



Diagnosi Energetica del "Polo Culturale e dell'Alta Formazione" del Comune di Sanluri

Redazione Diagnosi Energetica ai sensi delle norme UNI CEI EN 16247 e allegato 2 del Decreto Legislativo n. 102/2014

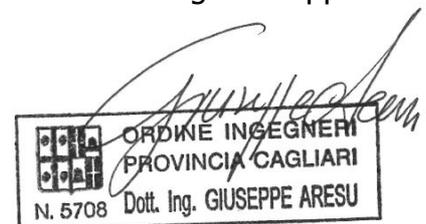
Responsabile del Procedimento
Dott. Ing. Salvantonio Grosso

RTP incaricato

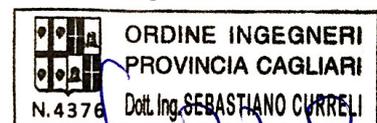
Dott. Ing. Raffaello Possidente



Dott. Ing. Giuseppe Aresu



Dott. Ing. Sebastiano Curreli





INDICE

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Introduzione..... | 1 |
| 2 | Metodologia di raccolta ed elaborazione dati..... | 5 |
| 3 | Analisi della struttura energetica..... | 6 |
| 4 | Descrizione della struttura energetica..... | 8 |
| 4.1 | Dati climatici di zona..... | 8 |
| 4.2 | Descrizione dell'involucro edilizio..... | 9 |
| 4.3 | Descrizione degli impianti di climatizzazione..... | 29 |
| 4.4 | Sistema di illuminazione interna..... | 32 |
| 4.5 | Altre utenze elettriche presenti nella struttura..... | 34 |
| 5 | Analisi dei consumi energetici..... | 36 |
| 6 | Caratterizzazione del modello energetico..... | 40 |
| 6.1 | Consumi di energia elettrica delle utenze presenti..... | 40 |
| 6.2 | Validazione del modello di calcolo..... | 44 |
| 6.3 | Ripartizione dei consumi di energia elettrica per centri di consumo..... | 47 |
| 6.4 | Indici di prestazione energetica dell'edificio..... | 51 |
| 6.5 | Emissioni di anidride carbonica..... | 53 |
| 6.6 | Costi dei vettori energetici..... | 54 |
| 7 | Analisi tecnico-economica degli interventi proposti..... | 54 |
| 7.1 | Intervento di efficientamento dei corpi illuminanti e controllo del flusso..... | 56 |
| 7.2 | Intervento di sezionamento impianto di illuminazione..... | 57 |
| 7.3 | Realizzazione di una Smart Grid con livello di gestione elevato (protocollo aperto) e colonnine di ricarica del tipo V2G..... | 58 |
| 7.4 | Quadro degli interventi di risparmio energetico proposti..... | 63 |
| 8 | Conclusioni..... | 64 |

1 Introduzione

La presente relazione tecnica descrive le operazioni e i risultati della diagnosi energetica realizzata presso il complesso edilizio "Polo Culturale e dell'Alta Formazione", situato a Sanluri, all'interno del Parco S'Arei in via degli Scolopi, snc.

L'Amministrazione Comunale di Sanluri intende partecipare al bando regionale "Interventi di efficientamento energetico negli edifici pubblici e di realizzazione di micro reti nelle strutture pubbliche della Regione Sardegna" finanziato con il POR FESR Sardegna 2014/2020 - Asse Prioritario IV "Energia Sostenibile e qualità della vita" - Azioni 4.1.1 e 4.3.1. Il presente lavoro è da inquadrarsi in un quadro più ampio dell'incarico conferito che comprende:

- la redazione di n. 2 Diagnosi Energetiche, relative agli edifici "Polo Culturale e dell'Alta Formazione" e "Scuola materna e scuola dell'infanzia" situati entrambi all'interno del Parco S'Arei, redatte nel rispetto delle vigenti disposizioni normative nazionali e regionali; in particolare nel rispetto del pacchetto di norme UNI CEI EN 16247 e dei criteri minimi previsti dall'Allegato 2 del Decreto legislativo n. 102/2014,
- N. 2 Attestati di Prestazione Energetica (APE) ante operam per i 2 edifici "Polo Culturale e dell'Alta Formazione" e "Scuola materna e scuola dell'infanzia", redatti nel rispetto delle vigenti disposizioni normative nazionali e regionali per gli interventi ex ante e post; in particolare redatta nel rispetto del pacchetto di norme UNI CEI EN 16247 e UNI TS 11300 e dovrà essere conforme al Decreto legislativo del 19 agosto 2005, n. 192 e successive modificazioni, nonché ai Decreti attuativi dello stesso.

L'incarico per le attività tecniche di cui sopra è stato conferito in data 27/09/2017 al R.T.P, composto dai Dott. Ingg. Raffaello Possidente capogruppo, Giuseppe Aresu e Sebastiano Curreli mandatarî.

Il Polo Culturale dell'Alta Formazione, edificio oggetto della presente diagnosi, è un complesso costituito da 2 corpi: il corpo A, caratterizzato da 4 piani di altezza e pianta con forma geometrica ad arco, e il corpo B al piano rialzato, collegato al primo mediante il piano di ingresso del corpo A, per un totale di circa 6.000 metri quadrati di superficie. Il Polo risulta collocato all'interno dell'area verde del parco urbano comunale S'Arei e del Collegio Calasanzio dei Padri Scolopi, nel quadrante sud ovest della città. Il corpo A è stato oggetto di totale ristrutturazione nel 2012, contestualmente alla realizzazione del corpo B, destinato a foyer e sala convegni e piccoli spettacoli. In particolare il corpo B, sfruttando le leggere pendenze realizzate nel terreno, risulta interrato per una piccola parte del suo sviluppo così da mitigare l'impatto della sua mole. Il corpo A invece, sviluppato in altezza, si articola attraverso una tipologia strutturata in due ali principali divise dal grande vano scala centrale; dal corpo B, che tocca l'edificio esistente solo in prossimità dell'ingresso principale determinando una separazione fisica tra i 2 corpi, si accede anche ai servizi alla sala convegni e i relativi servizi del piano

seminterrato (guardaroba e locali di servizio). Anche la fruizione dei 2 corpi è rimasto separato nell'arco degli anni.

Il corpo A presenta piano di accesso a quota 0.00 di progetto; l'ingresso recupera il piano seminterrato come piano di accesso. L'accesso è realizzato tramite una gradinata che scende dal livello del piano di campagna di circa 135 centimetri. Le funzioni del piano di accesso sono importanti per tutta l'organizzazione funzionale dell'intero complesso, infatti oltre a garantire idonei spazi per la reception e per il foyer dell'auditorium, si trova a questo livello la biblioteca e gli spazi dedicati alle associazioni pubbliche. Dal piano rialzato, che diventa il livello 1, parte la distribuzione funzionale delle aule e dei laboratori e uffici relativi alle attività collettive, culturali e formative. L'organizzazione attuale prevede al piano primo uno spazio dedicato al coworking e i restanti piani riservati a enti e associazioni.

Il corpo B presenta piano di accesso a quota 0.00: l'ingresso è il punto di snodo tra il corpo A e il nuovo volume che ospita il foyer della sala convegni. Come già specificato l'utilizzo può avvenire, e in effetti avviene, in piena autonomia rispetto alle funzioni del corpo A; la dotazione massima di posti a sedere collocati su gradoni in pendenza è di 240. La sala è pensata per convegni, comizi e per piccoli spettacoli di tipo teatrale e musicale. Le altre funzioni di supporto alla sala sono concentrate anche al piano interrato dove sono collocati i servizi igienici e il guardaroba.

In figura 1 è riportata la planimetria del polo culturale, con la suddivisione tra i 2 corpi: si nota come il corpo A presenta esposizione nord-ovest e sud-est dei lati lunghi della struttura, mentre i lati corti (di limitazione dell'arco di circonferenza) presentano esposizione nord e ovest. Il corpo B, è collocato a nord-ovest del corpo A, posizionata in adiacenza alla sua parte concava.

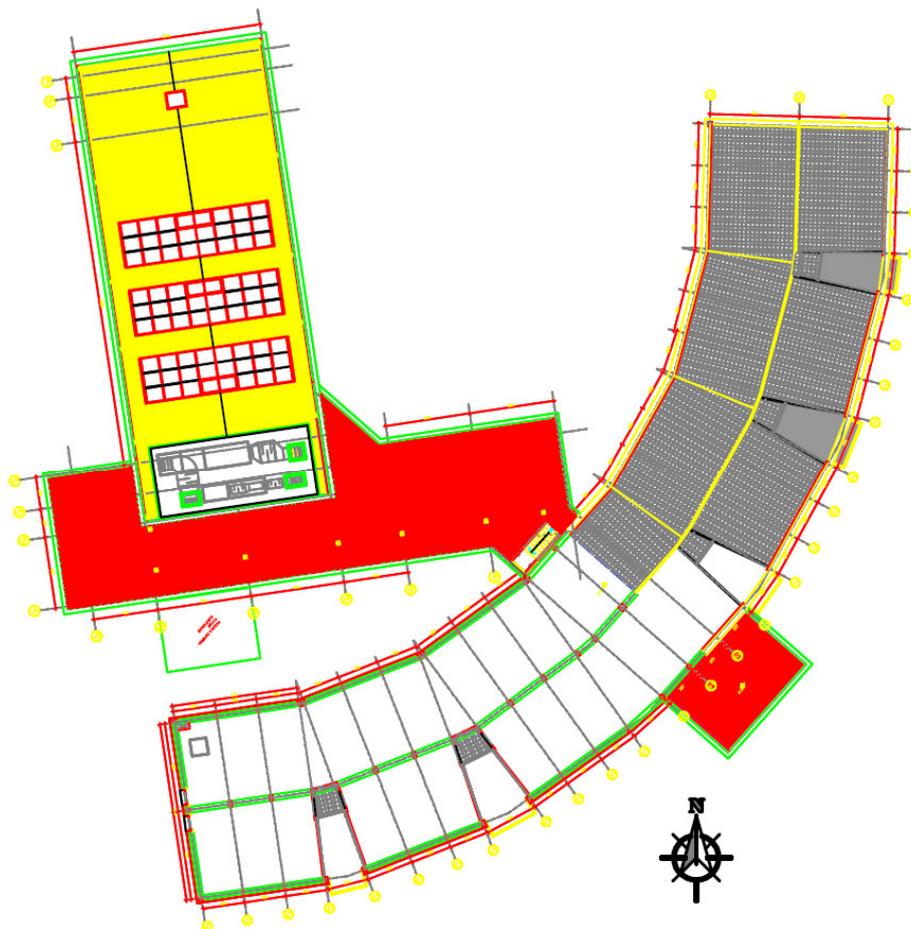


Figura 1. Planimetria del complesso edilizio “Polo Culturale e dell'Alta Formazione”

La struttura attualmente viene utilizzata per quasi tutti i suoi spazi, ma non a tempo pieno. La presenza di varie associazioni e l'utilizzo limitato sinora degli spazi di coworking, che tuttavia si prevedono in aumento proprio dai prossimi mesi, ne comportano un utilizzo parziale, che possiamo definire al 40% del carico ipotizzabile a pieno regime. Anche la sala auditorium e il corpo B è utilizzato in media ogni 15 giorni con eventi che si concentrano prettamente al fine settimana. In particolare la sala auditorium risulta inutilizzata per motivi strutturali. Di conseguenza ci si attende che l'analisi dei consumi reali della struttura presenti uno scostamento abbastanza marcato rispetto ai dati teorici attesi.

In accordo con l'ente committente, il lavoro di diagnosi intende individuare le soluzioni di efficientamento energetico più efficienti ed economicamente più vantaggiose del sistema edificio-impianto, rispetto al reale utilizzo della struttura. Pertanto, a partire da un sopralluogo dettagliato che ha consentito di rilevare tutti i dispositivi che determinano un consumo energetico all'interno dell'edificio e una volta costruito un modello energetico sufficientemente rappresentativo della situazione reale, sono stati rilevati i reali consumi energetici, a partire dai consumi rilevati tramite fatture, e attribuiti mediante operazione di allineamento ai vari centri di consumo presenti. Questa operazione ha consentito di individuare i principali margini di efficientamento

energetico e di proporre le soluzioni più indicate per ridurre al massimo i costi di gestione, pur assicurando le adeguate condizioni di comfort termo-igrometrico e illuminotecnico.

A tal proposito si delineano di seguito gli obiettivi di lavoro e le fasi attraverso le quali è stata svolta la procedura di diagnosi energetica.

La metodologia adottata si propone i seguenti obiettivi:

1. individuare i presunti consumi della struttura energetica in esame, suddividendoli per centri di consumo, in base al vettore energetico impiegato. Si è costruito così un modello energetico di riferimento generale, facilmente riadattabile in caso di future variazioni d'uso dell'edificio;
2. proporre specifici interventi orientati al risparmio energetico e/o all'utilizzo di fonti rinnovabili.

Tali risultati sono stati raggiunti seguendo una procedura metodologica caratterizzata dalle seguenti fasi:

- a) condivisione con i responsabili amministrativi del comune di Sanluri degli obiettivi, ambiti, confini e grado di dettaglio della diagnosi energetica, nonché degli aspetti operativi relativi alla fase di realizzazione della diagnosi;
- b) raccolta di informazioni generali sull'edificio e sugli impianti presenti e degli elementi energetici rilevanti;
- c) sopralluogo tecnico dettagliato, con acquisizione di dati tecnici ed energetici degli impianti termici e di condizionamento, di ventilazione e di illuminazione, delle utenze energetiche presenti e di tutti componenti edilizi, opachi e vetrati, necessari a caratterizzare energeticamente la struttura;
- d) analisi dei dati raccolti e utilizzo di software di calcolo, per l'individuazione dei centri di consumo e per la caratterizzazione di un modello energetico di riferimento;
- e) individuazione degli indici di riferimento per la quantificazione dei consumi energetici e la valutazione degli stessi;
- f) elaborazione di un report tecnico con la descrizione dettagliata dello stato di fatto;
- g) proposta di possibili interventi, allo scopo di migliorare la gestione energetica della struttura, sulla base di una valutazione tecnico-economica di prefattibilità.

L'analisi della struttura energetica può essere suddivisa, considerando i seguenti componenti:

1. struttura edilizia, con la caratterizzazione delle prestazioni energetiche dei componenti edili;
2. impianti per la produzione di energia termica e frigorifera per il condizionamento dei locali;
3. impianti per la produzione di energia termica necessaria al soddisfacimento del fabbisogno di Acqua Calda Sanitaria (ACS);
4. impianti e sistemi di illuminazione presenti sia con riferimento alle aree interne che esterne;
5. utenze elettriche presenti e previste per lo svolgimento delle attività all'interno della struttura.

2 Metodologia di raccolta ed elaborazione dati

L'analisi delle prestazioni energetiche della struttura nelle condizioni di esercizio richiede un'accurata raccolta di dati ed informazioni da reperire sul campo che comprendono:

- analisi della documentazione tecnica e degli elaborati progettuali relativi ai componenti edili opachi e trasparenti e verifica tecnica tramite sopralluoghi;
- esame dei consumi dei vettori energetici e delle condizioni contrattuali sottoscritte;
- rilevamento delle caratteristiche tecniche dei sistemi che forniscono energia per la climatizzazione estiva ed invernale, la ventilazione, la produzione di ACS e l'illuminazione degli ambienti;
- individuazione delle utenze presenti o previste per lo svolgimento delle attività all'interno della struttura: CED (Centro Elaborazione Dati), computer, stampanti, ecc..
- valutazione dei flussi energetici, in riferimento ai sistemi utilizzati per la produzione di energia termica, elettrica e frigorifera;
- costruzione di un modello energetico di riferimento e suddivisione dei centri di consumo in funzione dei vettori energetici utilizzati;
- valutazione sul campo delle condizioni operative di funzionamento e, laddove necessario, delle proprietà energetiche della struttura e/o dei macchinari esistenti.

Una volta raccolti i dati e individuati tutti i consumi, si procede alla costruzione del modello energetico, con l'ausilio di sistemi di calcolo termotecnico ed energetico.

Quindi, individuati i consumi energetici dei vettori utilizzati all'interno della struttura e associati questi ai centri di consumo in essa individuati, si procede con la definizione di alcuni indicatori di prestazione, generali e specifici, parametrati in base a unità di misura facilmente individuabili (m^2 o m^3) e tali da essere confrontabili con altre strutture aventi simili destinazioni d'uso.

