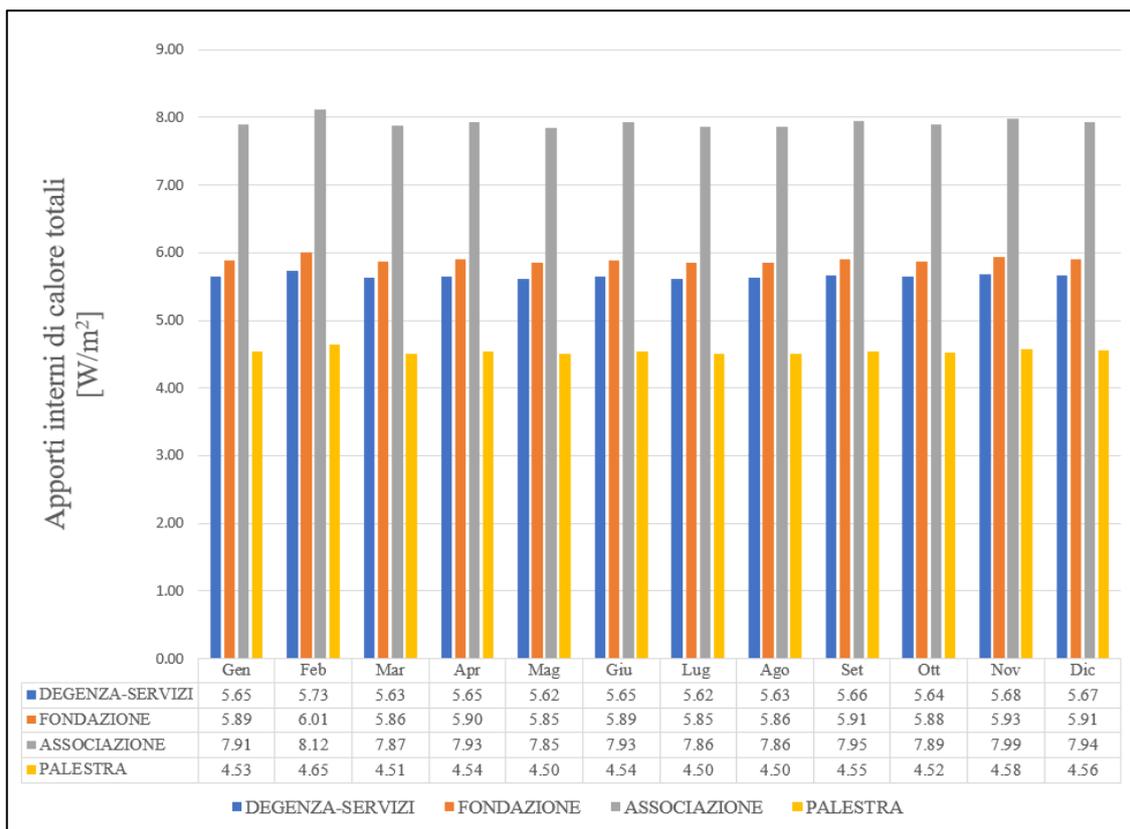


Figura 73/74 – Variazioni mensili degli apporti interni

Si è inoltre calcolata la variazione percentuale tra il valore mensile massimo degli apporti interni e il valore mensile minimo, attraverso la formula:

$$\left[(\phi(max) - \phi(min)) / \phi(medio) \right] \cdot 100$$

Zona Termica	$\Delta \% [\phi_{max}, \phi_{min}]$
Degenza-Servizi	1,86
Fondazione	2,63
Associazione	3,37
Palestra	3,31
Direzione	2,24
Centro polif.	2,95
Uffici Sicomoro	1,87
Piano tre	4,08

Tabella 55 – Variazione percentuale massima degli apporti interni

I valori mensili più elevati degli apporti interni si raggiungono durante la stagione invernale, mentre i valori più bassi si hanno in corrispondenza dei mesi estivi. Tali risultati sono infatti coerenti con la variazione mensile dell'indice LENI.

La variazione massima tra il valore mensile più alto e quello più basso è di circa il 4%. Questo risultato è significativo del fatto che l'utilizzo di un valore medio annuale costante (UNI/TS 11300-1), non tenendo conto delle variazioni mensili degli apporti di calore interni, non può rappresentare al meglio il comportamento energetico-dinamico di un edificio.

4.3. Confronto tra le procedure

In Tabella 56 sono riportati i valori degli apporti interni di calore totali, calcolati rispettivamente mediante:

- procedura standard → valutazione degli apporti interni attraverso un valore medio annuale costante in relazione alla destinazione d'uso degli ambienti (UNI/TS 11300-1 prospetto E.3);
- procedura proposta → calcolo mensile degli apporti di calore interni, valutando il contributo degli apporti di calore per l'illuminazione sulla base dell'indice LENI (Figura 63).

Apporti interni di calore totali [W/m ²]			
Zona Termica		UNI/TS 11300-1	Procedura proposta (ϕ_{\min} - ϕ_{\max})
Degenza-Servizi	8	(case di cura e assimilabili)	5,62 – 5,73
Fondazione	6	(uffici e assimilabili)	5,85 – 6,01
Associazione	8	(attività ricreative)	7,85 – 8,12
Palestra	5	(palestre e assimilabili)	4,50 – 4,65
Direzione	6	(uffici e assimilabili)	4,91 – 5,02
Centro polif.	6	(uffici e assimilabili)	4,22 – 4,35
Uffici Sicomoro	6	(uffici e assimilabili)	7,15 – 7,29
Piano tre	8	(case di cura e assimilabili)	8,90 – 9,27
Media (pesata sui m²)	7,7		6,06 – 6,21

Tabella 56 – Confronto tra procedure

Le evidenti differenze tra i risultati sono riconducibili perlopiù alla quota degli apporti interni per l'illuminazione artificiale: la potenza installata per unità di superficie è, come detto, molto bassa e di conseguenza lo è anche la quota di calore immessa in ambiente dagli apparecchi di illuminazione.

Per la casa di riposo “Branaccio” la normativa sovrastima quindi gli apporti interni totali rispetto alla procedura proposta. Questo è vero per l'intero edificio ma se si considerassero, ad esempio, solamente le zone termiche “Uffici Sicomoro” e “Piano tre”, la situazione sarebbe decisamente diversa. Da ciò nasce l'esigenza di valutare gli apporti di calore interni per l'illuminazione in maniera precisa e per ogni ambiente, in relazione alle reali caratteristiche dell'impianto e alla diversa disponibilità di luce naturale.

Capitolo 5

Indici di prestazione energetica

La classe energetica degli edifici è valutata in termini di energia primaria non rinnovabile attraverso l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$ (capitolo 1, paragrafo 1.1). Tale indice, espresso in $kWh/(m^2\text{anno})$, tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale ed estiva ($EP_{H,nren}$ ed $EP_{C,nren}$), per la produzione di acqua calda sanitaria ($EP_{W,nren}$), per la ventilazione ($EP_{V,nren}$), per il trasporto di persone o cose ($EP_{T,nren}$) e, nel caso del settore non residenziale, per l'illuminazione artificiale ($EP_{L,nren}$).

5.1. Calcolo degli indici di prestazione e confronto tra le procedure

Il calcolo degli indicatori di prestazione energetica, per la casa di riposo “Brancaccio”, è stato eseguito valutando gli apporti interni sia secondo l'approccio normativo che secondo la metodologia proposta. In particolare sono stati analizzati i due casi mostrati in Figura 75:

A) Intero edificio, con apporti interni di calore totali pari a:

- $6,06 \leq \phi_{int} \leq 6,21 \text{ W/m}^2$ – da procedura proposta (Figura 73/74);
- $7,7 \text{ W/m}^2$ – da normativa tecnica UNI/TS 11300-1, prospetto E.3 (6 W/m^2 per gli ambienti adibiti a ufficio e 8 W/m^2 per gli ambienti adibiti a casa di riposo).

B) Terzo piano, con apporti interni di calore totali pari a:

- $8,90 \leq \phi_{int} \leq 9,27 \text{ W/m}^2$ – da procedura proposta (Figura 73/74);
- 8 W/m^2 – da normativa tecnica UNI/TS 11300-1, prospetto E.3 (il piano tre è adibito interamente a casa di riposo).

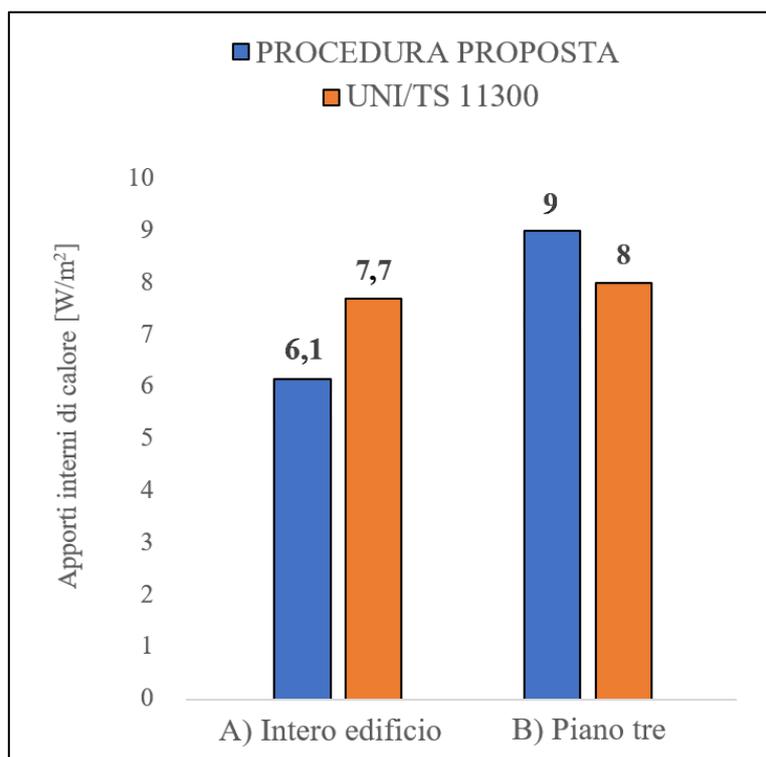


Figura 75 – Apporti interni utilizzati per il calcolo degli indici di prestazione energetica

Il calcolo degli indici di prestazione, in termini di energia primaria non rinnovabile, è stato quindi effettuato su base annuale e, per la procedura proposta, anche su base mensile. Le differenze riscontrate tra le due metodologie riguardano i fabbisogni di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale ed estiva (EPH,nren ed EPC,nren), contribuiti che dipendono dal valore degli apporti di calore interni. L'indice di prestazione energetica non rinnovabile per l'illuminazione è stato calcolato, in entrambi i casi, moltiplicando il valore dell'indice LENI per il fattore di conversione da energia elettrica a energia primaria non rinnovabile (capitolo 1, paragrafo 1.1). Il valore di EPL,nren è quindi molto diverso nei due casi considerati perché dipende dalle diverse caratteristiche dei sistemi di illuminazione installati.