Il modello viene poi utilizzato per simulare gli effetti degli interventi di riqualificazione, al fine di valutare quelli che risultano più efficienti sia dal punto di vista del risparmio energetico sia dal punto di vista economico.

Il modello energetico, permette di dividere i consumi annuali dei vettori utilizzati in funzione dei centri consumo presenti nel sito. Per quanto riguarda i fabbisogni energetici del sistema edificio-impianto il modello di calcolo utilizzato, basato sui criteri di calcolo imposti dalla normativa nazionale di riferimento, consente di raggruppare i centri di consumo nelle seguenti 5 macrocategorie:

- fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva ed invernale degli ambienti (si è approfondita questa voce ripartendo ulteriormente tra i consumi associati ai fabbisogni richiesti dalla ventilazione, trasmissione e al contributo gratuito degli apporti solari e degli

apporti interni, per il regime invernale, e ai fabbisogni per gli apporti solari e interni e il contributo per le dispersioni e gli accumuli del fabbricato, per il regime estivo)

- fabbisogni energetici per la produzione di ACS
- fabbisogni energetici per gli ausiliari di centrale e l'azionamento elettrico delle ventole di estrazione e dei terminali per la climatizzazione
- fabbisogni energetici per illuminazione
- fabbisogni energetici per utenze elettriche in uso presso la struttura

3 Analisi della struttura energetica

L'attività prevalentemente svolta all'interno della struttura analizzata è quella relativa all'attività d'ufficio, sia per la presenza di aziende e star-up in coworking sia per la presenza di vari enti e associazioni; in realtà è presente anche attività di intrattenimento nella sala auditorium, ma una veloce analisi preliminare con il personale che gestisce la struttura ha rilevato che questa attività incide in misura molto limitata rispetto a quella principale individuata. Tutti i fabbisogni sono coperti dall'utilizzo di un solo vettore energetico: quello elettrico, come rimarcato nello schema di figura 2, nel quale è stata proposta una ripartizione dei vari flussi energetici presenti. Nello schema sono stati individuati 5 centri di consumo principali: climatizzazione, poi suddivisa in estiva ed invernale, Acqua Calda Sanitaria (ACS), ausiliari di centrale (nel quale sono stati inclusi i consumi per l'estrazione dell'aria), illuminazione, utenze elettriche. Una ulteriore suddivisione dei fabbisogni energetici relativi alla climatizzazione è eseguita rispetto alle dispersioni energetiche per la trasmissione, la ventilazione (estiva ed invernale), calcolati al netto dei carichi termici gratuiti nella stagione invernale e al netto dei contributi per dispersione ed accumulo nella stagione estiva. Una precisazione è doverosa rispetto allo schema riportato in figura 2: sia la climatizzazione invernale ed estiva degli ambienti sia la produzione di ACS è soddisfatta da macchine inverse a pompa di calore, alimentate elettricamente, per cui sarà necessario dapprima individuare i fabbisogni termici richiesti e quindi associare il consumo di energia elettrica ad ognuno di essi.

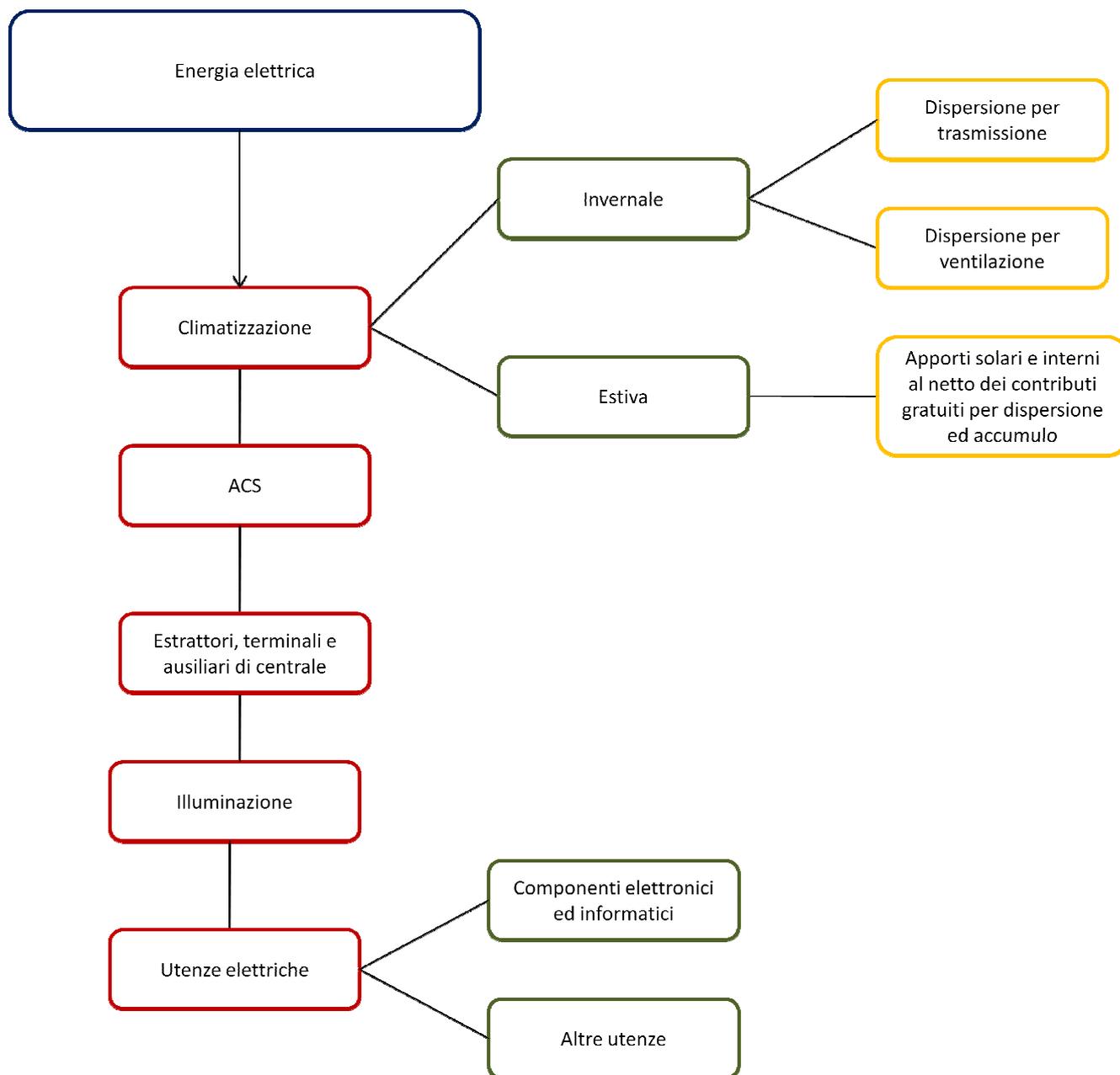


Figura 2. Diagramma di flusso dei centri di consumo soddisfatti dal vettore energia elettrica

I centri di consumo riportati in figura 2 verranno quantificati attraverso l'utilizzo della modellazione dell'edificio, delle caratteristiche tecniche degli impianti/attrezzature principali presenti e della frequenza di utilizzo delle stesse basata sulle informazioni raccolte in campo. Pertanto prima di procedere a tale ripartizione vengono individuate le caratteristiche ambientali del sito, riportato in pianta l'edificio e commentati gli impianti, i macchinari e le apparecchiature presenti.

4 Descrizione della struttura energetica

4.1 Dati climatici di zona

Il complesso edilizio del Polo Culturale e dell'Alta Formazione è localizzato all'interno della vasta area verde del parco urbano comunale S'Arei di Sanluri, paese del Sud Sardegna caratterizzato da zona climatica C, altitudine 135 m s.l.m. e 1267 Gradi Giorno (GG). La temperatura esterna minima di progetto è pari a 2,3° C, mentre quella massima di 31,2 °C. In tabella 1 sono riportati i principali dati climatici e in tabella 2 quelli relativi alle irradiazioni medie mensili, suddivise per orientamento. In generale, analizzando i dati riportati nelle tabelle, le condizioni climatiche esterne possono definirsi sufficientemente miti nel periodo invernale e caratterizzate da importanti carichi termici nel periodo estivo.

Tabella 1. Dati climatici di progetto relativi al comune di Sanluri

| DATI CLIMATICI ED ENERGETICI DI PROGETTO | |
|---|------|
| Temperatura esterna minima [°C] | 2,3 |
| Temperatura esterna massima [°C] | 31,2 |
| Umidità relativa esterna invernale [%] | 59,5 |
| Umidità relativa esterna estiva [%] | 55,9 |
| Velocità del vento [m/s] | 2,6 |
| Escursione termica media giornaliera [°C] | 8,1 |

Tabella 2. Valori medi mensili di irradiazione solare suddivisi per orientamento nel comune di Sanluri

| IRRADIAZIONE MEDIA MENSILE [MJ/m ²] | | | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | GEN | FEB | MAR | APR | MAG | GIU | LUG | AGO | SET | OTT | NOV | DIC |
| N | 2,06 | 2,97 | 4,41 | 5,68 | 8,61 | 9,98 | 9,67 | 7,47 | 5,19 | 3,64 | 2,58 | 2,02 |
| NE | 2,28 | 3,76 | 5,90 | 8,15 | 11,62 | 12,67 | 12,61 | 10,43 | 7,73 | 4,75 | 2,91 | 2,17 |
| E | 4,14 | 6,68 | 8,57 | 10,69 | 13,90 | 14,41 | 14,64 | 13,09 | 11,07 | 7,68 | 4,90 | 3,83 |
| SE | 6,46 | 9,33 | 10,01 | 10,88 | 12,61 | 12,41 | 12,85 | 12,62 | 12,24 | 9,90 | 7,12 | 6,06 |
| S | 7,97 | 10,84 | 10,22 | 9,55 | 10,01 | 9,60 | 10,00 | 10,52 | 11,57 | 10,93 | 8,54 | 7,52 |
| SW | 6,46 | 9,33 | 10,01 | 10,88 | 12,61 | 12,41 | 12,85 | 12,62 | 12,24 | 9,90 | 7,12 | 6,06 |
| W | 4,14 | 6,68 | 8,57 | 10,69 | 13,90 | 14,41 | 14,64 | 13,09 | 11,07 | 7,68 | 4,90 | 3,83 |
| NW | 2,28 | 3,76 | 5,90 | 8,15 | 11,62 | 12,67 | 12,61 | 10,46 | 7,73 | 4,75 | 2,91 | 2,17 |
| H tot | 5,60 | 9,20 | 12,60 | 16,30 | 21,90 | 23,10 | 23,30 | 20,30 | 16,40 | 10,90 | 6,80 | 5,20 |

4.2 Descrizione dell'involucro edilizio

Il Polo Culturale e dell'Alta Formazione del comune di Sanluri è stato oggetto di profonda ristrutturazione nel 2012, nella quale è stata conservata la struttura esistente, ma apportando profondi adeguamenti all'involucro del corpo A, mentre il corpo B è stato costruito integralmente ex-novo. I due corpi presentano la seguente destinazione d'uso:

Piano interrato:

- Servizi e locale guardaroba (corpo B)

Piano seminterrato:

- Nuovo ingresso e distribuzione (nel nuovo volume corpo B)
- Reception
- Sale per laboratori collettivi informatici
- Biblioteca
- Ludoteca
- Servizi

Piano rialzato

- Foyer auditorium (nel nuovo volume corpo B)
- Spazio esposizioni (nel nuovo volume corpo B)
- Sala auditorium e piccoli spettacoli (nel nuovo volume corpo B)

Piano primo (stesso livello del piano rialzato), secondo, terzo e quarto del corpo A

- Aule
- Spazi polifunzionali
- Uffici
- Servizi generali

Nelle figure 3,4,5,6, 7 e 8 si riportano in pianta le superfici relative al piano interrato (corpo B), del piano rialzato (comprendente il corpo A e il corpo B) e dei piani secondo, terzo e quarto (corpo A): questi ultimi 3 piani presentano aree climatizzate e quindi oggetto di calcolo praticamente identiche. Le zone climatizzate sono rappresentate in tratteggio blu per il corpo A e in tratteggio rosso per il corpo B. Le restanti zone sono zone non climatizzate, quindi che non contribuiscono al carico termico imputato alla climatizzazione dell'edificio, ma sono zone di confine che interagiscono termicamente con le zone climatizzate.

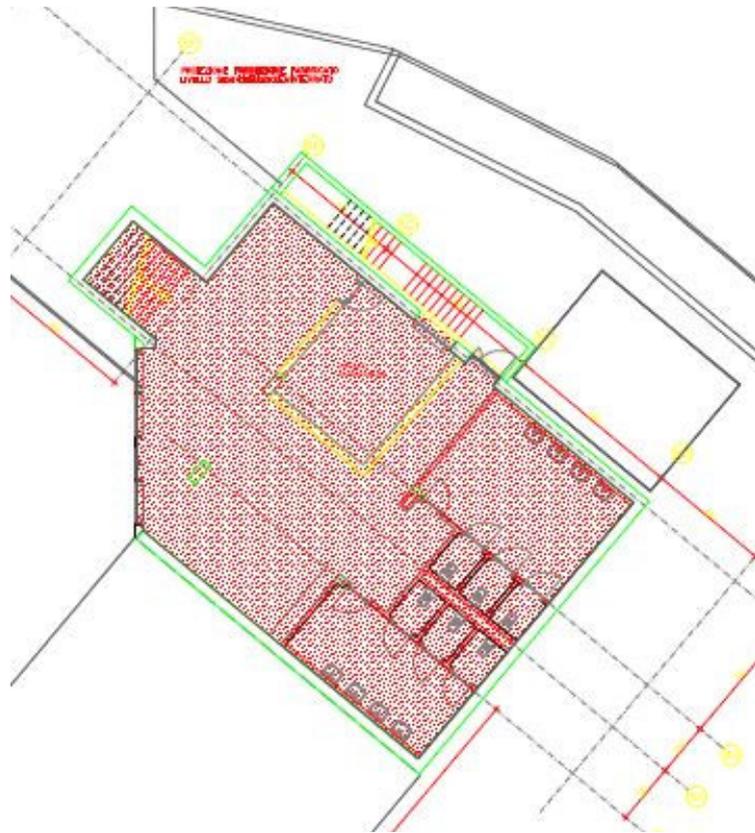


Figura 3. Piano interrato: in tratteggio rosso lezone climatizzate del corpo B

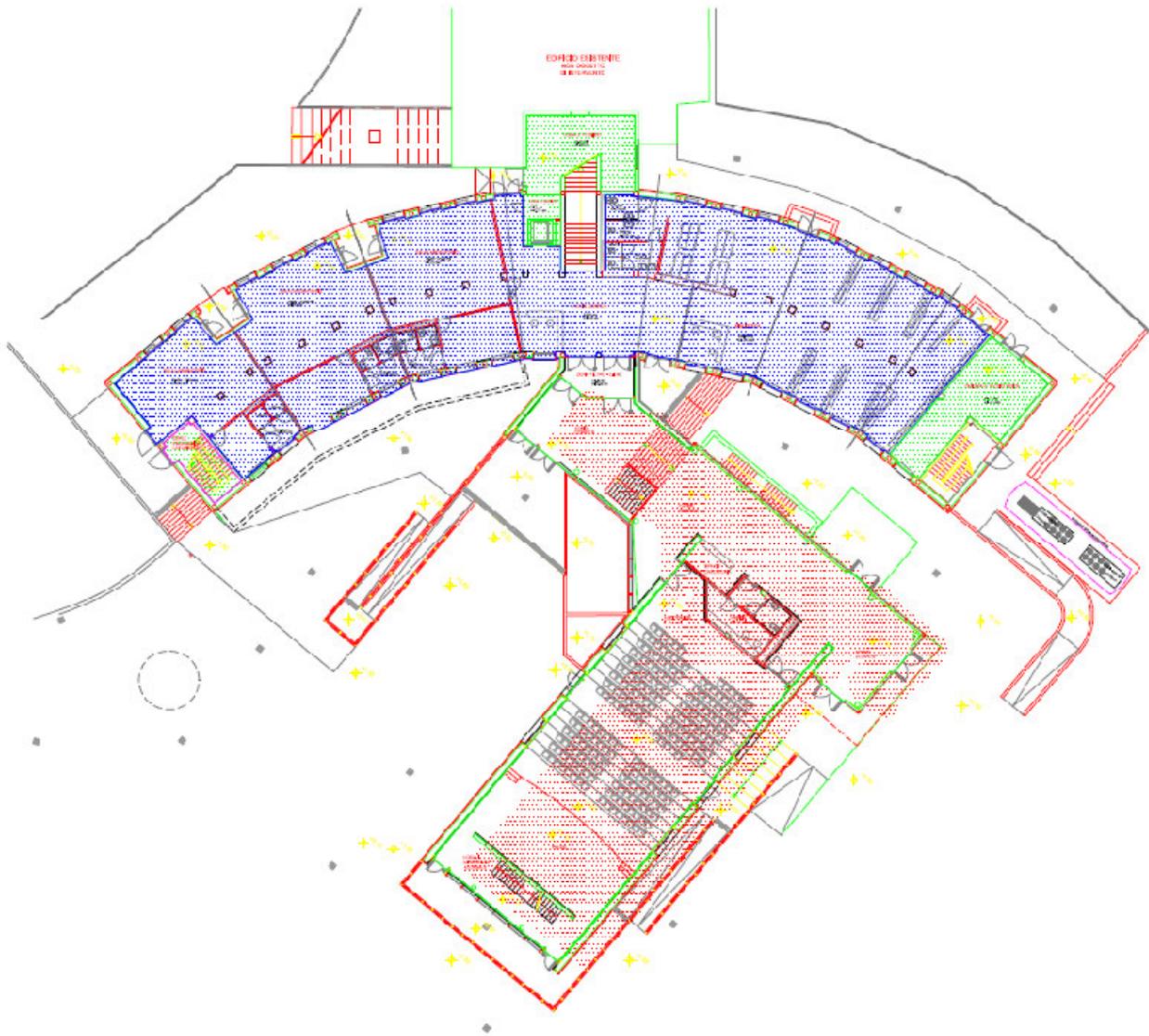


Figura 4. Piano terra. In tratteggio blu le zone climatizzate del corpo B, in tratteggio blu le zone climatizzate del corpo A

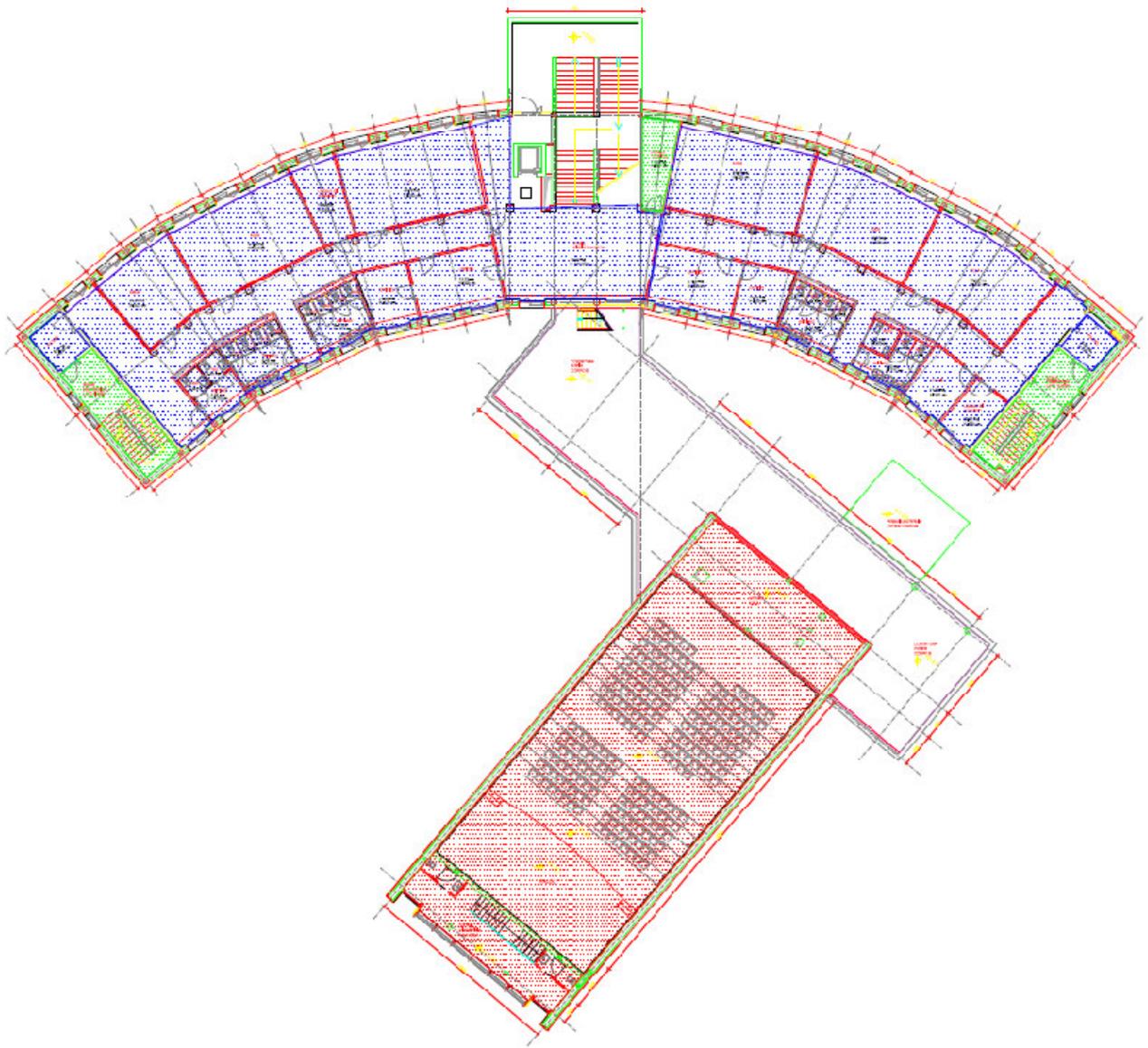


Figura 5. Piano rialzato (corrispondente al piano primo del corpo A)

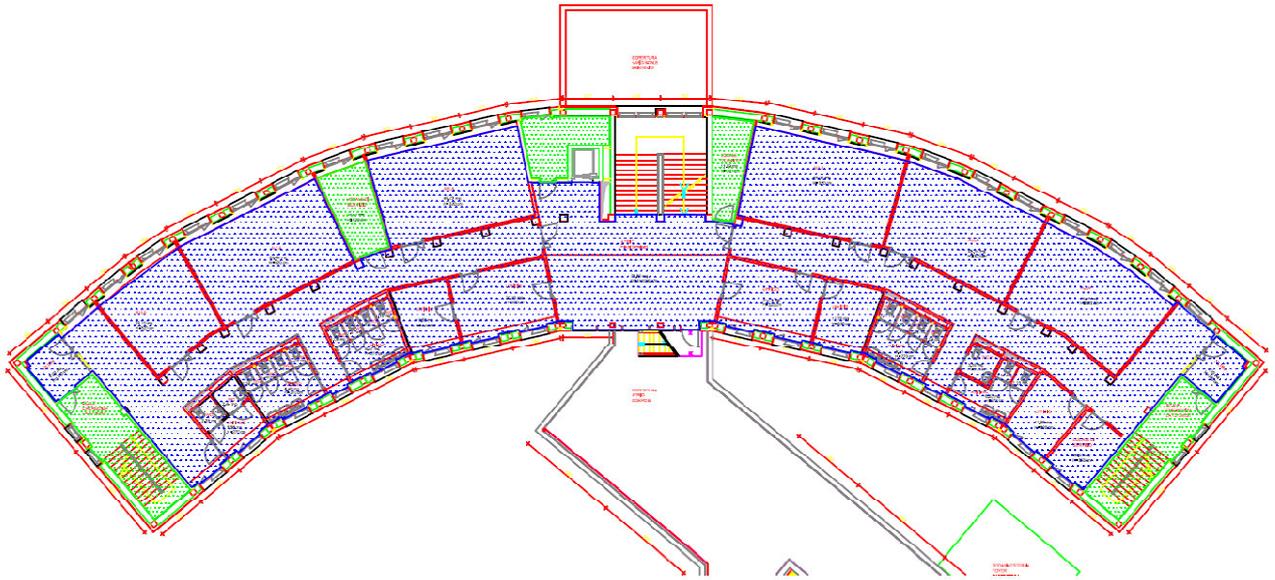


Figura 6. Piano secondo del corpo A

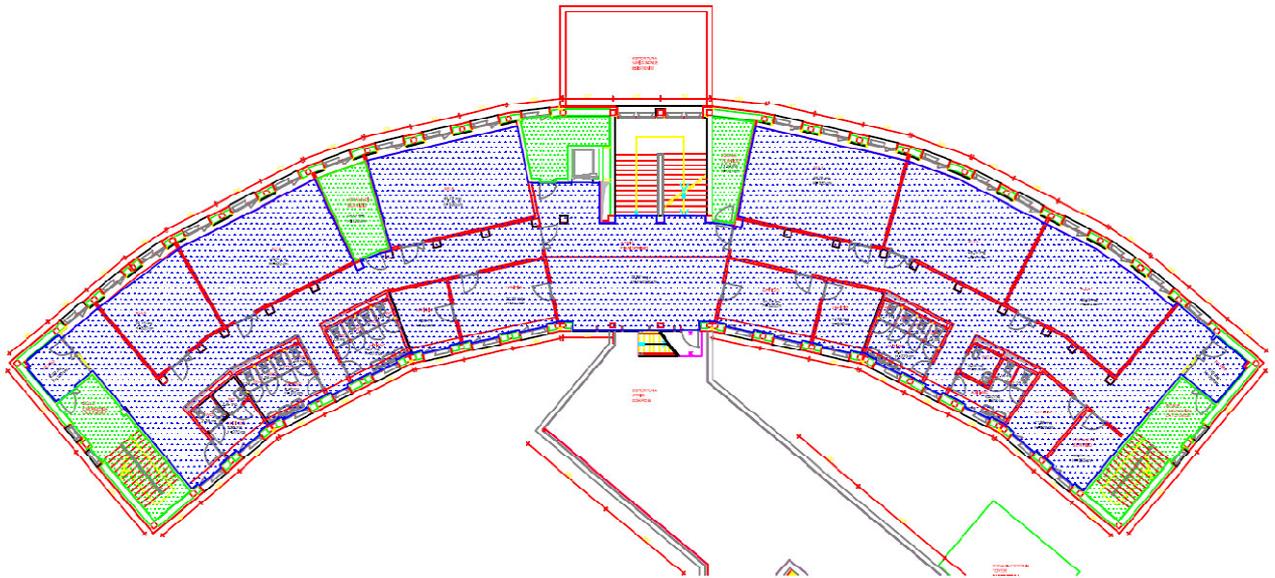


Figura 7. Piano terzo del corpo A

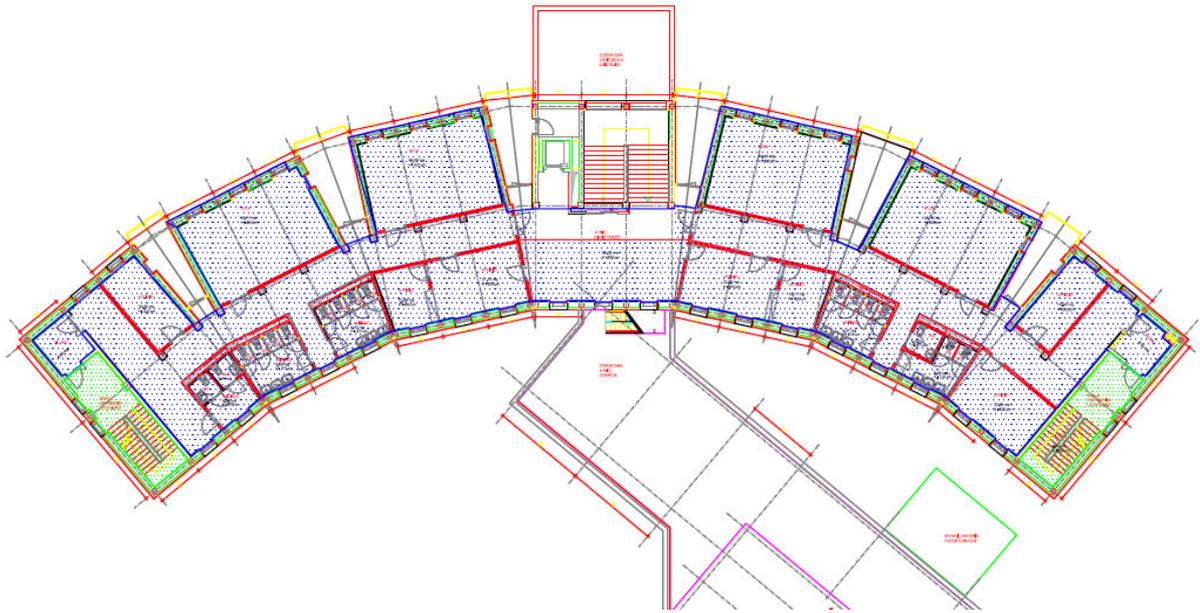


Figura 8. Piano quarto del corpo A

Con riferimento ai componenti edili, l'intervento di ristrutturazione ha privilegiato sistemi costruttivi a secco e di tipo prefabbricato, facilmente reperibili e mantenibili, in grado di esaltare i volumi architettonici e consentire sufficienti prestazioni in termini di isolamento e di recupero energetico.

In particolare le componenti opache esterne sia del corpo A che del corpo B sono realizzati con un sistema di parete ventilata a lastre modulari di granito gres ceramico e interposto isolamento termico.

Gli infissi esterni e la parete continua del corpo di ingresso sono in profilati in alluminio a taglio termico e vetrocamera, quindi con buone prestazioni energetiche, tuttavia vengono utilizzate tende applicate solo sul lato interno delle superfici vetrate, poco efficaci a svolgere azione di schermatura dalla radiazione solare, soprattutto per le superfici esposte a sud. Inoltre è presente sul lato concavo della facciata esposta a nord-ovest un'ampia superficie vetrata che si estende lungo i piani secondo e terzo del corpo A, così come il corpo B, caratterizzata da un'ampia superficie vetrata verticale in prossimità dell'ingresso sul lato corto con esposizione nord - nord/ovest.

In figura 9 è possibile vedere l'insieme dell'intero complesso, con il corpo B in primo piano, poiché l'inquadratura riprende il lato ovest della struttura.



Figura 9. Visione d'insieme dell'intero complesso. Inquadratura da ovest

In figura 9 si riportano le 2 tipologie di infissi esistenti, rispettivamente quelle relative al corpo A e quelle relative al corpo B. In figura 10 sono riportate invece le ampie superfici vetrate della facciata principale (lato concavo esposto a nord-ovest) del corpo A, della zona di ingresso e della facciata esposta a nord del corpo B.

La tipologia di infisso utilizzata è tamponamento con vetrocamera 4-8-4, strato intermedio aria, telaio in lega d'alluminio al taglio termico, vetro float di colore chiaro a 2 lastre unite da PVB (pilivinilbutirrale).

Gli infissi sono caratterizzati da una trasmittanza termica che dipende da:

- la trasmittanza del vetro
- la trasmittanza del telaio
- la forma dell'edificio

secondo la seguente equazione della fisica tecnica:

$$U = \frac{U_g * A_g + U_f * A_f + l_g * \Psi_g}{A_f + A_g}$$

con:

U_g = trasmittanza termica della componente vetrata

A_g = area della componente vetrata

U_f = trasmittanza termica del telaio

A_f = area della parte telaio

l_g = lunghezza del ponte termico che per differenza di materiale tra telaio e vetro

Ψ_g = trasmittanza termica lineare che tiene conto della trasmissione del calore che avviene tra telaio, vetri e distanziatori presenti nell'infisso

I valori di trasmittanza termica di ogni infisso pertanto dipendono anche dalle dimensioni geometriche degli stessi, mentre il valore della trasmittanza termica della sola componente vetrata, per la tipologia utilizzata, è pari a 3,10 W/m²K.