In Figura 76/77 sono riportati i valori annuali del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile rispettivamente per i servizi di riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria e illuminazione, nonché il valore dell'indice di prestazione EPgl,nren (sono stati considerati anche i fabbisogni di energia per il trasporto e la ventilazione, sebbene non graficati).

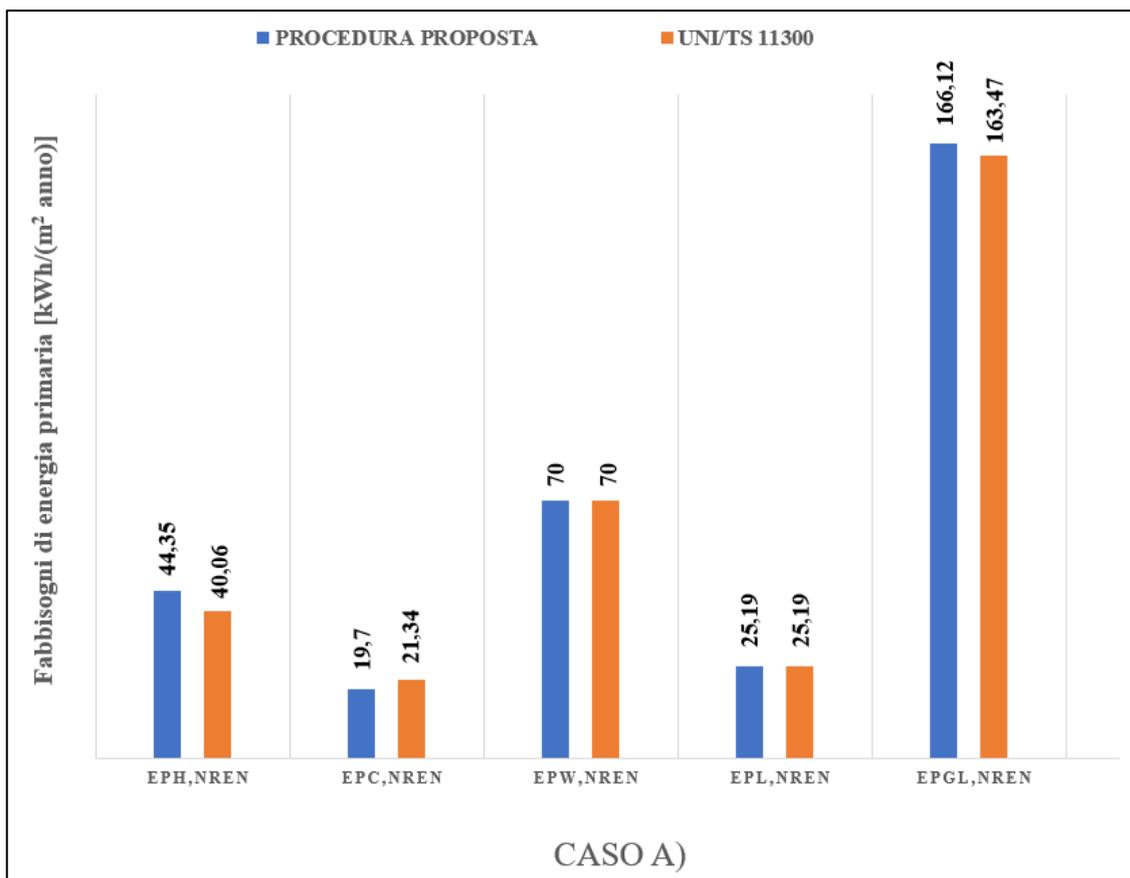


Figura 76 – Indici di prestazione energetica

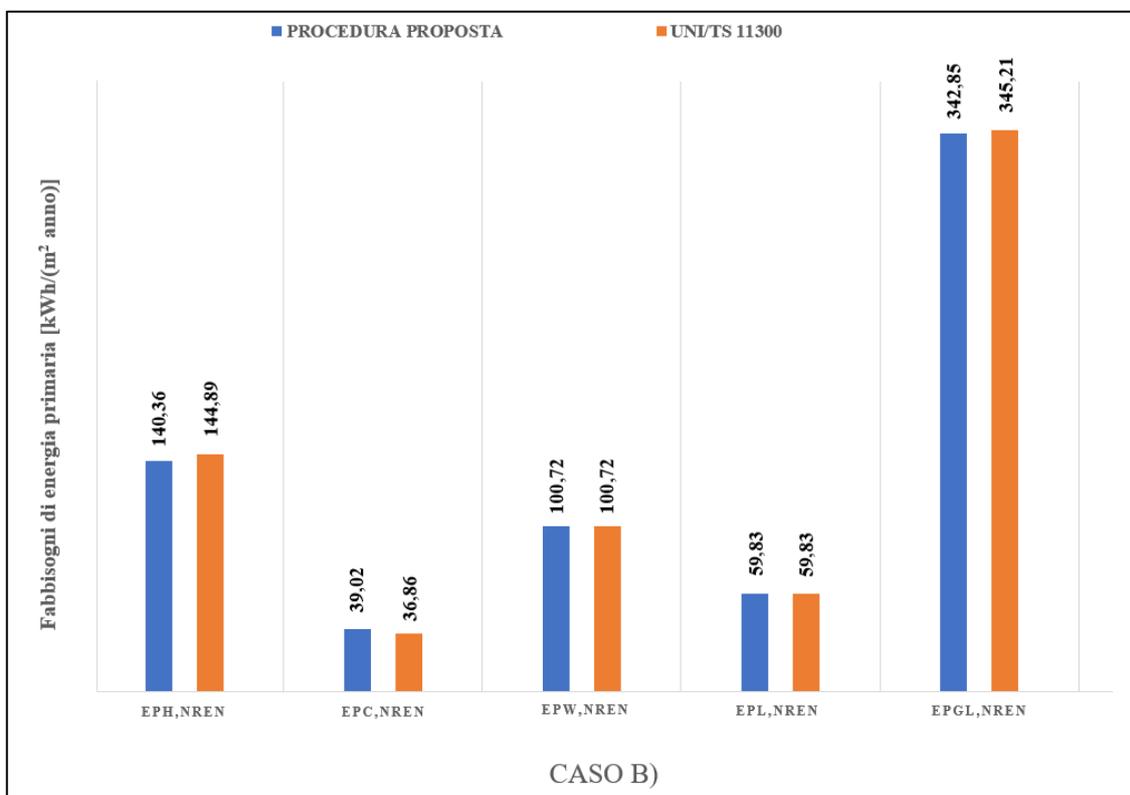


Figura 77 – Indici di prestazione energetica

L'utilizzo dell'approccio normativo comporta quindi differenze, sia in termini del consumo globale che dei singoli servizi, rispetto alla procedura proposta. In particolare:

- Nel caso A) maggiori apporti di calore (approccio normativo) significa avere un EPH,nren minore (40,06 contro 44,35), un EPC,nren maggiore (21,34 contro 19,7) e complessivamente un EPGL,nren leggermente inferiore (163,47 contro 166,12).
- Nel caso B), in cui la normativa sottostima gli apporti interni di calore, si avrà invece un EPH,nren maggiore (144,89 contro 140,36), un EPC,nren minore (36,86 contro 39,02) e complessivamente un EPGL,nren leggermente maggiore (345,21 contro 342,85).

La procedura proposta consente di calcolare con esattezza il valore degli apporti di calore interni e di valutare la loro influenza sulle variazioni mensili degli indici di prestazione energetica. In Tabella 57 sono infatti rappresentate le variazioni mensili degli indici di prestazione relativi alla climatizzazione estiva ed invernale (kWh/m²).

	EPH,nren		EPC,nren	
	CASE A)	CASE B)	CASE A)	CASE B)
Gen.	11,29	32,26	0	0
Feb.	10,13	29,66	0	0
Mar.	5,44	21,77	0	0
Apr.	0,85	4,59	0	0
Mag.	0	0	0,22	0,20
Giu.	0	0	2,89	4,26
Lug.	0	0	7,61	16,84
Ago	0	0	7,53	15,85
Set.	0	0	1,45	1,86
Ott.	0	0	0	0
Nov.	4,65	18,36	0	0
Dic.	11,99	33,72	0	0
TOT.	44,35	140,36	19,70	39,02

Tabella 57 – Valori mensili degli indici prestazionali per la climatizzazione invernale ed estiva

La maggiore potenza installata nel terzo piano per l'illuminazione artificiale, riconducibile all'utilizzo di sorgenti fluorescenti, determina un maggiore contributo di energia termica in ambiente rispetto al caso A. Questo si traduce in una diminuzione di energia consumata, nel periodo invernale, per il riscaldamento e un maggior consumo di energia per il raffrescamento estivo.

I grafici in Figura 78/79 rispecchiano questo andamento: Nel caso A), nei mesi di Dicembre e Gennaio (mesi con minore disponibilità di luce naturale e maggiori apporti interni per l'illuminazione) si hanno valori mensili di $EP_{H,nren}$ proporzionalmente più elevati rispetto a quelli del caso B), mentre nei mesi di Luglio e Agosto, i valori di $EP_{C,nren}$ per il caso A) sono proporzionalmente inferiori rispetto a quelli calcolati per il secondo caso.

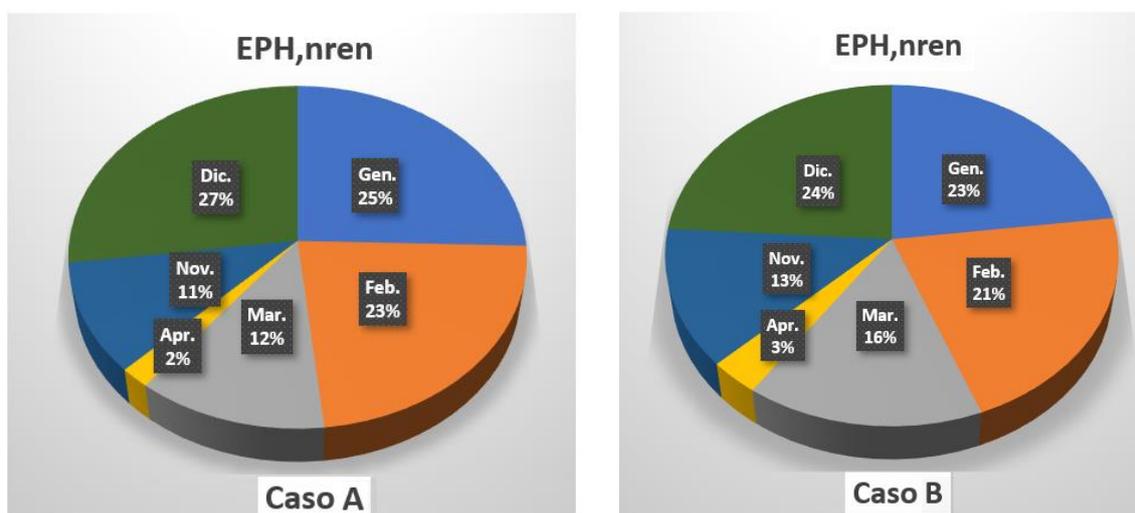


Figura 78 – Valori % mensili degli indici di prestazione per la climatizzazione invernale

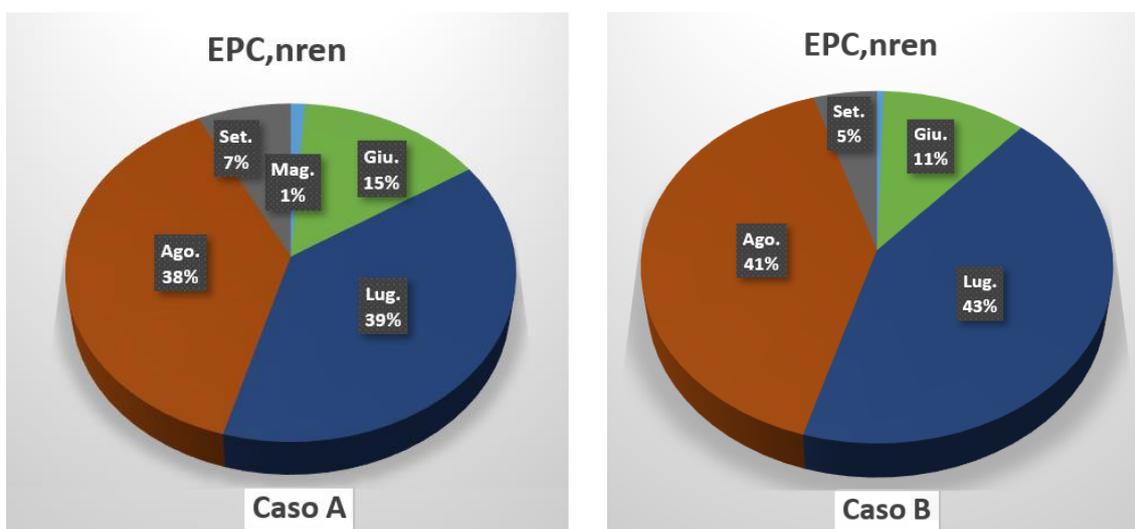


Figura 79 – Valori % mensili degli indici di prestazione per la climatizzazione estiva

Maggiori consumi per l'illuminazione (caso B) vuol dire sì avere un EP_L maggiore ma anche maggiori apporti interni, e quindi un EP_H minore e un EP_C maggiore. Ne consegue che, gli andamenti mensili degli indici di prestazione per la climatizzazione estiva ed invernale sono influenzati in maniera rilevante dalla quota degli apporti di calore interni e quindi dalle variazioni mensili dell'indice LENI e dell'indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

A differenza della procedura proposta, l'utilizzo di un valore medio annuale costante per gli apporti di calore interni, non considerando le variazioni mensili, non tiene conto delle numerose dinamiche di mutua influenza tra i fabbisogni di energia per l'illuminazione e per la climatizzazione invernale ed estiva.

5.2. Calibrazione del modello TERMOLOG

Noti i valori degli apporti di calore interni è possibile proseguire con la diagnosi energetica del caso studio. Dopo aver indicato le condizioni reali di utilizzo dell'edificio (capitolo 3, paragrafo 3.7) si prosegue con la calibrazione del sistema edificio – impianto. I passaggi successivi, ovvero la ricerca di soluzioni per il miglioramento energetico e la conseguente analisi economica delle spese di conduzione degli impianti, non saranno trattati nel presente elaborato.

La calibrazione è la validazione del modello energetico attraverso il confronto tra i consumi operativi e quelli effettivi, ricavati a partire dalle bollette. La simulazione del sistema edificio-impianto, in fase di validazione, deve riferirsi infatti alle condizioni termoigrometriche reali e agli effettivi profili di utilizzo.

Affinché si possa ritenere accettabile, lo scostamento tra i consumi operativi e i consumi effettivi deve essere al massimo del +/- 5%. A tale fine Termolog introduce l'indice di calibrazione k, ovvero lo scostamento percentuale che consente di “tarare” il modello di calcolo, cioè di avvicinare quanto più possibile le condizioni teoriche del combustibile in oggetto con quelle effettive.

Per la casa di riposo “Branaccio” la calibrazione del modello è stata effettuata sulla base dei consumi di gas metano. In particolare si sono confrontati i consumi operativi del modello standard, ottenuti calcolando gli apporti di calore interni secondo i due approcci, con i consumi effettivi in bolletta.

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati della calibrazione rispettivamente nel caso della procedura proposta (Figura 80) e dell'approccio normativo (Figura 81).

Metano

	Um	Condizioni operative (modello)	Condizioni effettive (bollette)	Indice k di calibrazione
Consumo H	m ³	18.933,70	19.963,57	-5,16 %
Consumo W	m ³	45.026,20	45.490,76	-1,02 %
Consumo	m ³	63.959,90	65.454,33	-2,28 %

Figura 80 – Confronto dei consumi di gas metano (procedura proposta), TERMOLOG

Metano

	Um	Condizioni operative (modello)	Condizioni effettive (bollette)	Indice k di calibrazione
Consumo H	m ³	16.748,16	19.963,57	-16,11 %
Consumo W	m ³	45.046,36	45.490,76	-0,98 %
Consumo	m ³	61.794,52	65.454,33	-5,59 %

Figura 81 – Confronto consumi di gas metano (UNI/TS 11300-1), TERMOLOG

Se si valutano gli apporti di calore con l'approccio normativo lo scostamento tra i consumi operativi e i consumi effettivi è maggiore del 5% e di conseguenza il modello non risulta tarato correttamente. Viceversa, valutando gli apporti interni di calore con la procedura proposta lo scostamento è di circa il 2%, valore che definisce una buona calibrazione del modello.

Stesso risultato si ottiene effettuando il confronto in relazione al consumo di energia elettrica per la climatizzazione estiva (Figura 82). Nel caso della procedura proposta per la valutazione degli apporti interni, il consumo del modello standard si avvicina molto a quello effettivo, con uno scostamento del 3,5%. Utilizzando invece l'approccio normativo il valore dell'indice k è pari al 12% e la differenza tra i consumi non è più trascurabile.

Energia elettrica (procedura proposta)

	Um	Condizioni operative (modello)	Condizioni effettive (bollette)	Indice k di calibrazione
Consumo C	kWh	65.625,78	63.428,36	3,46 %

Energia elettrica (UNI/TS 11300-1)

	Um	Condizioni operative (modello)	Condizioni effettive (bollette)	Indice k di calibrazione
Consumo C	kWh	71.062,97	63.428,36	12,04 %

Figura 82 – Confronto tra i consumi di energia elettrica per la climatizzazione estiva

Il risultato ottenuto è quindi un'ulteriore conferma di quanto sia importante valutare correttamente gli apporti di calore interni per avvicinarsi il più possibile alle reali condizioni di utilizzo dell'edificio e stimarne i consumi energetici.

Nella sezione Termolog "risultati della calibrazione" sono disponibili i dettagli di calcolo: è possibile indagare tra i fabbisogni di energia termica dell'involucro e di energia primaria dell'impianto sia in condizioni standard che tailored. Se il modello non è calibrato correttamente, in questa sede è possibile capire dove agire per modificare e migliorare le condizioni adattate all'utenza.

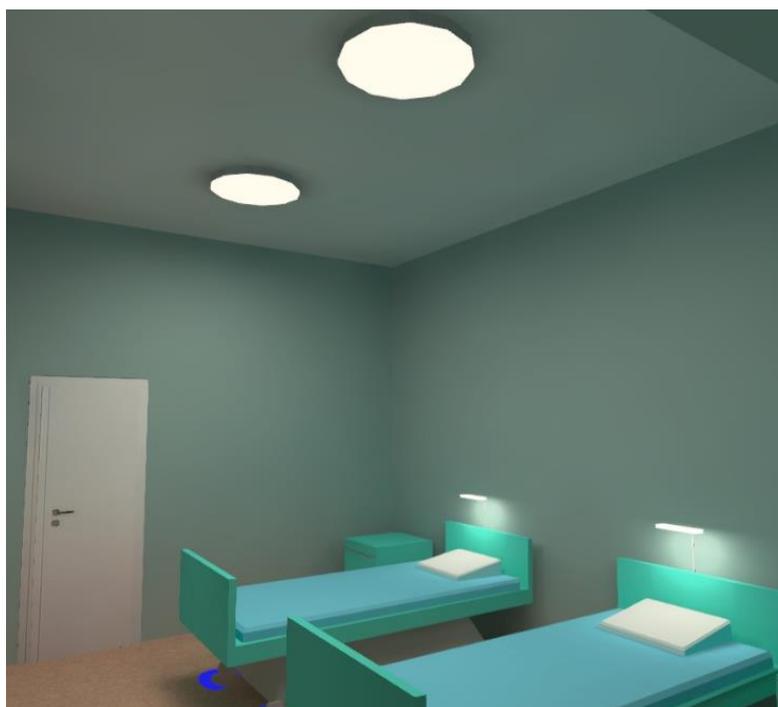
Approfondimento

È opportuno sottolineare che i risultati ottenuti sono specifici per il caso studio in esame, in cui la bassa potenza installata per l'illuminazione influisce sul valore finale degli apporti di calore interni. Si è quindi deciso di svolgere un'ulteriore analisi su una singola stanza di degenza, dimensionata in maniera tale da garantire un illuminamento medio di circa 300 lux. In Tabella 58 si riportano i valori di illuminamento medio normativi per una stanza di degenza (UNI EN 12464-1) in funzione del compito visivo svolto.