Figura 10. Immagine fotografica delle 2 tipologie di infisso presenti nel corpo A e nel corpo B



Figura 11. Tipologie di vetrate presenti sul prospetto principale (esposizione nord-ovest) del corpo A, ingresso e prospetto nord del corpo B

Nelle successive figure dalla 12 alla 17 si riportano le 6 differenti tipologie stratigrafiche di pareti verticali esterne e le corrispondenti caratteristiche termofisiche. In particolare possiamo distinguere le seguenti tipologie costruttive:

1. parete da 62 cm, con rivestimento a cappotto e controparete esterna
2. parete da 45,5 con rivestimento a cappotto e intonaco interno (questa tipologia presenta alcune varianti con rivestimento sempre in gres ceramico)
3. parete da 46,5 cm con rivestimento a cappotto e intercapedine d'aria
4. parete da 63,5 cm con controfodera interna e cartongesso doppia lastra
5. parete da 62,5 cm con controfodera interna in cartongesso e controparete in assorbimento acustico
6. parete da 46 cm con rivestimento a cappotto

Per sinteticità di trattazione si riportano le principali tipologie murarie, così come riportate nel modello energetico.

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: ME_a01
 Descrizione Struttura: MURATURA ESTERNA CON RIVESTIMENTO A CAPPOTTO E CONTROPARETE INTERNA

| N. | DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²K/W] |
|----|--|-----------|------------------|--------------|-----------------|------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | Adduttanza Interna | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 |
| 2 | Cartongesso in lastre | 25 | 0.210 | 8.400 | 22.50 | 23.000 | 1000 | 0.119 |
| 3 | Intercapedine d'aria - 6 cm | 60 | 0.290 | 4.833 | 3.00 | 193.000 | 1000 | 0.207 |
| 4 | Mattoni: pieni/forati/leggeri/alta resistenza meccanica - umidità 1,5%- mv.1200. | 360 | 0.544 | 1.511 | 432.00 | 28.290 | 840 | 0.662 |
| 5 | Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi - mv. 10 | 60 | 0.056 | 0.935 | 0.60 | 7.500 | 1200 | 1.070 |
| 6 | Gres | 15 | 0.374 | 24.940 | 33.00 | 193.000 | 455.3 | 0.040 |
| 7 | Adduttanza Esterna | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 |

| | | |
|---|--|--------------------------------|
| RESISTENZA = 2.287 m²K/W | CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 31.406 kJ/m²K | TRASMITTANZA = 0.441 W/m²K |
| SPESSORE = 620 mm | FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.06 | MASSA SUPERFICIALE = 481 kg/m² |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.02 W/m²K | | SFASAMENTO = -8.80 h |

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs. 192/05 e s.m.i..

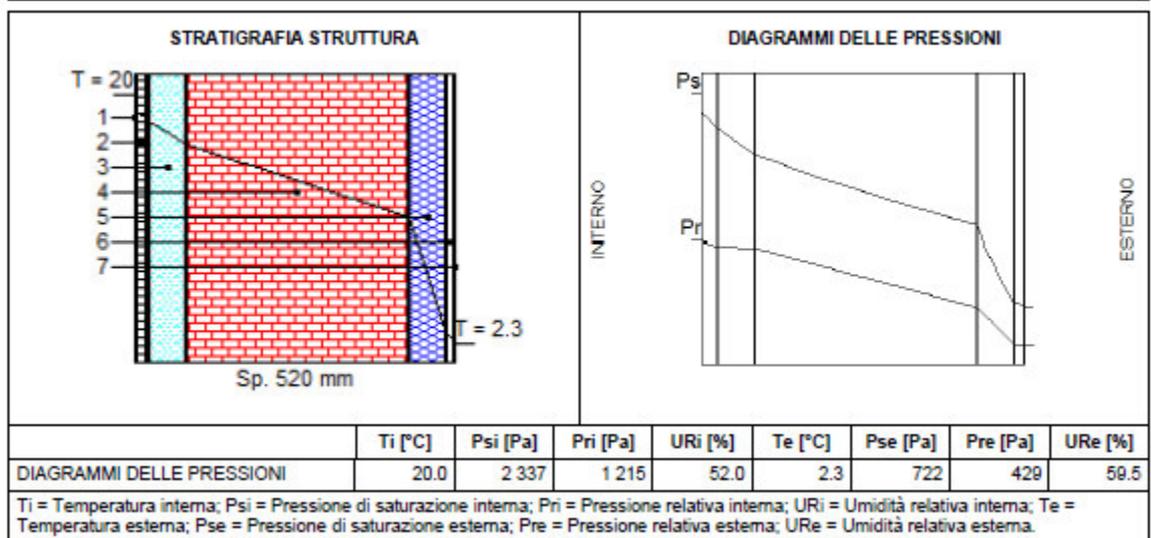


Figura 12. Stratigrafia della parete e caratteristiche termofisiche della parete esterna da 52 cm

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: ME_a03
Descrizione Struttura: MURATURA ESTERNA CON RIVESTIMENTO A CAPPOTTO E INTONACO INTERNO

| N. | DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10 ¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²K/W] |
|---|---|--|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | Adduttanza Interna | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 |
| 2 | Intonaco interno. | 15 | 0.700 | 46.667 | 21.00 | 18.000 | 1000 | 0.021 |
| 3 | Mattoni: pieni/forati/leggeri/alta resistenza meccanica - umidità 1,5%- mv. 1200. | 360 | 0.544 | 1.511 | 432.00 | 28.290 | 840 | 0.662 |
| 4 | Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi - mv. 10 | 60 | 0.056 | 0.935 | 0.60 | 7.500 | 1200 | 1.070 |
| 5 | Gres | 20 | 0.374 | 18.705 | 44.00 | 193.000 | 455.3 | 0.053 |
| 6 | Adduttanza Esterna | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 |
| RESISTENZA = 1.976 m²K/W | | | | TRASMITTANZA = 0.506 W/m²K | | | | |
| SPESSORE = 455 mm | | CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 54.696 kJ/m²K | | | MASSA SUPERFICIALE = 477 kg/m² | | | |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.04 W/m²K | | | FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.08 | | | SFASAMENTO = -10.76 h | | |

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs. 192/05 e s.m.i..

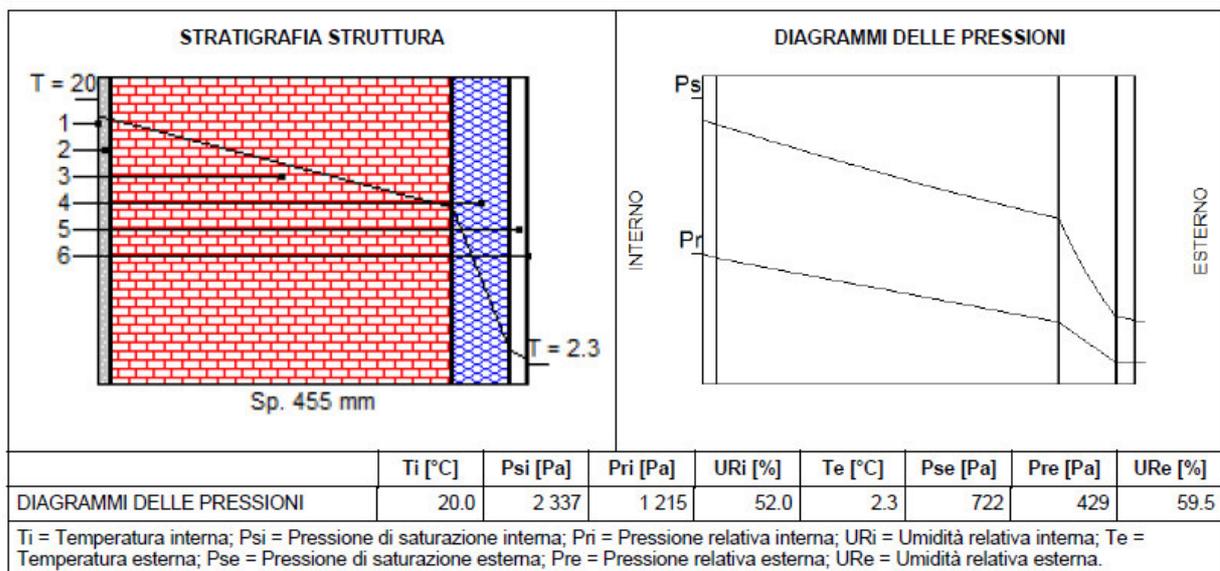


Figura 13. Stratigrafia della parete e caratteristiche termofisiche della parete esterna da 45,5 cm

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: ME a05
Descrizione Struttura: MURATURA ESTERNA CON RIVESTIMENTO A CAPPOTTO RIVESTIMENTO IN PIASTRELLE

| N. | DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10 ¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²K/W] |
|----|--|-----------|------------------|--------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | Adduttanza Interna | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 |
| 2 | Cartongesso in lastre | 25 | 0.210 | 8.400 | 22.50 | 23.000 | 1000 | 0.119 |
| 3 | Intercapedine d'aria - 6 cm | 60 | 0.290 | 4.833 | 3.00 | 193.000 | 1000 | 0.207 |
| 4 | Muratura mattoni pieni-2 | 300 | 0.956 | 3.137 | 600.00 | 18.000 | 840 | 0.314 |
| 5 | Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi - mv. 10 | 60 | 0.056 | 0.935 | 0.60 | 7.500 | 1200 | 1.070 |
| 6 | Gres | 20 | 0.374 | 18.705 | 44.00 | 193.000 | 455.3 | 0.053 |
| 7 | Adduttanza Esterna | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 |

| | | |
|---|--|--------------------------------|
| RESISTENZA = 1.933 m²K/W | | TRASMITTANZA = 0.517 W/m²K |
| SPESSORE = 465 mm | CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 32.477 kJ/m²K | MASSA SUPERFICIALE = 670 kg/m² |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.03 W/m²K | FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.05 | SFASAMENTO = -11.46 h |

s - Spessore dello strato, lambda - Conduttività termica del materiale, C - Conduttanza unitaria, M.S. - Massa Superficiale, P<50*10¹² - Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. - Calore Specifico; R - Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs. 192/05 e s.m.l..

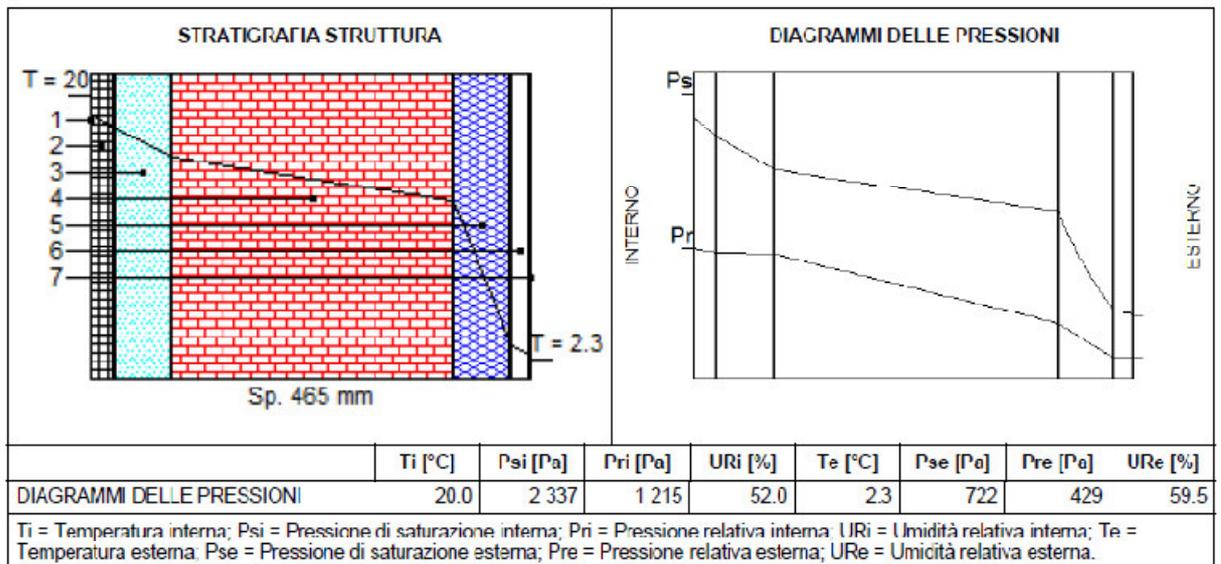


Figura 14. Stratigrafia della parete e caratteristiche termofisiche della parete esterna da 46,5 cm

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: ME_b02
Descrizione Struttura: MURATURA ESTERNA CON RIVESTIMENTO IN CERAMICA E CONTROFODERA INTERNA IN CARTONGESSO DOPPIA LASTRA

| N. | DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10 ¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²K/W] |
|--|---|---|------------------|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | Adduttanza Interna | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 |
| 2 | Cartongesso in lastre | 25 | 0.210 | 8.400 | 22.50 | 23.000 | 1000 | 0.119 |
| 3 | Strato d'aria verticale da 0 cm | 05 | 0.444 | 5.223 | 0.11 | 193.000 | 1000 | 0.191 |
| 4 | CLS di aggregati naturali - a struttura chiusa - pareti protette - mv. 2200 | 400 | 1.484 | 3.709 | 880.00 | 1.950 | 1000 | 0.270 |
| 5 | Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi - mv. 10 | 45 | 0.056 | 1.247 | 0.45 | 7.500 | 1200 | 0.802 |
| 6 | Intercapedine d'aria - 6 cm | 60 | 0.290 | 4.833 | 3.00 | 193.000 | 1000 | 0.207 |
| 7 | Gres | 20 | 0.374 | 18.705 | 44.00 | 193.000 | 455.3 | 0.053 |
| 8 | Adduttanza Esterna | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 |
| RESISTENZA = 1.812 m²K/W | | | | | TRASMITTANZA = 0.552 W/m²K | | | |
| SPESSORE = 635 mm | | CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 32.736 kJ/m²K | | | MASSA SUPERFICIALE = 950 kg/m² | | | |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.01 W/m²K | | FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.02 | | | SFASAMENTO = -3.24 h | | | |

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

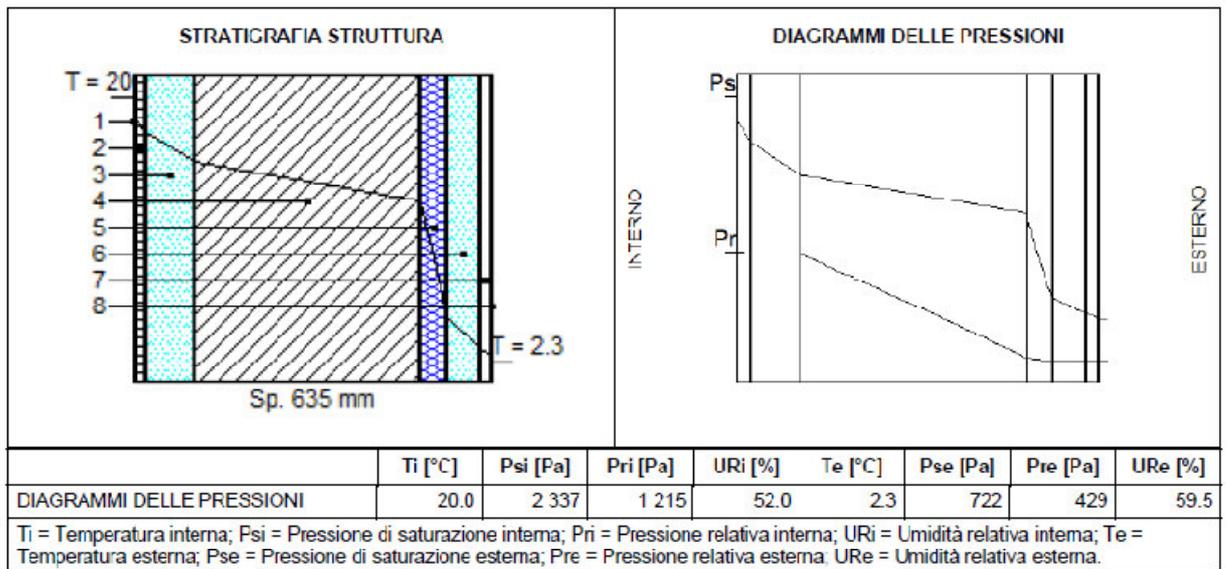


Figura 15. Stratigrafia della parete e caratteristiche termofisiche della parete esterna da 63,5 cm

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: ME_b03
Descrizione Struttura: MURATURA ESTERNA CON RIVESTIMENTO IN CERAMICA E CONTROFODERA INTERNA IN CARTONGESSO E CONTROPARETE AD ASSORBIMENTO ACUSTICO

| N. | DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10 ¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²K/W] | |
|---|---|-----------|------------------|--|-----------------|------------------------------------|-----------------|--------------|--|
| 1 | Adduttanza Interna | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 | |
| 2 | Cartongesso in lastre | 25 | 0.210 | 8.400 | 22.50 | 23.000 | 1000 | 0.119 | |
| 3 | Intercapedine d'aria - 6 cm | 75 | 0.290 | 3.867 | 3.75 | 193.000 | 1000 | 0.259 | |
| 4 | CLS di aggregati naturali - a struttura chiusa - pareti protette - mv.2200. | 400 | 1.484 | 3.709 | 880.00 | 1.950 | 1000 | 0.270 | |
| 5 | Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi - mv. 10 | 45 | 0.056 | 1.247 | 0.45 | 7.500 | 1200 | 0.802 | |
| 6 | Intercapedine d'aria - 6 cm | 60 | 0.290 | 4.833 | 3.00 | 193.000 | 1000 | 0.207 | |
| 7 | Gres | 20 | 0.374 | 18.705 | 44.00 | 193.000 | 455.3 | 0.053 | |
| 8 | Adduttanza Esterna | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 | |
| RESISTENZA = 1.880 m²K/W | | | | TRASMITTANZA = 0.532 W/m²K | | | | | |
| SPESSORE = 625 mm | | | | CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 32.736 kJ/m²K | | MASSA SUPERFICIALE = 954 kg/m² | | | |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.01 W/m²K | | | | FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.02 | | SFASAMENTO = -9.24 h | | | |

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D. Lgs. 192/05 e s.m.i..

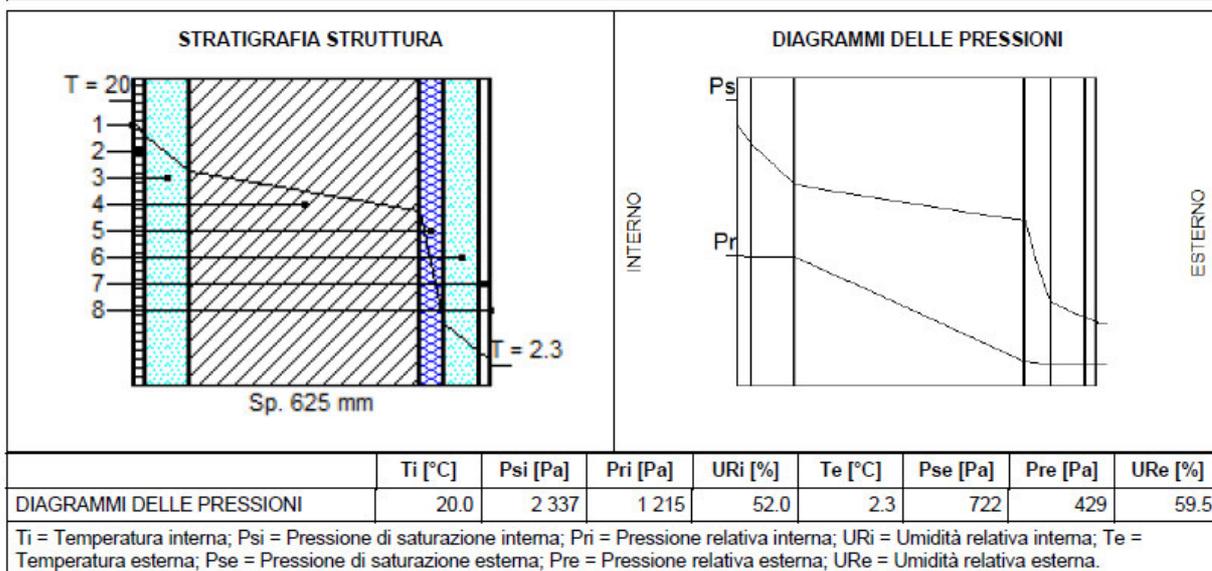


Figura 16. Stratigrafia della parete e caratteristiche termofisiche della parete esterna da 62,5 cm

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: ME_b01
Descrizione Struttura: MURATURA ESTERNA CON RIVESTIMENTO A CAPPOTTO

| N. | DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10 ¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²K/W] | |
|--|---|---|------------------|--------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|--------------|--|
| 1 | Adduttanza Interna | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 | |
| 2 | Cartongesso in lastre | 25 | 0.210 | 8.400 | 22.50 | 23.000 | 1000 | 0.119 | |
| 3 | Strato d'aria verticale da 5 cm | 55 | 0.270 | 5.051 | 0.07 | 193.000 | 1000 | 0.190 | |
| 4 | CLS di aggregati naturali - a struttura chiusa - pareti proiettate - niv. 2200. | 300 | 1.484 | 4.945 | 660.00 | 1.950 | 1000 | 0.202 | |
| 5 | Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi - niv. 10 | 60 | 0.056 | 0.935 | 0.60 | 7.500 | 1200 | 1.070 | |
| 6 | Gres | 20 | 0.374 | 18.705 | 44.00 | 193.000 | 455.3 | 0.053 | |
| 7 | Adduttanza Esterna | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 | |
| RFSISTENZA = 1.812 m²K/W | | | | | | TRASMITTANZA = 0.552 W/m²K | | | |
| SPESORE = 460 mm | | CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 32.913 kJ/m²K | | | | MASSA SUPERFICIALE = 727 kg/m² | | | |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.02 W/m²K | | FATTORE DI ATTERUAZIONE = 0.04 | | | | SFAZAMENTO = 11.96 h | | | |

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs 192/05 e s.m.i..

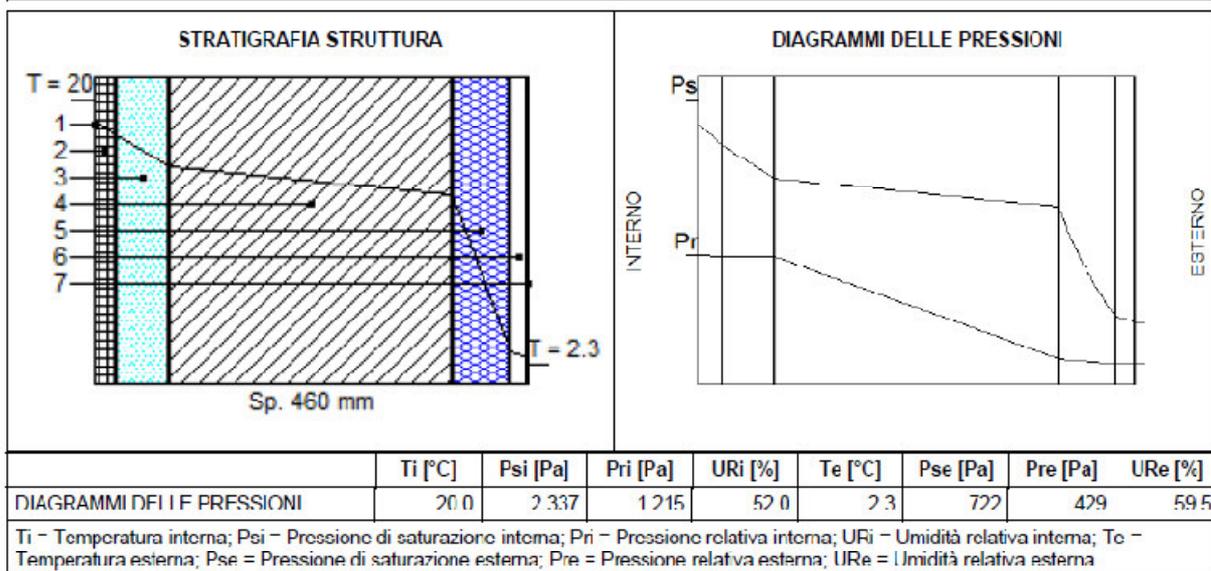


Figura 17. Stratigrafia della parete e caratteristiche termofisiche della parete esterna da 46 cm

Infine, nelle successive figure 18-23 sono riportate le caratteristiche termofisiche di alcuni dei solai e pavimenti presenti nella struttura, di seguito elencati:

1. pavimento con piastrelle in ceramica, con massetto in calcestruzzo livellante e sottofondo di argilla espansa - corpo A
2. pavimento con pastrelle in gres ceramico, massetto in calcestruzzo e soletta in laterocemento- corpo B
3. solaio interpiani, con pavimento in resina antistatica su blocco di solaio in laterizio esistente e cartongesso per controsoffittatura - corpo A (piano terra/piano primo piano primo/piano secondo e piano secondo/piano terzo).

4. solaio di sottotetto, con pannello in lana di vetro, su blocco di solaio in laterizio esistente e cartongesso per controsoffittatura - corpo A (sottotetto).
5. solaio di copertura in ghiaia lavata bianca, massetto di argilla espansa e coibentazione in polistirene espanso - corpo B

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: PV_a03
 Descrizione Struttura: PACCHETTO FINITURA CON CASSERO A IGLOO E PAVIMENTO IN GRESS 30X30

| N. | DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10 ¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²K/W] |
|---|---|---|------------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | Adduttanza Superiore | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 |
| 2 | Piastrelle ceramiche | 20 | 1.300 | 65.000 | 46.00 | 0.940 | 840 | 0.015 |
| 3 | Massetto ordinario | 40 | 1.060 | 26.500 | 80.00 | 193.000 | 1000 | 0.038 |
| 4 | CLS di argille espanso - a struttura chiusa - umidità 4% - mw.1400. | 40 | 0.504 | 12.600 | 56.00 | 1.860 | 1000 | 0.079 |
| 5 | Massetto ordinario | 60 | 1.060 | 17.667 | 120.00 | 193.000 | 1000 | 0.057 |
| 6 | Strato d'aria orizzontale (flusso ASCENDENTE) | 400 | 1.250 | 3.125 | 0.52 | 193.000 | 1008 | 0.320 |
| 7 | Piastrelle. | 10 | 1.000 | 100.000 | 23.00 | 0.940 | 840 | 0.010 |
| 8 | Massetto ordinario | 40 | 1.060 | 26.500 | 80.00 | 193.000 | 1000 | 0.038 |
| 9 | Adduttanza Inferiore | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 |
| RESISTENZA = 0.727 m²K/W | | CAPACITA' TERMICA AREICA (sup) = 77.883 kJ/m²K | | | TRASMITTANZA = 1.378 W/m²K | | | |
| SPESSORE = 610 mm | | CAPACITA' TERMICA AREICA (inf) = 100.128 kJ/m²K | | | MASSA SUPERFICIALE = 496 kg/m² | | | |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.61 W/m²K | | FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.38 | | | SFASSAMENTO = 7.89 h | | | |

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D. Lgs.192/05 e s.m.i..

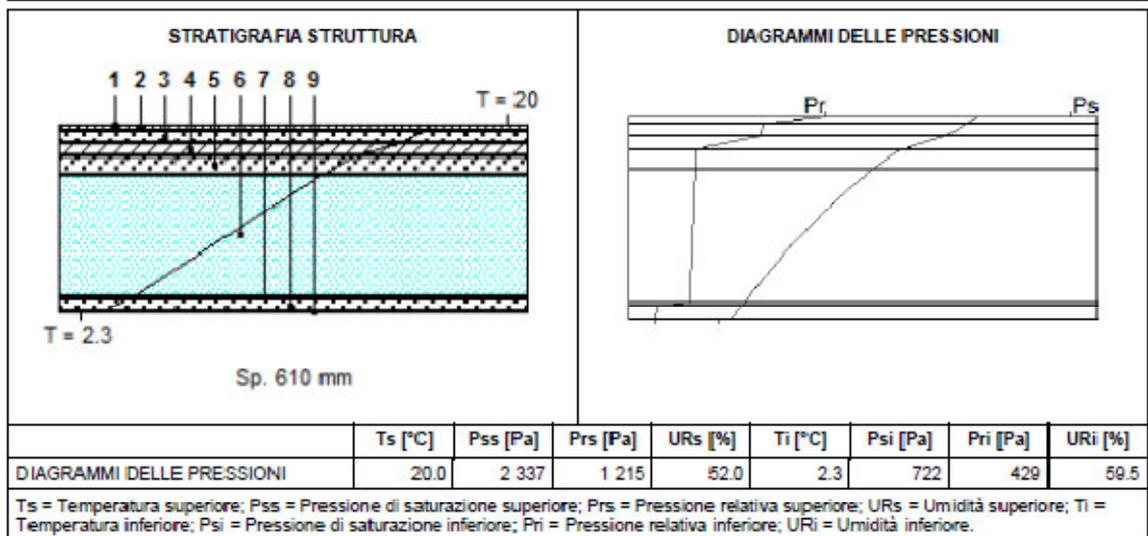


Figura 18. Stratigrafia e caratteristiche termofisiche del pavimento del corpo A

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: PV B 03
 Descrizione Struttura: PACCHETTO FINITURA CON PAVIMENTO IN GRES 30X80 POSTO SU SOLAIO STRUTTURALE CON CONTROSOFFITTO

| N. | DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²KW] |
|--|--|--|------------------|--------------|--------------------------------|------------------------|-----------------|-------------|
| 1 | Adduttanza Superiore | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 |
| 2 | Gres | 20 | 0.374 | 18.705 | 44.00 | 193.000 | 455.3 | 0.053 |
| 3 | Massetto in calcestruzzo alleggerito-2 | 40 | 0.580 | 14.500 | 38.00 | 193.000 | 1000 | 0.089 |
| 4 | Massetto in calcestruzzo alleggerito-1 | 40 | 1.160 | 29.000 | 18.00 | 193.000 | 1000 | 0.034 |
| 5 | Soletta laterocemento da 30 | 300 | | 1.835 | 600.00 | 193.000 | 1000 | 0.545 |
| 6 | Massetto in calcestruzzo alleggerito-2 | 100 | 0.580 | 5.800 | 90.00 | 193.000 | 1000 | 0.172 |
| 7 | Strato d'aria orizzontale (flusso ASCENDENTE) da 30 cm | 350 | 1.875 | 5.357 | 0.45 | 193.000 | 1008 | 0.187 |
| 8 | Cartongesso in lastre | 20 | 0.210 | 10.500 | 18.00 | 23.000 | 1000 | 0.095 |
| 9 | Adduttanza Inferiore | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 |
| RESISTENZA = 1.928 m²K/W | | CAPACITA' TERMICA AREICA (sup) = 48.312 kJ/m²K | | | TRASMITTANZA = 0.764 W/m²K | | | |
| S-PESORE = 870 mm | | CAPACITA' TERMICA AREICA (inf) = 38.476 kJ/m²K | | | MASSA SUPERFICIALE = 804 kg/m² | | | |
| TRASMITTANZA TERMICA PEIRIODICA = 0.02 W/m²K | | FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.03 | | | SFASAMENTO = -4.88 h | | | |

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs. 192/05 e s.m.i..