Type of area, task or activity	Em [lux]
General lighting	100 (at floor level)
Reading lighting	300
Simple examinations	300
Examination and treatment	1000

Tabella 58 – Valori di illuminamento medio per le stanze di degenza (UNI EN 12464-1)

In particolare si è considerata la presenza di sorgenti LED, con potenza totale installata pari a 101 W (Figura 83). L' illuminamento medio, calcolato con il software Dialux evo, è pari a 340 lux, valore in linea con i requisiti di confort visivo e luminoso richiesti (Figura 84).



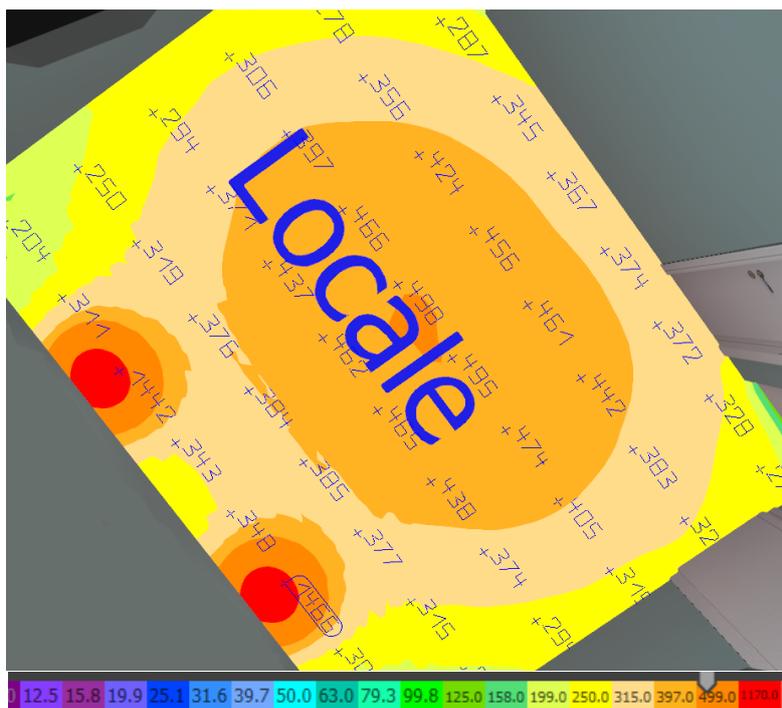


Figura 83/84 – Valori di illuminamento nelle camere

In Figura 85 è riportato il confronto tra i valori mensili degli apporti interni totali per una stanza di degenza nei seguenti casi:

	Area [m ²]	Pot. installata [W]	Illuminamento [lux]	Tecnologia	LENISub [kWh/m ² a]
Degenza 1)	15,5	101	340	LED	23,42
Degenza 2)	15,5	35	130	LED	4,23

Tabella 59

I valori mensili degli apporti interni sono stati calcolati utilizzando la procedura proposta nel capitolo 4, sommando quindi agli apporti per l’occupazione e le apparecchiature elettriche il valore degli apporti interni per l’illuminazione artificiale, calcolati sulla base dell’indice LENI.

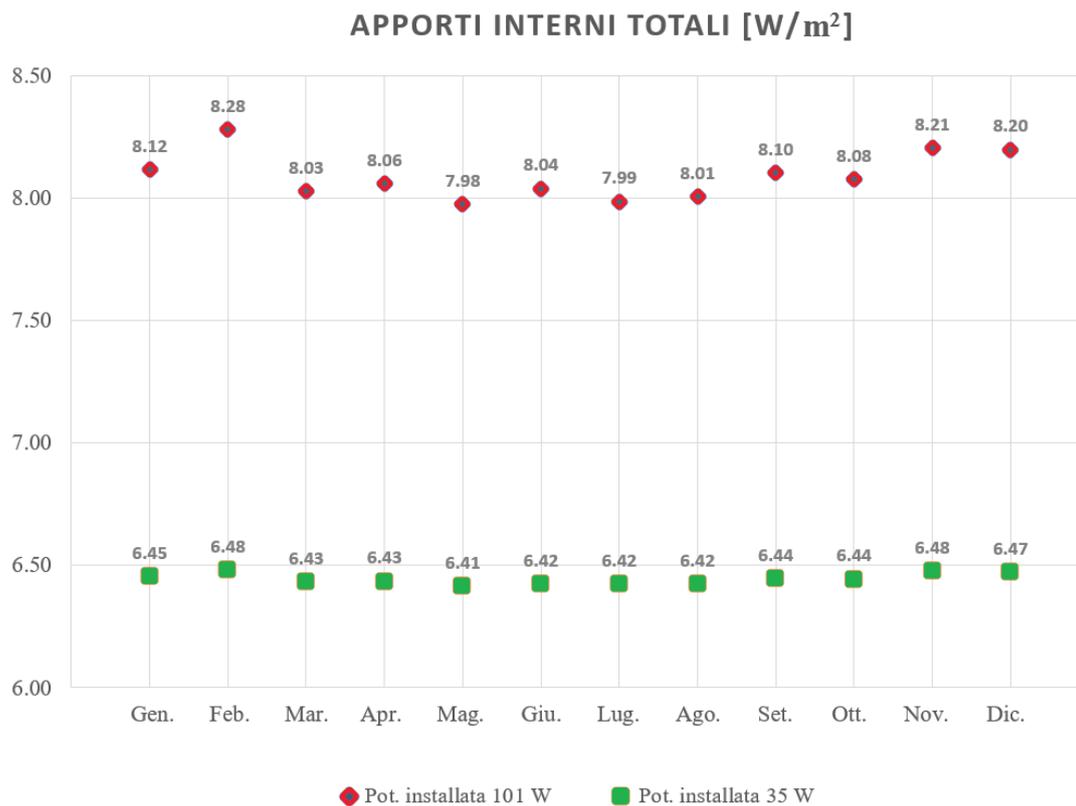


Figura 85 – Variazione mensile degli apporti interni

Una maggiore potenza installata significa maggiori apporti interni per l'illuminazione e conseguentemente maggiori apporti interni totali. In entrambi i casi la somma dei valori di apporti interni per l'occupazione e per le apparecchiature vale 6,08 W/m². Il diverso contributo della quota per l'illuminazione incide in maniera rilevante sul valore totale di apporti interni, da cui dipenderanno i valori dei fabbisogni di energia per la climatizzazione invernale ed estiva.

Ricordando poi che la quota per gli apporti dovuti al sistema di illuminazione è l'unico contributo variabile (gli apporti per gli occupanti e le apparecchiature sono stati considerati costanti) si nota come la variazione massima ⁽⁵⁾ tra il valore mensile più alto e quello più basso di apporti interni è di gran lunga superiore nel caso di potenza installata più elevata (3,7% contro 1,1%).

(5) $\left[\frac{\phi(max) - \phi(min)}{\phi(medio)} \right] \cdot 100$

A questo punto si è potuta analizzare l'influenza di diversi fattori sul valore dell'indice LENI (e quindi sul valore finale degli apporti di calore interni) per la stanza di degenza con densità di potenza più elevata rispetto a quella del caso studio. In particolare si è valutato l'utilizzo di logiche di controllo e il valore degli angoli di ombreggiamento in relazione al piano di ubicazione dei locali.

L'utilizzo di logiche di controllo più o meno efficienti per i sistemi di illuminazione incide in maniera rilevante sul consumo finale di energia elettrica per l'illuminazione artificiale. Le logiche di controllo utilizzate per la casa di riposo "Brancaccio" sono di tipo manuale. Ipotizzando l'utilizzo di logiche di controllo basate sull'occupazione e sulla luce naturale, con l'installazione di sensori infrarossi e fotosensori, si è calcolato il valore di LENIsub relativo ad una singola stanza di degenza.

I risultati del calcolo, effettuato con LENICALC, sono mostrati in Tabella 60.

	Controllo occupazione	Controllo luce naturale	LENIsub [kWh/(m²anno)]
Caso 1	MANUAL ON – OFF	MANUAL	23,42
Caso 2	MANUAL ON - AUTO OFF	VIII ⁽⁶⁾ (EN 15193-1)	20,87

Tabella 60 – Calcolo del LENIsub in funzione delle logiche di controllo

L'utilizzo di logiche di controllo efficienti consente di ottenere un risparmio massimo, in termini di fabbisogno di energia annuo per l'illuminazione, pari a circa l'11%. La principale conseguenza è la riduzione, in presenza di logiche di controllo efficienti, degli apporti di calore legati al sistema di illuminazione perché minore il tempo in cui gli apparecchi resteranno in funzione (o minore il consumo energetico nel caso di dimmerazione del flusso luminoso). Diminuiscono quindi gli apporti interni (Figura 86) e varia il loro andamento mensile, con una variazione massima del 4,4% (contro 3,7% del caso 1).