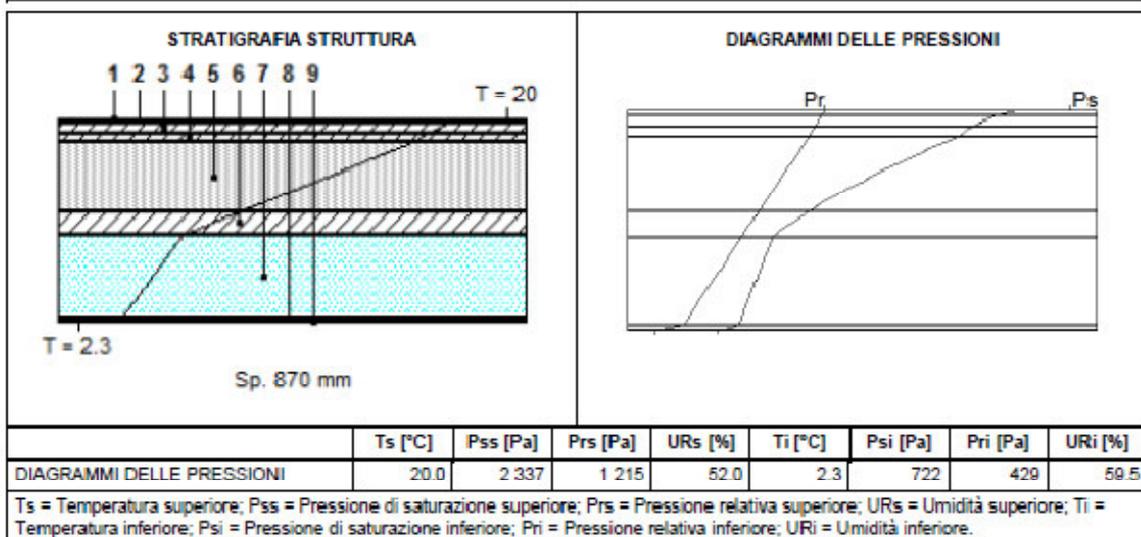


Figura 19. Stratigrafia e caratteristiche termofisiche del pavimento del corpo B

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: PV_a04
 Descrizione Struttura: PACCHETTO FINITURA CON PAVIMENTO VINILICO CONDUTTIVO

| Ni | DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²KW] |
|---|---|--|------------------|--------------|--------------------------------|------------------------|-----------------|-------------|
| 1 | Adduttanza Superiore | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 |
| 2 | resine antistatiche | 2 | 0.287 | 143.750 | 0.20 | 193.000 | 1 | 0.007 |
| 3 | Malta di cemento. | 40 | 1.400 | 35.000 | 80.00 | 8.500 | 1000 | 0.029 |
| 4 | Pannello isolante polistirolo | 5 | 0.045 | 9.000 | 0.15 | 2.080 | 1220 | 0.111 |
| 5 | Blocco da solaio di laterizio (495*200*250) spessore 220 | 220 | | 3.030 | 202.00 | 19.000 | 840 | 0.330 |
| 6 | Intonaco interno. | 10 | 0.700 | 70.000 | 14.00 | 18.000 | 1000 | 0.014 |
| 7 | Intonaco di calce e gesso. | 15 | 0.700 | 46.667 | 21.00 | 18.000 | 1000 | 0.021 |
| 8 | Strato d'aria orizzontale (flusso ASCENDENTE) | 760 | 1.250 | 1.603 | 1.01 | 193.000 | 1008 | 0.624 |
| 9 | Cartongesso in lastre | 15 | 0.210 | 14.000 | 13.50 | 23.000 | 1000 | 0.071 |
| 10 | Adduttanza Inferiore | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 |
| RESISTENZA = 1.878 m²K/W | | CAPACITA' TERMICA AREICA (sup) = 63.874 kJ/m²K | | | TRASMITTANZA = 0.728 W/m²K | | | |
| SPESORE = 1 087 mm | | CAPACITA' TERMICA AREICA (inf) = 43.168 kJ/m²K | | | MASSA SUPERFICIALE = 332 kg/m² | | | |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.29 W/m²K | | FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.27 | | | SFASAMENTO = 8.40 h | | | |
| s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i.. | | | | | | | | |

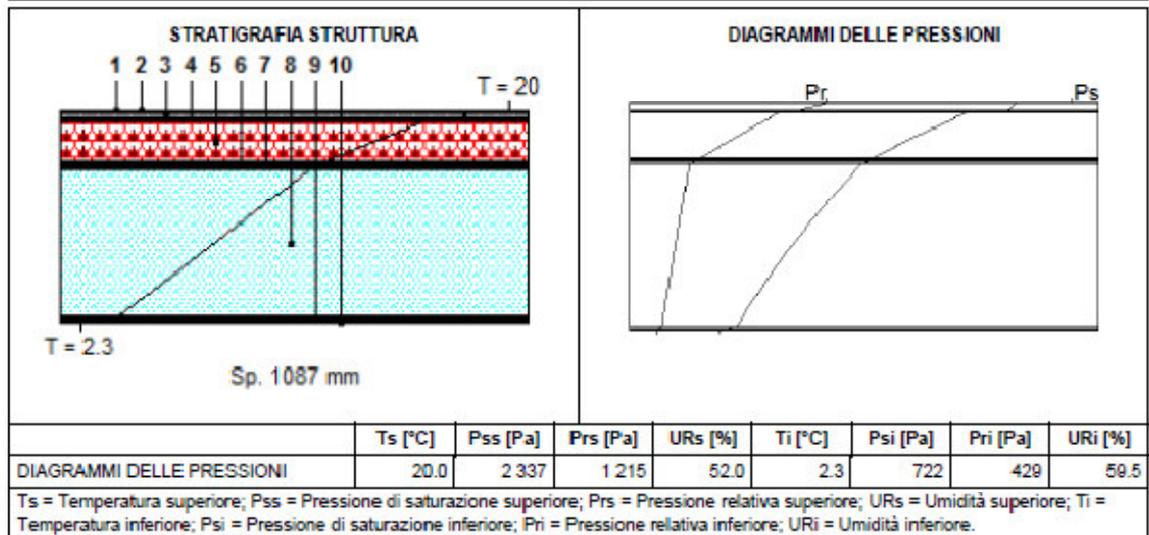


Figura 20. Stratigrafia e caratteristiche termofisiche dei solai interplaneti al corpo A

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: pv 2 piano
 Descrizione Struttura: PACCHETTO FINITURA CON PAVIMENTO VINILICO CONDUTTIVO

| N. | DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m ² K] | M.S. [kg/m ²] | P<50*10 ⁻² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m ² K/W] |
|--|---|---|------------------|---------------------------|--|------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | Adduttanza Superiore | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 |
| 2 | Fibre di vetro - feltri resinati - appl. interne - mv.16. | 60 | 0.046 | 0.770 | 0.96 | 150.000 | 1000 | 1.299 |
| 3 | Malta di cemento. | 20 | 1.400 | 70.000 | 40.00 | 8.500 | 1000 | 0.014 |
| 4 | Blocco da solaio di laterizio (495*200*250) spessore 220 | 220 | | 3.030 | 202.00 | 19.000 | 840 | 0.330 |
| 5 | Intonaco interno. | 10 | 0.700 | 70.000 | 14.00 | 18.000 | 1000 | 0.014 |
| 6 | Intonaco di calce e gesso. | 15 | 0.700 | 46.667 | 21.00 | 18.000 | 1000 | 0.021 |
| 7 | Strato d'aria orizzontale (flusso ASCENDENTE) | 200 | 1.250 | 6.250 | 0.26 | 193.000 | 1008 | 0.160 |
| 8 | Cartongesso in lastre | 15 | 0.210 | 14.000 | 13.50 | 23.000 | 1000 | 0.071 |
| 9 | Adduttanza Inferiore | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 |
| RESISTENZA = 2.080 m ² K/W | | CAPACITA' TERMICA AREICA (sup) = 10.050 kJ/m ² K | | | TRASMITTANZA = 0.481 W/m ² K | | | |
| SPESSORE = 640 mm | | CAPACITA' TERMICA AREICA (inf) = 40.180 kJ/m ² K | | | MASSA SUPERFICIALE = 292 kg/m ² | | | |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.07 W/m ² K | | FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.16 | | | SFASAMENTO = 8.43 h | | | |

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10⁻² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

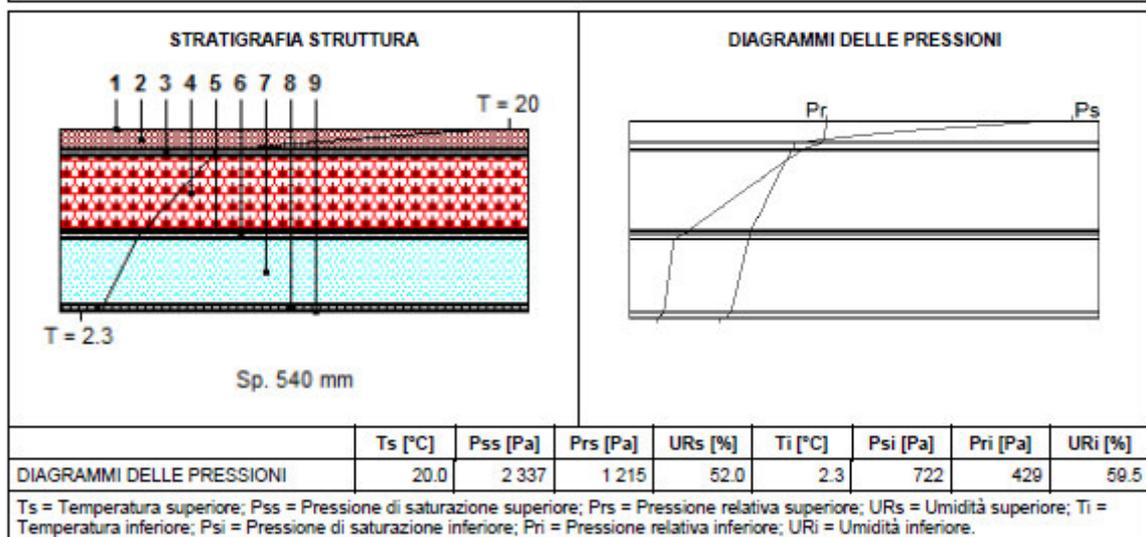


Figura 21. Stratigrafia con caratteristiche geometriche e termofisiche del sottotetto del corpo A

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

Codice Struttura: PV B 10
Descrizione Struttura: PACCHETTO FINITURA CON GHIAIETTO LAVATO BIANCO

| N. | DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore) | s [mm] | lambda [W/mK] | C [W/m²K] | M.S. [kg/m²] | P<50*10 ¹² [kg/msPa] | C.S. [J/kgK] | R [m²K/W] |
|---|---|--|------------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | Adduttanza Superiore | 0 | | 7.700 | | | 0 | 0.130 |
| 2 | Ghiaia lavata bianca. | 60 | 1.200 | 20.000 | 102.00 | 37.500 | 840 | 0.050 |
| 3 | Massetto in calcestruzzo alleggerito-2 | 120 | 0.580 | 4.833 | 108.00 | 193.000 | 1000 | 0.207 |
| 4 | Polistirene espanso in lastre ricavate da blocchi - mv 25 - Conforme a UNI /891 | 100 | 0.040 | 0.396 | 2.50 | 3.750 | 1200 | 2.525 |
| 5 | Guaina Bituminosa | 10 | 0.170 | 17.000 | 12.00 | 0.000 | 1000 | 0.059 |
| 6 | Massetto in calcestruzzo alleggerito-2 | 100 | 0.580 | 5.800 | 90.00 | 193.000 | 1000 | 0.172 |
| 7 | Adduttanza Inferiore | 0 | | 25.000 | | | 0 | 0.040 |
| RESISTENZA = 3.183 m²KW | | CAPACITA' TERMICA AREICA (sup) = 70.773 kJ/m²K | | | TRASMITTANZA = 0.314 W/m²K | | | |
| SPESSORE = 390 mm | | CAPACITA' TERMICA AREICA (inf) = 77.221 kJ/m²K | | | MASSA SUPERFICIALE = 315 kg/m² | | | |
| TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.09 W/m²K | | FAITTORE DI ATTENUAZIONE = 0.28 | | | SFASAMENTO = 10.17 h | | | |

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza Trasmissanza = Valori di resistenza e trasmissanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs. 192/05 e s.m.i..

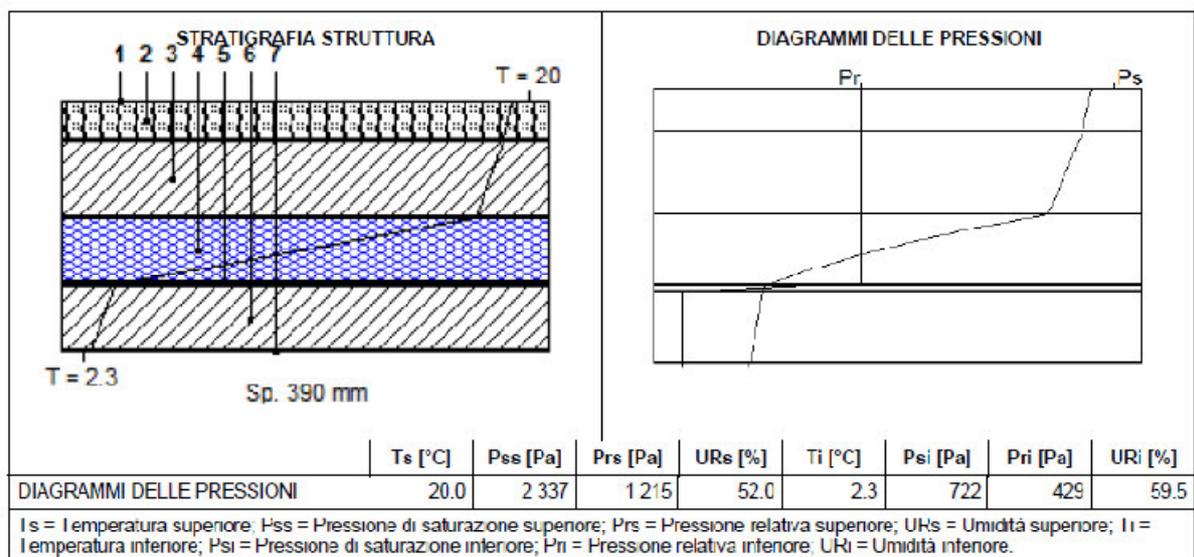


Figura 22. Stratigrafia e caratteristiche termofisiche della copertura del corpo B

4.3 Descrizione degli impianti di climatizzazione

Per il condizionamento dei locali sono presenti una pompa di calore aria-acqua a compressione di vapore invertibile ed attivazione elettrica a servizio dell'intero complesso del corpo A e n. 2 UTA a servizio del corpo B, rispettivamente della sala foyer e dell'auditorium: le batterie delle 2 UTA sono alimentate anch'esse da una pompa di calore aria/acqua a compressione di vapore invertibile, stessa marca e modello simile alla prima. In particolare in figura 24 si riporta la rappresentazione grafica delle 2 pompe di calore e in tabella 4 le caratteristiche energetiche delle 2 macchine.

Si tratta di 2 macchine Climaveneta, modelli NCES-N/R/B 0512 e NCES-N/B 0512: il primo modello, a servizio del corpo B, permette anche il recupero della totale del calore al compressore in funzionamento di refrigerazione, consentendo alla macchina l'alimentazione delle batterie calde delle Unità di Trattamento d'Aria (UTA) del corpo B: l'energia termica recuperata è inviata alle batterie della UTA tramite le due tubazioni aggiuntive collegate ad una delle 2 macchine, come riportato in foto.

Le pompe di calore sono dotati di N. 2 compressori rotativi di tipo Scroll, fluido refrigerante R410 A, ventilatori assiali e scambiatori a piastre saldo-brasate.

Le macchine provvedono anche alla produzione di ACS per i fabbisogni della struttura.

Nel corpo B, a servizio della sala Foyer e della sala auditorium, sono presenti 2 UTA, del tipo a tutt'aria, posizionate in apposito vano tecnico sulla copertura, in grado di regolare i parametri di temperatura e umidità dell'aria ambiente. In particolare durante la fase di messa a regime dell'auditorium, in assenza di occupanti, l'UTA dedicata elabora solamente aria di ricircolo, al fine di contenere i consumi. Nel periodo di funzionamento con presenza di occupanti nella sala le serrande vengono regolate per richiamare una quantità di aria esterna proporzionale al numero degli stessi. In condizioni di regime (250 occupanti) il carico la percentuale di aria esterna è pari al 75% dell'aria trattata totale (10.000 m³/h), rispettando il fabbisogno di 30 m³/h*persona richiesti dalla normativa.

Nell'atri di ingresso e il foyer invece, pur presentando un sistema di gestione in fase di avviamento identico a quello della UTA grande, presenta una quota di aria esterna a pieno regime pari al 100% (4000 m³/h) nel caso si massimo affollamento: in questi ambienti sono presenti come terminali ventilconvettori.

Ciascuna UTA è dotata di regolazione automatica, composta dagli elementi in capo (sonde di temperatura, sonde della qualità dell'aria, servomotori per serrande, ecc.), e da un stazione autonoma di regolazione a microprocessore, con compiti di controllo e regolazione dei parametri dei relativi impianti.



Figura 23. Pompe di calore aria/acqua invertibili ad attivazione elettrica, a servizio della struttura

Tabella 3. Dati energetici delle pompe di calore acqua/aria installate all'interno dei locali da climatizzare

| DATI TECNICI ED ENEGETICI DELLA POMPA DI CALORE | |
|---|--------------|
| Fluido frigorigeno | R410A |
| Alimentazione | 3-400V-50 Hz |
| PRESTAZIONI | |
| Capacità termica in riscaldamento [kW] | 136,0 |
| Potenza assorbita in riscaldamento [kW] | 42,3 |
| COP [-] | 3,21 |
| Capacità termica in raffreddamento [kW] | 120,00 |
| Potenza assorbita in raffreddamento [kW] | 44,0 |
| EER [-] | 2,73 |
| Potenza termica al recuperatore in funzionamento estivo | 161,00 |

| | |
|--|------|
| [kW] | |
| SCOP - Efficienza stagionale in riscaldamento [-] | 3,28 |
| SCAMBIATORI | |
| Portata scambiatore in refrigerazione [l/s] | 5,74 |
| Perdita di carico scambiatore in refrigerazione [kPa] | 46,6 |
| Portata scambiatore in refrigerazione [l/s] | 6,55 |
| Perdita di carico scambiatore in refrigerazione [kPa] | 60,6 |
| Portata scambiatore recuperatore in refrigerazione [l/s] | 7,76 |
| Perdita di carico scambiatore recuperatore in refrigerazione [kPa] | 85,1 |
| CIRCUITO FRIGORIFERO | |
| N. Compressori [-] | 2 |
| N. Circuiti [-] | 2 |
| Carica Refrigerante [kg] | 38,4 |
| LIVELLI SONORI | |
| Pressione sonora [dB(A)] | 69 |
| Potenza sonora [dB(A)] | 87 |

4.4 Sistema di illuminazione interna

Per l'illuminazione delle aree interne sono state adottate varie tipologie di corpi illuminanti, con totale uso della tecnologia fluorescente: si tratta di lampade fluorescenti compatte e fluorescenti tubolari di varia potenza a servizio delle diverse zone: nella figura 24 sono rappresentate alcune di queste lampade, mentre in tabella 4 è riportato l'elenco delle lampade divise per tipologie).

Le lampade fluorescenti compatte del tipo 2x55 W e le lampade tubolari fluorescenti da 58 W sono dedicate alla sala auditorium, mentre 15 degli apparecchi con lampade fluorescenti compatte da 2x42 W sono dedicate al vano di servizio della sala: queste tipologie di lampade vengono utilizzate per un numero di ore ridotto, legato all'utilizzo medio effettivo della sala auditorium nell'intervallo di tempo preso in considerazione nella presente diagnosi (circa 2 giorni al mese). Alle altre tipologie di lampade si è attribuito un numero di ore effettivo (che sarà dettagliato nella costruzione del modello energetico) basato su:

- le ore di accensione

- l'uso degli spazi della struttura nei locali adibiti ad uffici (non tutti utilizzati e alcuni in modo molto saltuario)
- l'impossibilità di sezionare i punti luce afferenti alle aree comuni

L'assorbimento elettrico totale dei corpi illuminanti è pari a 54,2 kW.



Lampade fluorescenti tubolari in apparecchi del tipo 4x18 W



Lampade fluorescenti tubolari in apparecchi del tipo 58 W



lampade fluorescenti compatte in apparecchi del tipo 2x13 W



Lampade fluorescenti tubolari in apparecchi del tipo 2X36 W

Figura 24. Alcune lampade e apparecchi installati nelle aree interne ed esterne della struttura

Tabella 4. Elenco dei corpi illuminanti installati nelle aree interne e loro caratteristiche energetiche

| TIPOLOGIA DI SORGENTI LUMINOSE | NUMERO DI APPARECCHI | POTENZA TOTALE ASSORBITA DAI CORPI ILLUMINANTI [W] |
|--------------------------------|----------------------|--|
| Fluorescente compattada 13 | 60 | 780 |
| Fluorescente compattada 13 | 20 | 520 |
| Fluorescente compatta 2x18 | 1 | 36 |
| Fluorescente compatta 3x18 | 7 | 378 |
| Fluorescente compattada 26 | 60 | 780 |
| Fluorescente compatta 2x26 | 54 | 2808 |
| Fluorescente compatta 2x32 | 63 | 6408 |

| | | |
|---|-----|--------------|
| Fluorescente compattada 42 | 23 | 966 |
| Fluorescente compatta 2x42 | 30 | 2520 |
| Fluorescente compatta 2x55 | 8 | 880 |
| Fluorescente tubolare lineare da 58 W | 42 | 2436 |
| Fluorescente tubolare lineare da 4x18 W | 496 | 35712 |
| Totale | 864 | 54224 |

4.5 Altre utenze elettriche presenti nella struttura

Attualmente la struttura non è utilizzata nel pieno delle sue potenzialità, pertanto è necessario eseguire delle valutazioni specifiche sul reale utilizzo della stessa. Il sopralluogo, effettuato dettagliatamente all'interno degli ambienti della struttura, ha permesso di censire le utenze elettriche presenti e valutarne l'uso presunto sulla base delle informazioni raccolte inerente l'uso degli spazi. Tra le utenze elettriche di tipo elettronico e informatico censite si possono contare 25 computer, 27 monitor, 10 PC portatili, 15 stampanti, 8 sistemi UPS (presenti nei locali tecnici), 64 sistemi di smistamento dati, 2 sistemi di amplificazione audio, 3 attrezzature radio e musicali. (vedi fig. 25).

Tra le altre utenze diverse da quelle di tipo informatico si possono contare 2 frigoriferi, 3 macchine del caffè e un distributore di bevande(vedi fig. 26).

Inoltre nell'edificio del corpo A è presente un ascensore, del quale sono state recuperate le caratteristiche tecniche per stimare l'assorbimento energetico presunto. Tutti i dispositivi censiti sono riportati nella successiva tabella, nella quale è stata eseguita una stima di consumo energetica per un uso nominale (considerando quindi le effettive ore di ufficio) e una stima di consumo energetico per un uso reale, basata sulle ore di utilizzo mediamente rilevate in ambiente. L'analisi di questi dati è da intendersi come stima di calcolo, in quanto non è presente alcuno dispositivo di controllo dei consumi energetici all'interno della struttura.



Figura 25. Utenze elettroniche ed informatiche presenti nello stabile



Figura26. Altre utenze elettriche presenti nello stabile

5 Analisi dei consumi energetici

I consumi elettrici effettivi sono stati ricavati dalle bollette di fornitura dell'energia elettrica. Il fornitore è variato più volte nel corso degli anni, passando da Edison a Gala (da marzo 2015) a Enel Energia (da aprile 2016), tutte società appartenenti al libero mercato dell'energia. L'utenza in esame presenta comunque una tipologia di contratto con tariffazione multioraria "per altri usi", potenza elettrica impegnata pari a 100 kW con fornitura in bassa tensione a 380 V.

Dalle informazioni reperite presso l'ente che gestisce la struttura, è stato rilevato che l'attuale densità di frequentazione può essere considerata stabile a partire dal mese di ottobre 2016. I dati energetici ricavati negli anni precedenti evidenziano che, fino a maggio/giugno del 2015 la struttura presenta dei consumi energetici ridotti, sembra andare a regime nei mesi successivi, per poi avere un'ulteriore riduzione nei mesi estivi di luglio, agosto e settembre 2016 (causa anche la scarsissima frequentazione); e solo da ottobre 2016 si può considerare in funzionamento con il regime attuale. Si osserva che i mesi autunnali, da ottobre e dicembre 2016, fanno registrare consumi ridotti per via delle condizioni climatiche particolarmente miti che hanno favorito assorbimenti elettrici molto contenuti delle unità di condizionamento.

Inoltre si segnala che non è stato possibile reperire i dati di energia elettrica prelevati nei mesi di gennaio, febbraio e marzo 2016.

In definitiva non si registra una storicità di dati sufficientemente lunga da poter fornire informazioni sufficientemente sicure dei consumi della struttura, per cui è necessario porre particolare attenzione alla costruzione del modello energetico.

Inoltre, come lecito aspettarsi, l'uso delle pompe di calore per il condizionamento dei locali del corpo A determina una evidente impennata degli assorbimenti elettrici sia nei mesi estivi che nei mesi invernali. Per quanto riguarda invece i consumi energetici della pompa di calore associata alle UTA del corpo B, questi sono particolarmente bassi a causa dell'uso occasionale della sala auditorium (stimato in media 4 ore ogni 2 settimane).

In figura 27 e 28 si riportano i dati di prelievo dell'energia elettrica mensile che è stato possibile reperire per gli anni 2015, 2016 e 2017.

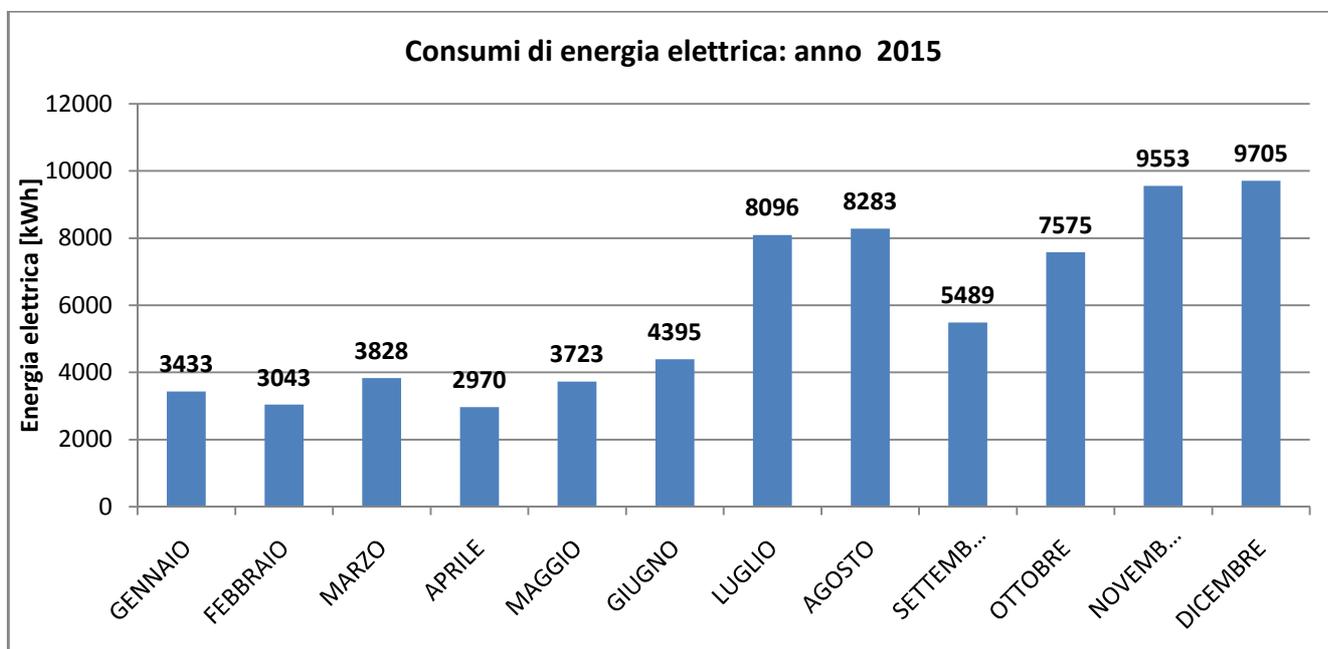


Figura 27. Andamento mensile dei prelievi di energia elettrica da rete. Anno 2015

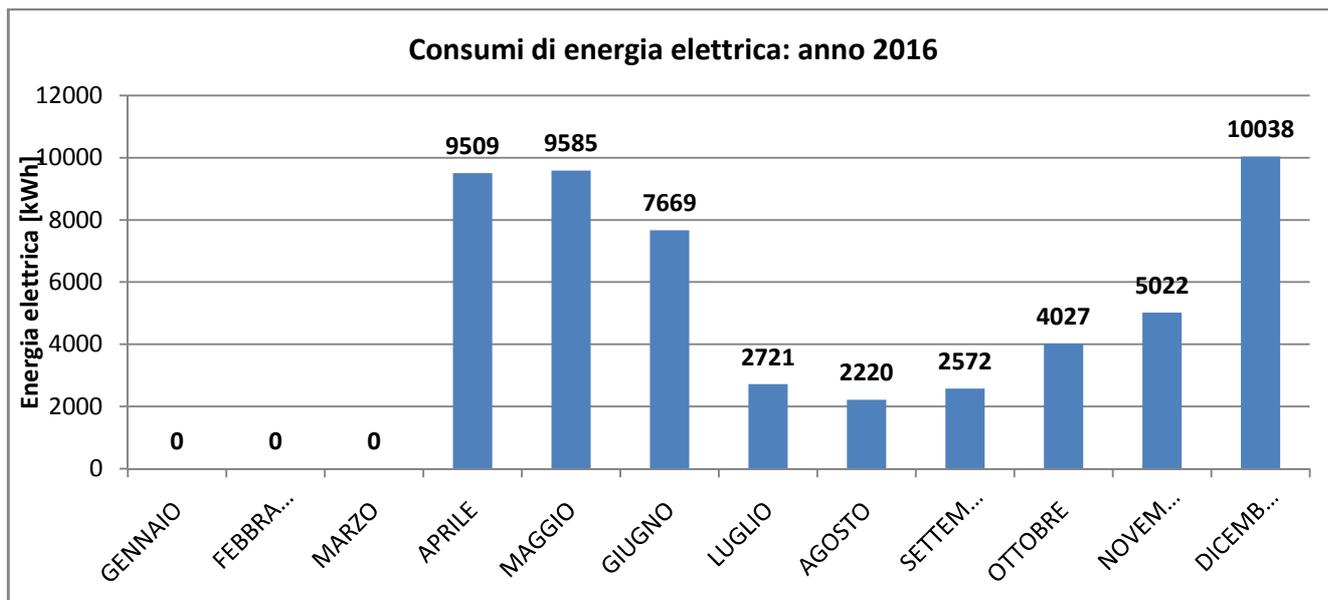


Figura 28. Andamento mensile dei prelievi di energia elettrica da rete. Anno 2016

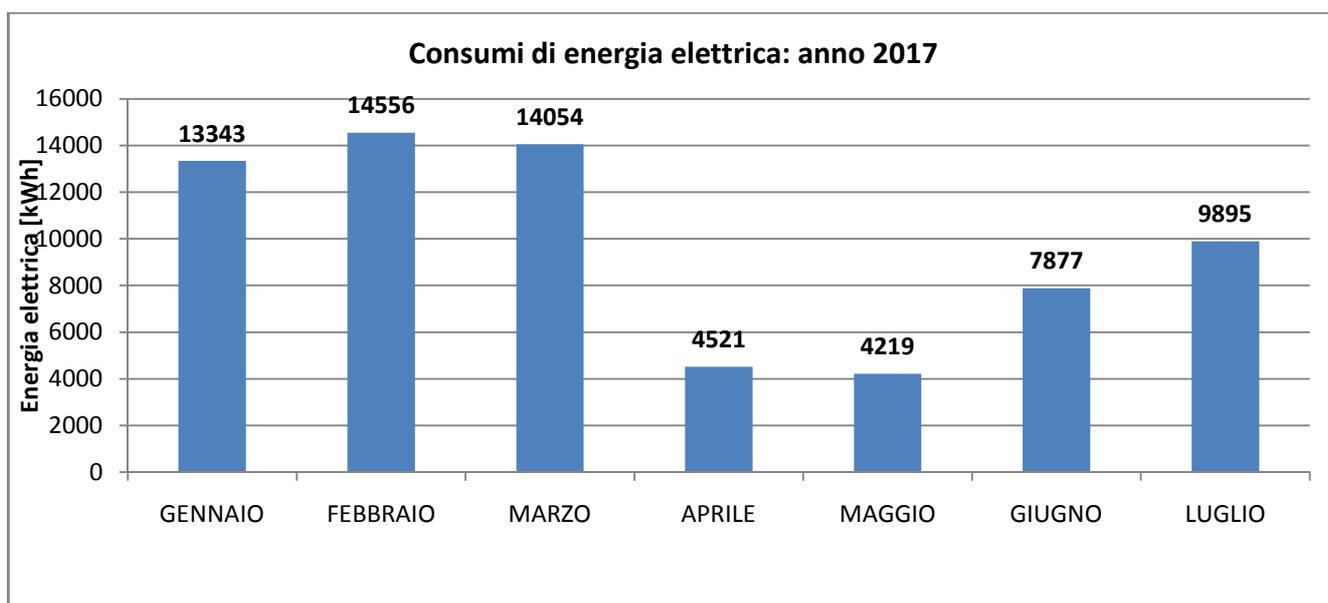


Figura 29. Andamento mensile dei prelievi di energia elettrica da rete. Anno 2017

Un'analisi più accurata delle bollette di energia elettrica, tradotte graficamente nelle figure 30, 31 e 32, evidenzia che per l'anno 2015 l'utenza tende a prelevare valori mediamente elevati in fascia F3, mentre i prelievi in fascia F1 sono in considerevole aumento nei mesi estivi ed invernali: in pratica è possibile affermare che la struttura è molto utilizzata nelle ore serali e anche nei giorni festivi, come tra l'altro confermato nelle interviste portate ai gestori della struttura, mentre i consumi nelle ore di punta sono sostanzialmente legati alle esigenze del condizionamento ambientale.