(6) *Systems which are daylight-responsive and dim and switch off the electric lighting ("dimmed, no stand-by losses, no switch-on").*

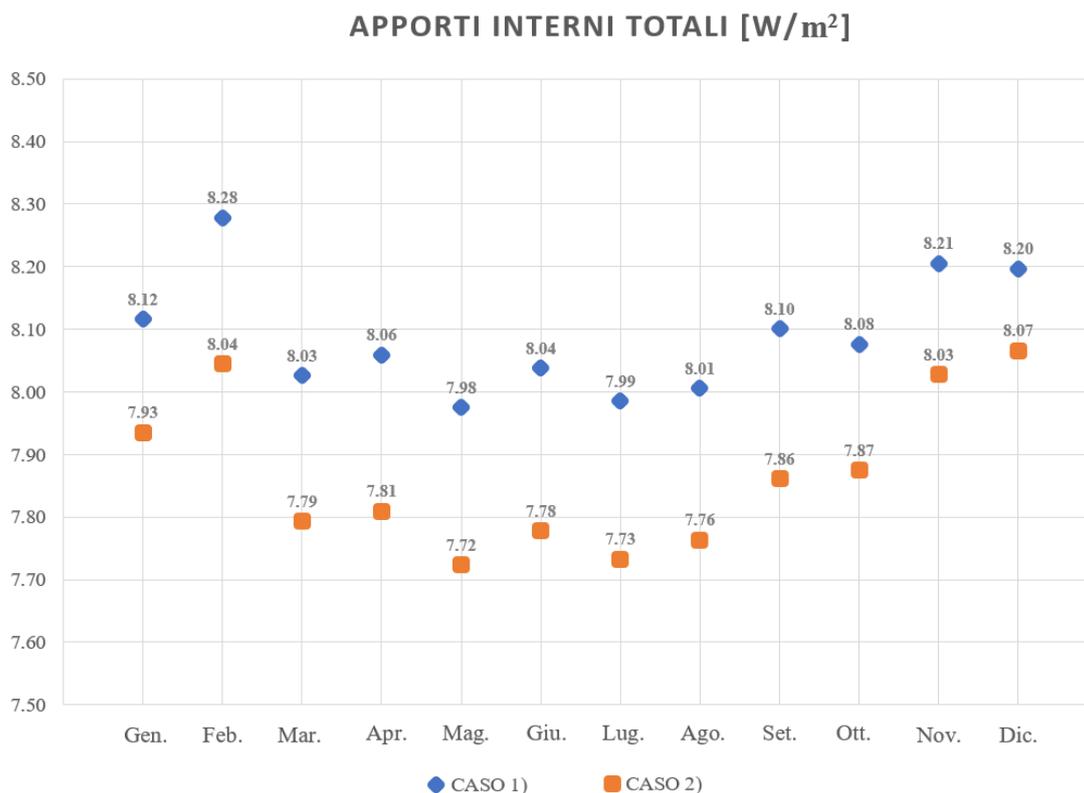


Figura 86 – Variazione mensile degli apporti interni

Nel caso 2 nonostante diminuiscano gli apporti interni, la variazione massima tra il valore mensile più alto e quello di basso aumenta: ciò è dovuto principalmente alla presenza dei fotosensori che garantiscono il controllo e la gestione della luce naturale nei diversi mesi dell'anno, ottimizzando i consumi elettrici per l'illuminazione artificiale.

Come detto, si è poi valutata l'influenza dell'ombreggiamento sul valore dell'indice LENI. In particolare si è considerata la stanza di degenza con i fotosensori (caso 2, Tabella 60) ipotizzando di far variare il valore dell'angolo di ostruzione frontale θ , dovuto alla presenza di ostacoli e/o di edifici limitrofi.

I calcoli relativi al fabbisogno di energia per l'illuminazione sono stati effettuati con il software LENICALC, inserendo nelle proprietà delle finestre i diversi valori dell'angolo. In assenza di ostruzioni frontali (valore di θ nullo) il LENI_{sub} della stanza vale 20,87 [kWh/(m² anno)]; per θ compreso tra i 20° e i 40° si arriva a valori di LENI_{sub} di poco inferiori ai 23 [kWh/(m² anno)], mentre dai 45° ai 65° il valore di LENI_{sub} cresce fino a raggiungere 27,04 [kWh/(m² anno)], valore per cui la stanza di degenza non risulta mai illuminata da luce naturale.

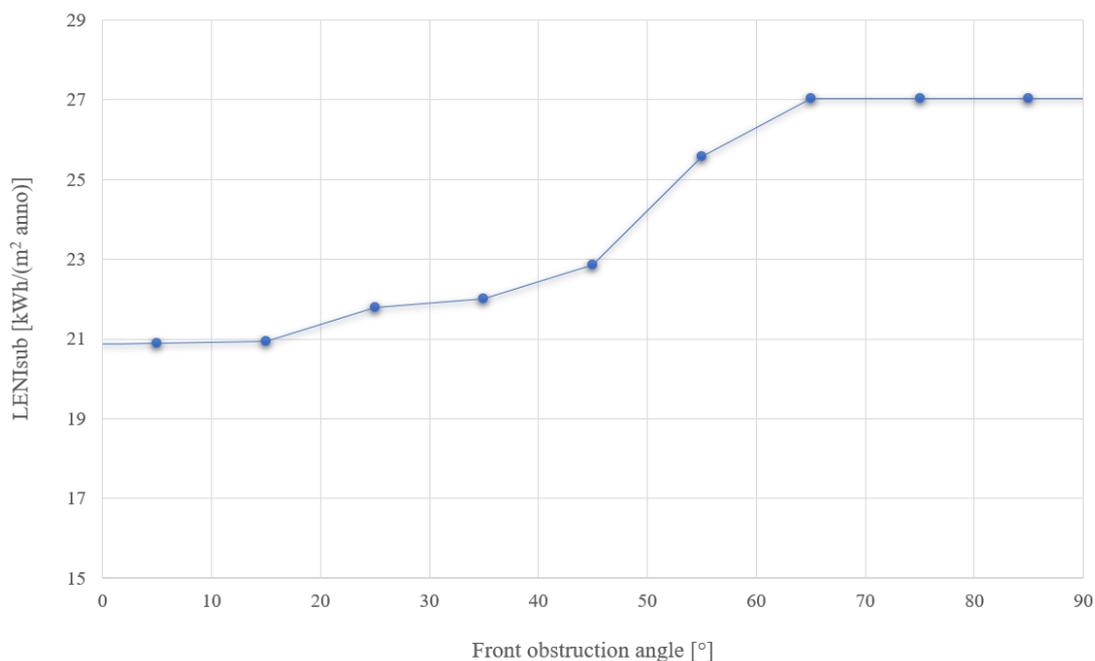


Figura 87 – Valori di $LENI_{sub}$ in funzione di θ

In realtà bisogna tener presente che i risultati in Figura 87 dipendono da un'approssimazione del metodo previsto dalla normativa UNI EN 15193-1, secondo cui l'incidenza dell'ostruzione sul consumo di energia per l'illuminazione artificiale è minima, nonostante siano considerate entrambe le componenti della luce, diretta e diffusa. Inoltre per la casa di riposo "Branaccio" i valori degli angoli di ostruzione frontale θ , difficilmente superano i 20° e di conseguenza non ci sono grandi differenze in relazione al piano di ubicazione dei locali. Al contrario, in presenza di ostacoli vicini e quindi di angoli di ostruzione elevati, il fabbisogno di energia per l'illuminazione aumenta sensibilmente (diminuisce la disponibilità di luce naturale) e di conseguenza aumenta anche la quota di apporti interni.

In ultima analisi le stesse considerazioni sopra effettuate sono state ripetute per le stanze di degenza con sorgenti luminose fluorescenti, dove la maggiore potenza installata al m^2 implica valori più elevati di apporti interni per l'illuminazione e di conseguenza anche un maggior risparmio annuo in caso di utilizzo di logiche di controllo efficienti.

6. Conclusioni

Il risultato principale di questo studio è la definizione di una procedura, basata sul Lighting Energy Numerical Indicator (LENI), per il calcolo degli apporti di calore interni dovuti al sistema di illuminazione artificiale. Questi apporti, sommati agli apporti interni dovuti agli occupanti ed alle apparecchiature elettriche, vengono poi utilizzati per il calcolo degli indicatori di prestazione energetica di un edificio. Il procedimento proposto ha il merito di tenere in considerazione fattori quali la densità di potenza installata, il tipo di controllo per l'illuminazione, il comportamento dell'utenza, nonché la disponibilità di luce naturale caratteristica del sito di progetto.

In particolare si sono confrontati gli indici di prestazione energetica per la casa di riposo "Branaccio" di Matera, ottenuti calcolando gli apporti interni sia con la procedura standard prevista dalla normativa tecnica che con la procedura proposta.

Le differenze riscontrate tra i due approcci sottolineano l'importanza di valutare correttamente gli apporti interni per l'illuminazione artificiale attraverso un bilancio energetico su base mensile. Sottostimare o sovrastimare il contributo dell'illuminazione può portare a una conseguente valutazione errata dei consumi per i singoli servizi energetici e quindi del consumo globale di un edificio. Per il caso studio in esame i valori degli apporti interni totali calcolati attraverso la procedura proposta sono inferiori rispetto a quelli valutati tramite l'approccio normativo. Conseguentemente si è notato un aumento dell'indice di prestazione per la climatizzazione invernale EPH_{nren} del 10,7%, una diminuzione dell'indice di prestazione per la climatizzazione estiva EPC_{nren} del 8,3% e complessivamente un leggero aumento (+1,6%) dell'indice di prestazione globale $EPGL_{nren}$.

La necessità di eseguire una valutazione dettagliata degli apporti di calore interni è confermata dalla validazione del modello Termolog, in cui i consumi operativi sono stati confrontati con quelli effettivi delle bollette. Valutando gli apporti di calore tramite la procedura proposta, lo scostamento tra il consumo di gas metano per la climatizzazione invernale è del 5%, mentre nel caso di utilizzo dell'approccio normativo il consumo del modello standard differisce da quello effettivo del 16%. Stesso risultato si ottiene effettuando il confronto in relazione al consumo di energia elettrica per la climatizzazione estiva (scostamento del 3,5% per la procedura proposta e del 12% per l'approccio normativo).

Nel caso di valutazione degli apporti interni secondo il metodo prescritto dalla normativa tecnica il modello non risulta tarato correttamente e le condizioni adattate all'utenza dovranno essere modificate.

Nonostante le differenze riscontrate, la casa di riposo "Brancaccio" risulta nella stessa classe energetica con entrambi gli approcci utilizzati: il valore dell'indice EP_{gl,nren} calcolato con la procedura proposta è pari a 166,12 kWh/(m²anno), mentre utilizzando l'approccio normativo vale 163,47 kWh/(m²anno).

È opportuno sottolineare che i risultati ottenuti sono specifici per il caso studio in esame, in cui la bassa potenza installata per l'illuminazione influisce sul valore finale degli apporti di calore interni. Nel caso di edifici con una maggiore potenza installata si possono ottenere variazioni più significative in termini di EP_{gl,nren} con un conseguente salto di classe energetica e eventuali ripercussioni sul costo dell'edificio in fase di compravendita. Lo studio ha inoltre evidenziato le numerose dinamiche di mutua influenza tra i diversi consumi di energia. Ad esempio, la maggiore potenza installata per l'illuminazione nel terzo piano dell'edificio, riconducibile all'utilizzo di apparecchi fluorescenti, determina un maggior contributo di energia termica in ambiente rispetto ai piani inferiori. Questo comporta una diminuzione di energia consumata, nel periodo invernale, per il riscaldamento e un maggior consumo di energia per il raffrescamento estivo. Confrontando i valori degli indici di prestazione per la climatizzazione invernale ed estiva relativi al terzo piano con quelli calcolati per l'intero edificio, si nota come nei mesi di Dicembre e Gennaio si hanno valori mensili di EP_{H,nren} proporzionalmente più elevati (+3%) mentre nei mesi di Luglio e Agosto i valori di EP_{C,nren} sono proporzionalmente inferiori (-4%).

La molteplicità di fattori da cui dipende il consumo di energia per l'illuminazione artificiale, unita alla loro influenza sulle variazioni mensili degli indici di prestazione energetica, permette di comprendere come l'utilizzo normativo di un valore medio annuale costante per la stima degli apporti interni non può rappresentare al meglio il comportamento energetico e dinamico di un edificio.

L'utilizzo di logiche di controllo efficienti nelle stanze di degenza consente, ad esempio, di ottenere un risparmio massimo, in termini di fabbisogno di energia annuo per l'illuminazione, dell'11% per gli apparecchi LED e del 14% per gli apparecchi fluorescenti. L'utilizzo di fotosensori per il controllo della luce naturale comporta, infatti, una diminuzione degli apporti interni per l'illuminazione, ma anche un incremento della variazione percentuale tra i valori mensili di apporti interni, in relazione alla disponibilità

di luce naturale nei diversi mesi dell'anno.

Altro aspetto fondamentale da tenere in considerazione è la quota di calore immessa in ambiente dagli apparecchi di illuminazione. Nel presente elaborato tale contributo è stato ricavato da valori di letteratura in relazione alle diverse sorgenti luminose, avviando contemporaneamente un'analisi più dettagliata in funzione dell'intero sistema apparecchio-sorgente. Lo studio intrapreso lascia spazio a future ricerche e approfondimenti, dal momento che i valori di energia termica immessa in ambiente dagli apparecchi di illuminazione sono soggetti ad un continuo aggiornamento. La tecnologia LED è infatti in grande sviluppo e i recenti miglioramenti in termini di efficienza permettono di prevedere prestazioni sempre migliori nel breve e nel lungo periodo.

Si auspica, quindi, che una procedura più precisa, sebbene più lunga e articolata, per il calcolo degli apporti interni negli edifici possa essere presto implementata nelle procedure prescritte dalle normative tecniche.

Uno dei possibili sviluppi futuri di questo studio potrebbe riguardare l'estensione del calcolo del fabbisogno di energia primaria relativo all'illuminazione artificiale agli edifici residenziali. In questa direzione il gruppo di lavoro UNI/CT023/GL10 coordinato dall'ENEA sta lavorando per definire i valori di LENI, per le diverse destinazioni d'uso, da inserire all'interno del quadro normativo delle UNI/TS.

Con il recepimento delle direttive europee sull'efficienza e sulla prestazione energetica, tutti gli edifici nuovi o sottoposti a riqualificazione energetica dovranno essere nZEB (ad energia quasi zero). Tra i requisiti fondamentali per il raggiungimento di tale obiettivo, l'illuminazione artificiale ricopre un ruolo importante, con particolare riferimento all'installazione di sistemi in grado di sfruttare al massimo la luce naturale (daylighting) e ridurre i consumi energetici.

7. Bibliografia

- [1] Lo Verso, V.R.M., Mutani, G., Blaso, L. (2014). *Il consumo per l'illuminazione e la certificazione energetica negli edifici in Italia*. ENEA Energia, Ambiente e Innovazione (capitolo "Luce dall'ENEA: Ieri, Oggi e Domani").
- [2] Marco Berfozzt, Matteo Casini, Francesco Leccese, Giacomo Salvadori (2012). *Analisi dei fabbisogni energetici per l'illuminazione degli edifici: indice di efficienza energetica e prestazioni illuminotecniche*. Neo-eubios 4I, pp. 46-56.
- [3] A. Pellegrino, V. R. M. Lo Verso, A. Paragamyam, C. Aghemo (2018). *Calcolo del fabbisogno energetico per l'illuminazione degli edifici: Confronto tra il software LENICALC V.2 e software di simulazione dinamica Climate-based*. ENEA: Report RdS/PAR2017/056
- [4] "Fondamenti di illuminotecnica. Vantaggi dell'illuminazione a LED". Palazzoli Academy.
- [5] Stefan Plessner, M. Norbert Fisch, Edelgard Gruber, Barbara Schломann (2008). *Monitoring electricity consumption in the tertiary sector (EL-TERTIARY)*.
- [6] Caldera, M., Ungaro, P., Cammarata, G., Puglisi, G. (2018). *Survey-based analysis of the electrical energy demand in Italian households, Mathematical Modelling of Engineering Problems (5-3)*, pp. 217-224.
- [7] F. Gugliermetti, F. Laudani, F. Bisegna (2013). *Definizione di criteri di diagnosi per una correzione delle stime di consumi energetici dovuti all'illuminazione*. ENEA: Report RdS/2013/142
- [8] Dariusz Suszanowicz (2017). *Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems*. E3S Web of Conferences Vol.19, 01024.

- [9] Y. Cascone, V. Corrado, V. Serra, C. Toma (2010). *Calcolo dell'ombreggiamento sull'involucro dell'edificio*. ENEA: Report RSE/2010.
- [10] N. Ventura (2015). *Manuale per la certificazione energetica degli edifici*. EPC Editore (II edizione).
- [11] NYC Department of Design & Construction (2006). *Manual for quality, energy efficient lighting*.
- [12] Alma E.F. Taylor (2000). *Illumination Fundamental*. Rensselaer Polytechnic Institute.
- [13] Mark Stanley Rea (1999). *IESNA Lighting Handbook*. Illuminating Engineering Society of North America.

Sitografia

- [1] Logical Soft: <https://www.logical.it> - Modellare gli impianti: dalla normativa ai casi pratici (Ultimo aggiornamento: 18/04/2019 - Ing. Marco Carta)
- [2] Logical Soft: <https://www.logical.it> – I ponti termici nell'edificio.
- [3] Viessmann: <https://www.viessmann.it> - Guida all'efficienza energetica nelle RSA
- [4] Zumtobel: <https://www.zumtobel.com/healthcare> - Luce per le case di riposo.
- [5] Department of Energy (USA): <https://www.energy.gov>
- [6] Comitato termotecnico italiano: <https://www.cti2000.it> – Le norme tecniche di riferimento per la stima delle prestazioni energetiche degli edifici.

- [7] Comitato termotecnico italiano: <https://www.cti2000.it> – Efficienza e attestazione della prestazione energetica degli edifici in Italia.
- [8] Ministero dello sviluppo economico: <https://www.mise.gov.it> – Linee guida nazionali per l’attestazione della prestazione energetica degli edifici, ai sensi dell’articolo articolo 6, comma 12, del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 (Allegato 1, articolo 3).
- [9] Atlaimpianti: <https://www.gse.it/dati-e-scenari/atlaimpianti>.
- [10] Daikin: <https://www.daikin.it>.
- [11] LEDs magazine: <https://www.ledsmagazine.com> - Fact or Fiction: LEDs don’t produce heat (2005).
- [12] Wikipedia: Prestazioni energetiche dell’involucro edilizio.
- [13] Google maps: <https://www.google.it>
- [14] Bosh: <https://www.bosh.it> – Sistemi ibridi di riscaldamento.
- [15] Philips: <https://www.lighting.philips.it> – MASTER LEDtube EM/Mains.
- [16] <http://www.allenergya.com> – Pannello fotovoltaico policristallino.
- [17] <http://www.certificazione-energetica-bologna.it> – Certificazione energetica vs diagnosi energetica
- [18] <http://www.certifico.com> – Efficienza energetica degli edifici. Quadro normativo 2018.

Allegati A:

Impianti termici

Le schede tecniche relative ai componenti degli impianti termici sono consultabili e scaricabili ai seguenti link:

RISCALDAMENTO IBRIDO (Cap. 3, par. 3.4.1)

- [EVLQ-CV3 | Daikin](#)
- [EHYKOMB-AA | Daikin](#)
- [FA_SC_HYC_0081604539_03_0213_IT.book \(daikincontotermico.it\)](#)
- [FDM_2012.book \(daikincontotermico.it\)](#)

IMPIANTI VRV AD ESPANSIONE DIRETTA (Cap. 3, par. 3.4.2)

- [RXYSQ-T8Y | Daikin](#)
- [RXYSQ-TY1 | Daikin](#)
- [FXAQ-P | Daikin](#)
- [FXZQ-A | Daikin](#)
- [FXSQ-A | Daikin](#)
- [VAM-FC | Daikin](#)
- [VKM-GBM | Daikin](#)

CENTRALE TERMICA “PIANO TRE” (Cap. 3, par. 3.4.3)

- [FERROLI - Caldaie](#)
- [DAIKIN EWAQ090GXS Chiller Aria/Acqua Solo Raffreddamento ad Alta Efficienza - 90 kW - ShopClima.it *](#)

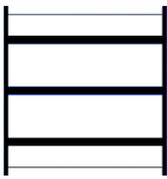
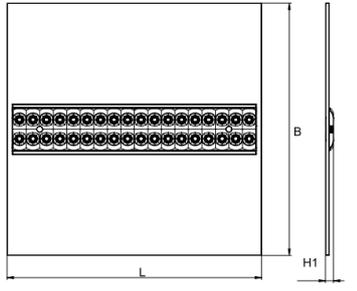
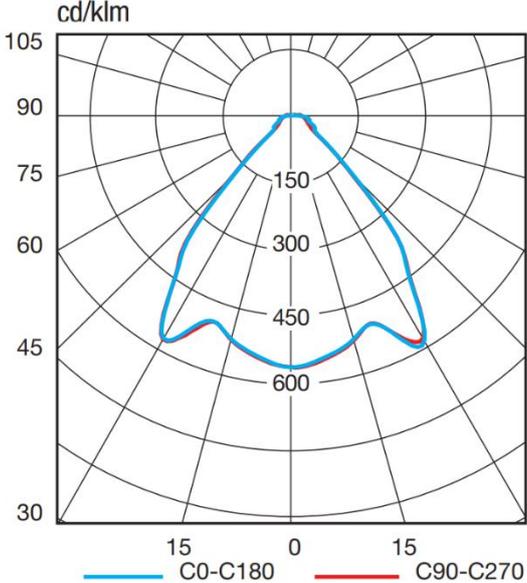
RAFFRESCAMENTO “DEGENZA-SERVIZI” (Cap. 3, par. 3.4.4)

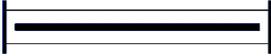
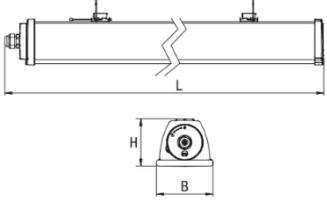
- [DAIKIN EWAQ080GXS Chiller Aria/Acqua Solo Raffreddamento ad Alta Efficienza - 80 kW - ShopClima.it *](#)

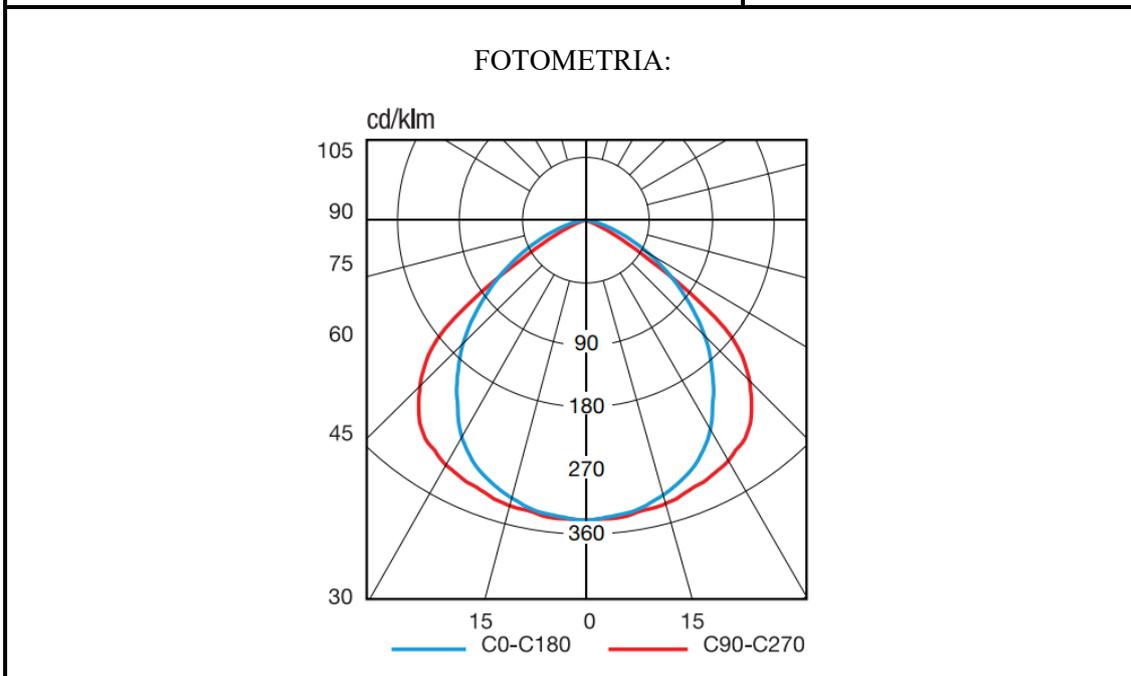
* *Ipotesi*

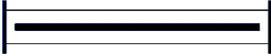
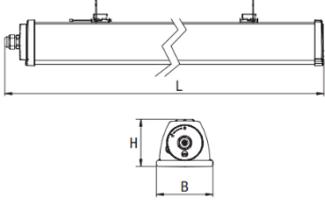
Allegati B:

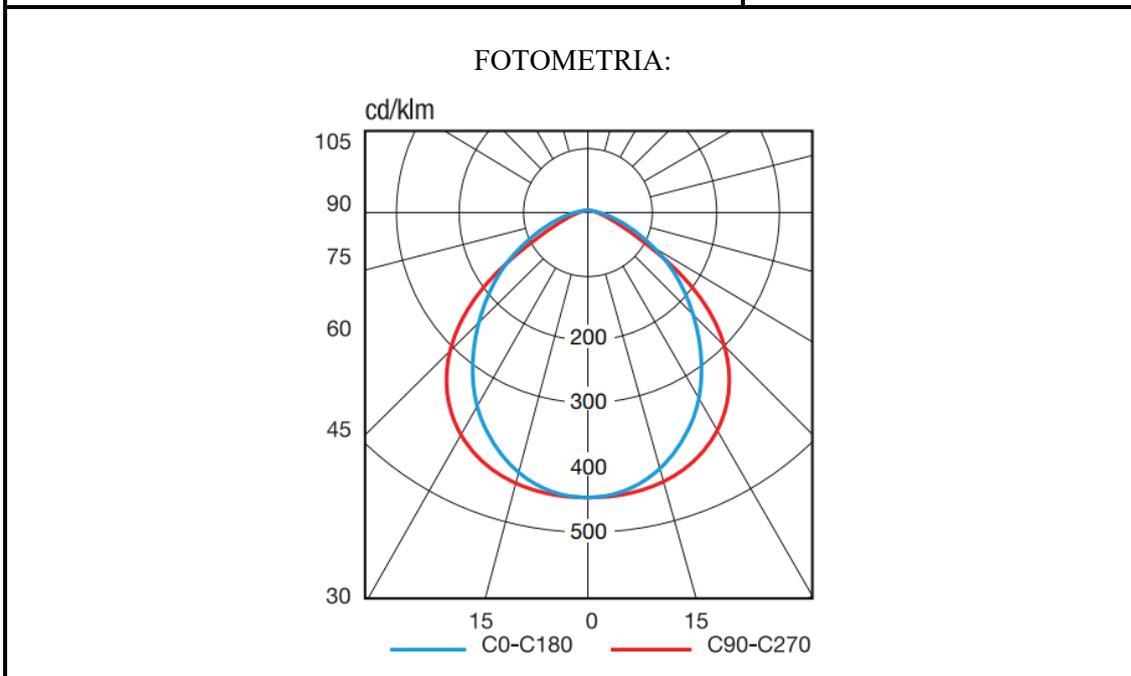
Apparecchi di illuminazione

<p>NOME: LENS panel</p> <p>PRODUTTORE: Beghelli</p>	<p>LEGENDA</p> 	 <table border="1" data-bbox="976 743 1343 801"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tipo</th> <th colspan="4">• Dimensioni (mm) •</th> <th rowspan="2">Peso kg</th> </tr> <tr> <th>L</th> <th>B</th> <th>H</th> <th>H1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>600x600</td> <td>595</td> <td>595</td> <td>8</td> <td>19</td> <td>3.5</td> </tr> </tbody> </table> 	Tipo	• Dimensioni (mm) •				Peso kg	L	B	H	H1	600x600	595	595	8	19	3.5
Tipo	• Dimensioni (mm) •				Peso kg													
	L		B	H		H1												
600x600	595		595	8	19	3.5												
<p>POTENZA EQUIVALENTE: 4x18 W</p>																		
<p>CARATTERISTICHE SORGENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia sorgente: LED - Flusso luminoso uscente: 4700 lm - Potenza assorbita: 32 W - TCC: 4000 K - Ra: > 80 - Classe energetica: A++ 	<p>CARATTERISTICHE APPARECCHIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potenza di sistema: 35 W - Flusso di sistema: 4300 lm - N° LED: 36 - UGR: < 19 - IP40 (parte in vista) - IP60 (parte incassata) 																	
<p>EFFICIENZA LUMINOSA SISTEMA: 122 lm/W</p>																		
<p>INSTALLAZIONE: plafone</p>																		
<p>FOTOMETRIA:</p>  <p>cd/klm</p> <p>105 90 75 60 45 30</p> <p>150 300 450 600</p> <p>15 0 15</p> <p>— C0-C180 — C90-C270</p>																		

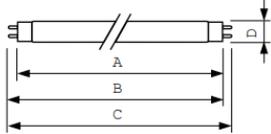
<p>NOME: Acciaio ECO LED</p> <p>PRODUTTORE: Beghelli</p>	<p>LEGENDA</p> 	 <table border="1" data-bbox="1034 521 1305 589"> <thead> <tr> <th colspan="3">• Dimensioni (mm) •</th> <th rowspan="2">Peso max kg</th> </tr> <tr> <th>L</th> <th>B</th> <th>H</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1225</td> <td>108</td> <td>90</td> <td>3.2</td> </tr> </tbody> </table> 	• Dimensioni (mm) •			Peso max kg	L	B	H	1225	108	90	3.2
• Dimensioni (mm) •			Peso max kg										
L	B			H									
1225	108		90	3.2									
<p>POTENZA EQUIVALENTE: 2x36 W</p>													
<p>CARATTERISTICHE SORGENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia sorgente: LED - Flusso luminoso uscente: 5570 lm - Potenza assorbita: 30 W - TCC: 4000 K - Ra: > 80 - Classe energetica: A++ 	<p>CARATTERISTICHE APPARECCHIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potenza di sistema: 35 W - Flusso di sistema: 4700 lm - N° LED: 96 - UGR: < 19 - IP66 												
<p>EFFICIENZA LUMINOSA SISTEMA: 135 lm/W</p>													
<p>INSTALLAZIONE: plafone</p>													



<p>NOME: Acciaio ECO LED</p> <p>PRODUTTORE: Beghelli</p>	<p>LEGENDA</p> 	 <table border="1" data-bbox="1034 555 1305 622"> <thead> <tr> <th colspan="3">• Dimensioni (mm) •</th> <th rowspan="2">Peso max kg</th> </tr> <tr> <th>L</th> <th>B</th> <th>H</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1225</td> <td>108</td> <td>90</td> <td>3.2</td> </tr> </tbody> </table> 	• Dimensioni (mm) •			Peso max kg	L	B	H	1225	108	90	3.2
• Dimensioni (mm) •			Peso max kg										
L	B			H									
1225	108		90	3.2									
<p>POTENZA EQUIVALENTE: 2x58 W</p>													
<p>CARATTERISTICHE SORGENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia sorgente: LED - Flusso luminoso uscente: 8350 lm - Potenza assorbita: 52 W - TCC: 4000 K - Ra: > 80 - Classe energetica: A++ 	<p>CARATTERISTICHE APPARECCHIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potenza di sistema: 58 W - Flusso di sistema: 7000 lm - N° LED: 144 - UGR: < 19 - IP66 												
<p>EFFICIENZA LUMINOSA SISTEMA: 120 lm/W</p>													
<p>INSTALLAZIONE: plafone</p>													



<p>NOME: GITA 2</p> <p>PRODUTTORE: Eglo</p>	<p>LEGENDA</p> <p style="text-align: center;">X XI</p>	<p>Dimensions</p> <p>Depth: 350 mm Width: 75 mm Height: 75 mm Weight: 0.85 kg</p>
<p>CARATTERISTICHE SORGENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia sorgente: LED - TCC: 4000 K - Durata: 25000 h - Classe energetica: A+ 	<p>CARATTERISTICHE APPARECCHIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potenza di sistema: 8,3 W - Flusso di sistema: 900 lm - N° LED: 144 - IP44 	
<p>EFFICIENZA LUMINOSA SISTEMA: 108 lm/W</p>		
<p>INSTALLAZIONE: plafone - parete</p>		

<p>NOME SORGENTE: MASTER TL-D Super 80 36W/840 (sorgente)</p> <p>PRODUTTORE: Philips</p>	<p>NOME APPARECCHIO: LC 1P MM.1560 B/CO RAL 9010 SX cod. 2TL667236R</p> <p>PRODUTTORE: 3f Filippi</p>	<p>SORGENTE:</p>  <table border="1" data-bbox="959 1272 1348 1323"> <thead> <tr> <th>D (max)</th> <th>A (max)</th> <th>B (max)</th> <th>B (min)</th> <th>C (max)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>28 mm</td> <td>1199,4 mm</td> <td>1206,5 mm</td> <td>1204,1 mm</td> <td>1213,6 mm</td> </tr> </tbody> </table>	D (max)	A (max)	B (max)	B (min)	C (max)	28 mm	1199,4 mm	1206,5 mm	1204,1 mm	1213,6 mm
D (max)	A (max)	B (max)	B (min)	C (max)								
28 mm	1199,4 mm	1206,5 mm	1204,1 mm	1213,6 mm								
<p>CARATTERISTICHE SORGENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipologia sorgente: FLUORESCENTE - Flusso luminoso: 3350 lm - Potenza assorbita: 36 W - TCC: 4000 K - Ra: > 80 - Efficienza sorgente: 93 lm/W - Classe energetica: A 	<p>CARATTERISTICHE APPARECCHIO (monta due lampade 2x36W T8)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potenza lampada + alimentatore: 87 W - LOR: 45% - Flusso uscente apparecchio: 3015 lm 	<p>APPARECCHIO:</p> 										
<p>EFFICIENZA LUMINOSA SISTEMA: 35 lm/W</p>												
<p>INSTALLAZIONE: testaletto</p>												

Pianta generale: impianto elettrico “Brancaccio”

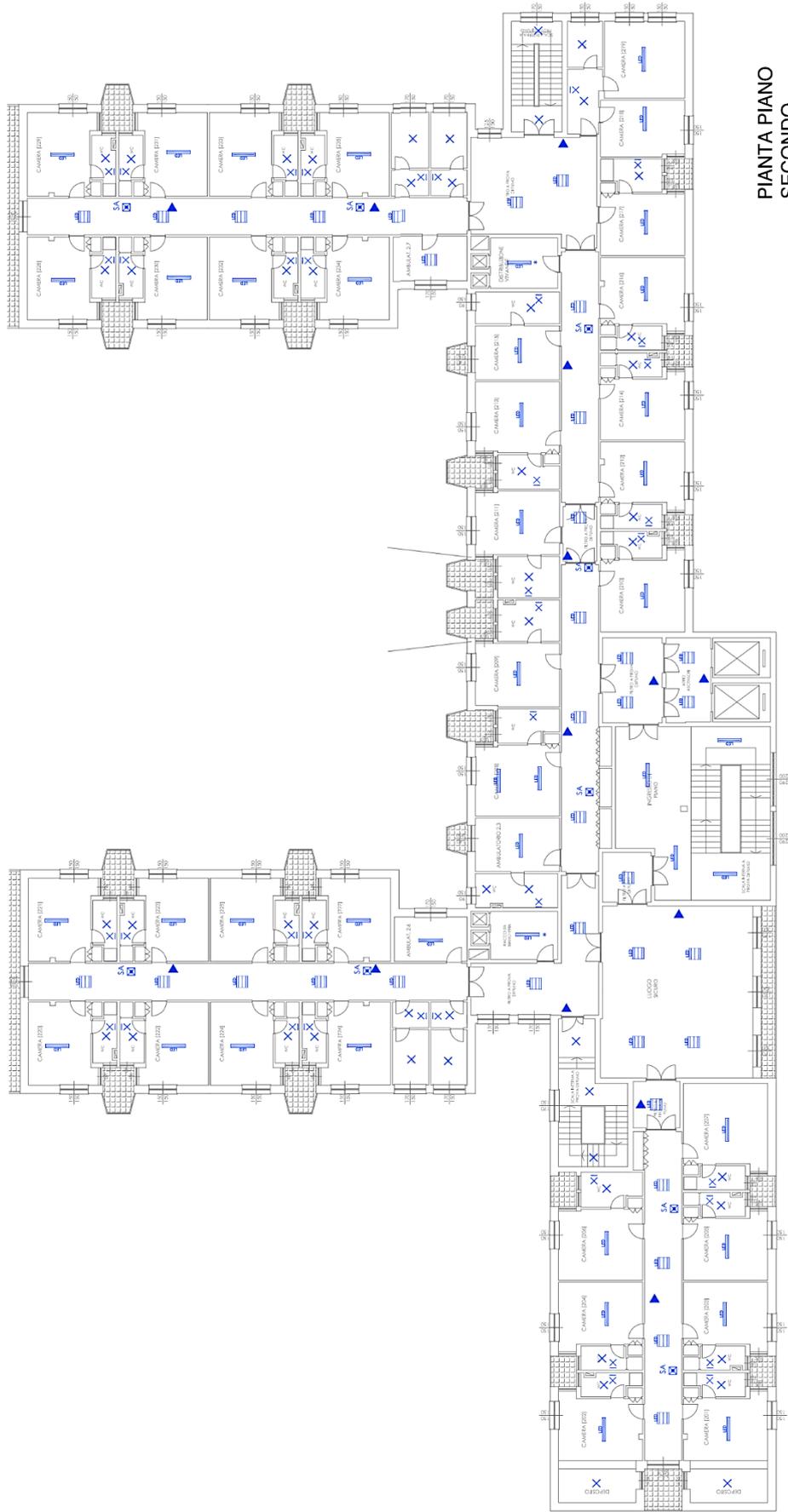
LEGENDA:

	MISURATORE ENEL
	QUADRO ELETTRICO
QG1	QUADRO GENERALE ESISTENTE
QG1	QUADRO GENERALE NUOVO AGGIUNTO A QG1
	COMANDO LUCE RADIO
	COMANDO LUCE LUMINOSO
	PLAFONIERA A LED TIPO PANNELLO LED EQ. 4X18W
	PLAFONIERA LED A SOFFITTO O SOSPENSIONE
	PLAFONIERA LED IP65 EQUIVALENTE 2x58W / 2x36W
	PLAFONIERA A SOFFITTO LED IP44
	APPARECCHIO PER SPECCHIO IP44 LED
	LAMP. D'EMERGENZA LED
	LAMP. D'EMERGENZA LED (Sempre Accesa)
	PULSANTE ALLARME INCENDIO SOTTOVETRO
	TARGA OTTICO ACUSTICO ALLARME ANTINCENDIO
	RIVELATORE DI FUMO
	RIVELATORE DI FUMO "DOPPIO", CON SPIA ESTERNA
*	SPIA ESTERNA PER RIVELATORE DI FUMO ESISTENTE
	RIVELATORE TERMOVELOCIMETRICO
	PRESA UNEL-P30 2P+T 10/16A
	POSTO LAVORO INCASSATO COMPOSTA DA: N.6 PRESE P30; PRESE DATI E FONIA PRESA TV TERR./SAT. (Predisposiz.);
	POSTO LAVORO - PREDISPOSIZ. SOLO TUBAZIONE PREVEDERE 1#32+2#25 PER OGNI P.L.
	DIFFUSORE ACUSTICO - PREDISPOSIZIONE IN OGNI AMBIENTE PREVEDERE 1#25 PER OGNI AMBIENTE
Q1...5	QUADRI NUOVI DELLE ZONE RISTRUTTURATE
	QUADRO CABLAGGIO STRUTTURATO CAT. 6
	PULSANTE A TIRANTE PER ALLARME WC DISABILE
	SEGNALATORE OTTICO ACUSTICO ALLARME WC DISABILE
Wi-Fi	APPARECCHIATURA WI-FI CAT. 6
	RILEVATORE DI PRESENZE 180°-270°
	COMANDO LUCE
	COMANDO LUCE RADIO
	LUCE STRIP LED BARRISOL
	LUCE STRIP LED AEFETTO PANNELLO BARRISOL

La planimetria del terzo piano non è riportata. La disposizione degli apparecchi di illuminazione segue quella del secondo piano fatta eccezione per le stanze di degenza in cui sono installati apparecchi “testaletto” equipaggiati con sorgenti fluorescenti.



PIANTA PIANO
RIALZATO



PIANTA PIANO SECONDO

Ringraziamenti

Desidero innanzitutto ringraziare la prof.ssa Guglielmina Mutani, relatrice di questa tesi, per il tempo, la grande disponibilità e l'attenzione mostrata nel corso di questi mesi.

Un sentito ringraziamento all'ENEA per avermi dato l'opportunità di svolgere il lavoro di tirocinio e di tesi, permettendomi di fare un'esperienza preziosa per il mio futuro, nonostante il percorso "a distanza". In particolare, ringrazio la dott.ssa Antonella Tundo, co-relatrice, per l'infinita disponibilità, comprensione e umanità dimostratemi, la dott.ssa Laura Blaso e la dott.ssa Simonetta Fumagalli per tutti i preziosi consigli, confronti e per le innumerevoli riunioni in videoconferenza.

Ringrazio il dott. Michele Plati, presidente della cooperativa "Il Sicomoro" e l'ing. Fabio Mazzilli per l'aiuto e il supporto fornitomi con il materiale relativo alla casa di riposo "Brancaccio".

Ringrazio inoltre l'arch. Paola Bertoletti e le altre persone con cui ho avuto il piacere di confrontarmi, nonché tutti i professori del Politecnico di Torino e dell'università di Bilbao incontrati durante il percorso universitario.