Per l'anno 2016 i prelievi nelle 3 fasce sembrano più equamente distribuiti nei mesi da aprile a novembre, quelli in fascia F3 mentre nel mese di dicembre si assiste ad una impennata dei consumi in fascia F1, praticamente tripli rispetto a quelli di fascia F3.

Questo trend si ripete anche nel 2017 e sempre con riferimento ai mesi in cui è previsto un uso considerevole dell'impianto di climatizzazione, mentre aprile e maggio presentano una distribuzione nuovamente più equa dei consumi di energia elettrica.

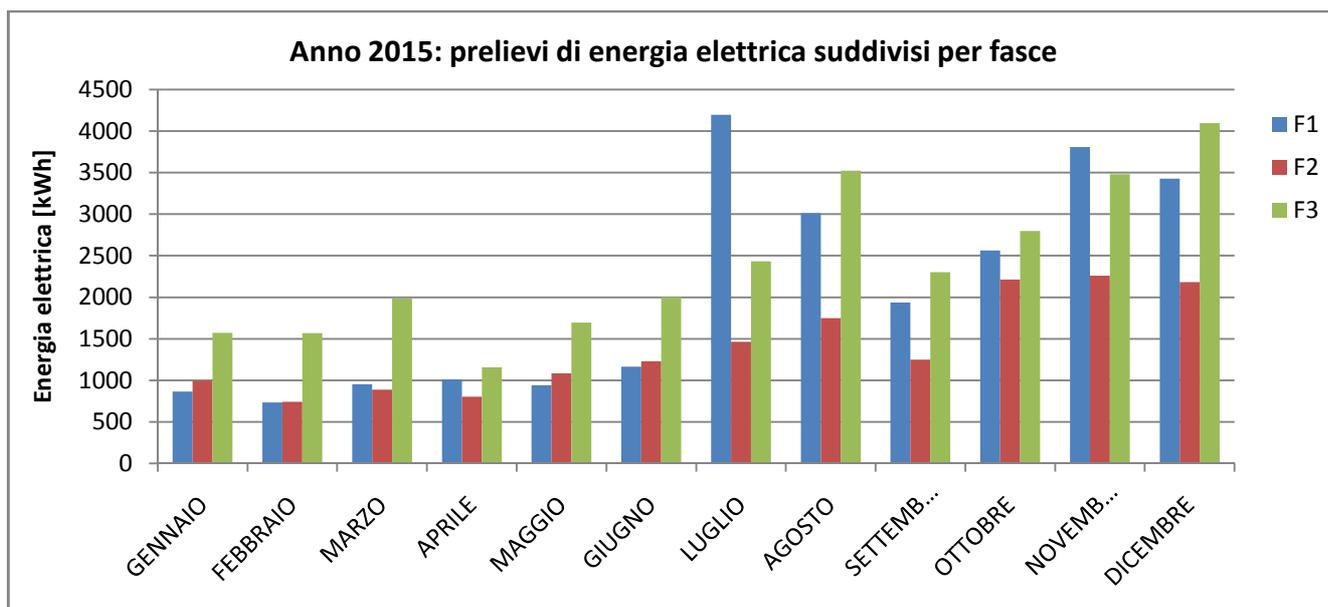


Figura 30. Prelievi mensili di energia elettrica suddivisi per fascia. Anno 2015

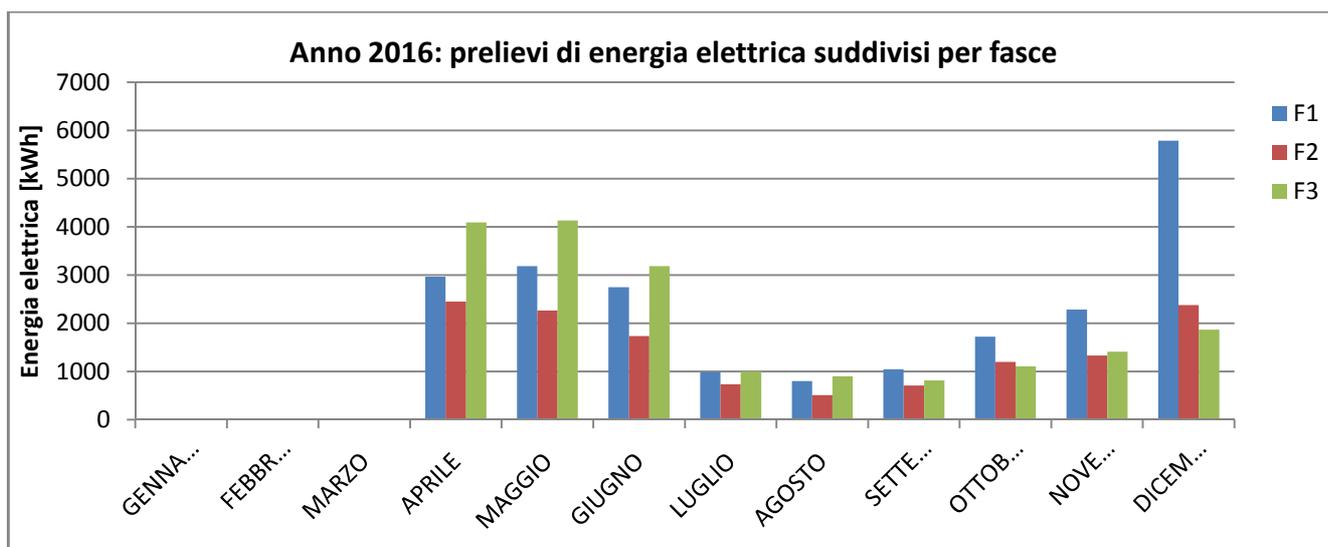


Figura 31. Prelievi mensili di energia elettrica suddivisi per fascia. Anno 2016

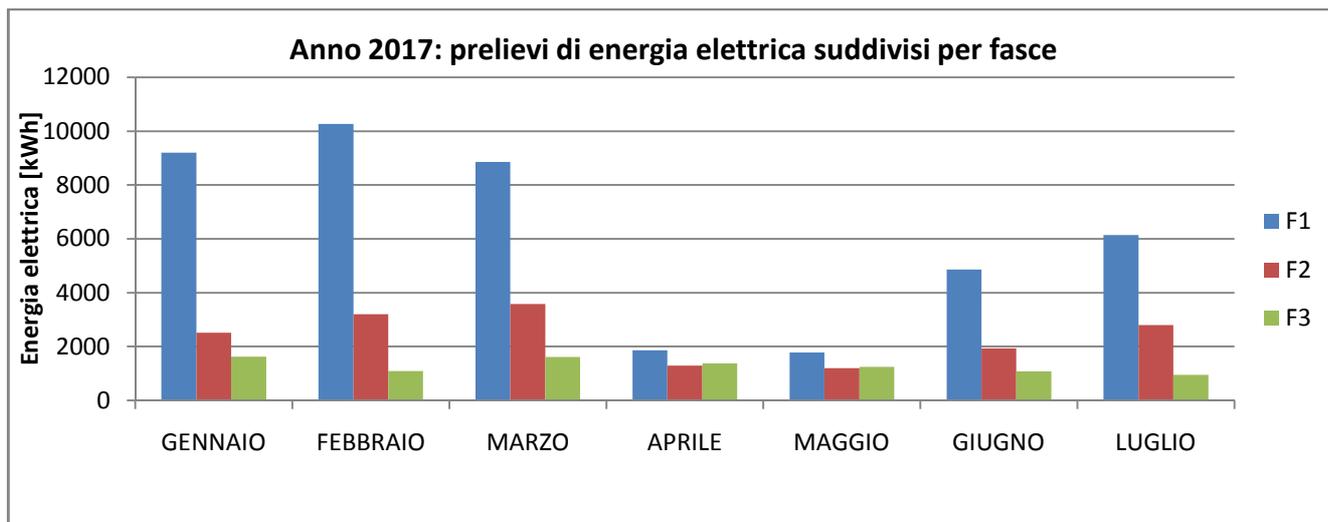


Figura 32. Prelievi mensili di energia elettrica suddivisi per fasce. Anno 2017

In definitiva l'analisi dei consumi reali della struttura consente di ricavare le seguenti informazioni:

- i consumi energetici della struttura non presentano una serie di dati storici sufficientemente lunga rispetto alle condizioni di utilizzo attuali della struttura, che possono ritenersi attendibili dal mese di ottobre 2016;
- i mesi di ottobre 2016, aprile e maggio 2017 sono particolarmente utili per capire i consumi elettrici medi annuali dell'edificio, quando presumibilmente il contributo della climatizzazione degli ambienti è pressoché nullo: in tali mesi si assiste ad un consumo di energia elettrica media mensile pari a 4250 kWh, corrispondente ad un consumo di energia elettrica medio annuo di 50 MWh.

i consumi di energia elettrica totali medi annui della struttura, con il presente regime di utilizzo, è pari a circa 95 MWh

6 Caratterizzazione del modello energetico

6.1 Consumi di energia elettrica delle utenze presenti

La valutazione dei consumi energetici è stata effettuata considerando l'uso attuale della struttura, i dispositivi presenti e le fatture di fornitura dell'energia elettrica. La struttura in esame non presenta consumi energetici progressi stabili per un periodo di tempo sufficientemente ampio, in quanto la stessa è entrata secondo l'attuale a regime solo da ottobre 2016. In particolare i locali della struttura, essendo molti di essi dati in locazione ad enti e associazioni, che la frequentano in maniera saltuaria, sono popolati in maniera discontinua e, se si esclude

l'attività di coworking prevista in leggera espansione, si ritiene che l'uso attuale della struttura possa comunque essere considerato rappresentativo anche per gli anni futuri, ai fini della costruzione del modello energetico.

Le analisi condotte e il modello energetico utilizzato consente tuttavia una rimodulazione veloce ed affidabile nell'ipotesi che la frequentazione della struttura dovesse subire variazioni sostanziali.

Il primo passo è stato quello di censire energeticamente tutte le utenze presenti *Polo Culturale e dell'Alta Formazione*, associando alle ore di funzionamento le potenze elettriche medie effettive, in base alle informazioni acquisite in campo e all'analisi desk sulle caratteristiche energetiche della strumentazione stessa censita. La stessa analisi dettagliata è stata eseguita sugli apparecchi di illuminazione presenti, considerandone l'uso, le caratteristiche dell'impianto di illuminazione e le sorgenti illuminanti utilizzate.

Nella tabella 5 sono riportati i consumi di energia elettrica associati alle utenze elettriche presenti, moltiplicando le ore di funzionamento dei vari dispositivi elettrici presenti per la potenza elettrica effettiva di utilizzo degli stessi. Per quanto riguarda utenze elettriche ad uso saltuario, come stampanti, ascensori, ecc...si è fatta una valutazione sulla frequenza di utilizzo: i valori presunti sono tutti riportati nelle note in tabella. Nell'ultima colonna sono state riportate le percentuali dei consumi elettrici rispetto al totale generale, in modo da valutare il peso relativo di ciascuna utenza presente nella struttura.

Tra le utenze sono considerati tutti i dispositivi elettrici inerenti l'impiantistica, come gli estrattori d'aria, le pompe di circolazione dell'impianto di condizionamento e le pompe di ventilazione delle UTA a servizio del corpo B, allo scopo di ottenere un quadro completo degli assorbimenti elettrici dell'intera struttura energetica.

Tabella 5. Ripartizione dei consumi di energia elettrica tra le diverse utenze presenti nella struttura energetica e relative percentuali

| DISPOSITIVO | RIPARTIZIONE/DESCRIZIONE | POTENZA ELETTRICA NOMINALE ¹ [kW] | POTENZA ELETTRICA MEDIA ASSORBITA [kW] | ORE FUNZIONAMENTO [h/anno] | ENERGIA ELETTRICA CONSUMATA [kWh/anno] | PERCENTUALE RISPETTO AL CONSUMO ELETTRICO TOTALE |
|---|---|--|--|----------------------------|--|--|
| IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE E PRODUZIONE DI ACS | POMPA DI CALORE CORPO A PER RISCALDAMENTO, RAFFRESCAMENTO E ACS | 44,00 | - | 2880 | 39591 ¹ | 40,78% |
| | POMPA DI CALORE UTA CORPO B PER RISCALDAMENTO, RAFFRESCAMENTO E ACS | 44,00 | - | 96 ² | 5467 ¹ | 5,63% |
| TERMINALI E AUSILIARI DI CENTRALE TERMICA | AREOTERMI E FANCOIL CORPO A | 6,51 | 4,56 | 420 | 1914 | 1,97% |
| | VENTILATORI UTA FOYER | 0,26 | 0,20 | 96 | 19 | 0,02% |
| | VENTILATORI UTA AUDITORIUM | 0,71 | 0,53 | 96 | 51 | 0,05% |
| | POMPA DI ALIMENTAZIONE CIRCUITO ACS | 0,21 | 0,15 | 2880 | 423 | 0,44% |
| | POMPA CIRCUITO PRIMARIO PDC CORPO A | 0,18 | 0,13 | 2880 | 363 | 0,37% |
| | POMPA CIRCUITO PRIMARIO PDC CORPO B | 0,18 | 0,13 | 96 | 12 | 0,01% |
| | POMPA DI ALIMENTAZIONE FLUIDO TERMOVETTORE CORPO A | 1,12 | 0,56 | 2880 | 1613 | 1,66% |
| | POMPA DI ALIMENTAZIONE FLUIDO TERMOVETTORE CORPO B | 0,74 | 0,37 | 96 | 36 | 0,04% |
| | POMPA DI SOLLEVAMENTO E PRESSURIZZAZIONE ACQUA PIOVANA | 0,09 | 0,06 | 52 | 3 | 0,00% |
| | ESTRATTORI D'ARIA CORPO A+INGRESSO | 1,48 | 1,48 | 2880 | 4262 | 4,39% |
| | ESTRATTORI D'ARIA CORPO B: FOYER+AUDITORIUM | 0,56 | 0,56 | 96 | 54 | 0,06% |
| ILLUMINAZIONE | FLUORESCENTI COMPATTE DA 13 W | 1,30 | 1,30 | 2500 | 3250 | 3,35% |
| | FLUORESCENTI COMPATTE DA 18 W | 0,41 | 0,41 | 2500 | 1035 | 1,07% |
| | FLUORESCENTI COMPATTE DA 26 W | 2,81 | 2,81 | 620 | 1740 | 1,79% |

| | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------|-------|------|-------|--------|
| | FLUORESCENTI COMPATTE DA 32 W | 4,03 | 4,03 | 1870 | 7540 | 7,77% |
| | FLUORESCENTI COMPATTE DA 42 W | 3,49 | 3,49 | 430 | 1500 | 1,54% |
| | FLUORESCENTI COMPATTE DA 55 W | 0,88 | 0,88 | 96 | 84 | 0,09% |
| | FLUORESCENTI LINEARI DA 18 W | 35,71 | 41,07 | 360 | 14785 | 15,23% |
| | FLUORESCENTI LINEARI DA 36 W | 3,10 | 3,56 | 12 | 43 | 0,04% |
| | FLUORESCENTI LINEARI DA 58 W | 2,44 | 2,80 | 96 | 269 | 0,28% |
| COMPONENTI ELETTRONICI E INFORMATICI | COMPUTER | 5,00 | 3,50 | 420 | 1470 | 1,51% |
| | MONITOR | 2,70 | 1,89 | 420 | 794 | 0,82% |
| | PC PORTATILI | 2,50 | 1,75 | 420 | 735 | 0,76% |
| | STAMPANTI | 15,00 | 7,50 | 360 | 2700 | 2,78% |
| | SISTEMI UPS | 1,60 | 0,48 | 3600 | 1728 | 1,78% |
| | SISTEMA DI SMISTAMENTO DATI | 0,32 | 0,22 | 8760 | 1962 | 2,02% |
| | SISTEMI DI AMPLIFICAZIONE AUDIO | 0,36 | 0,25 | 420 | 106 | 0,11% |
| | ATTREZZATURE RADIO E MUSICALI | 0,60 | 0,42 | 420 | 176 | 0,18% |
| ALTRE UTENZE ELETTRICHE | MACCHINE DEL CAFFE' | 4,20 | 4,20 | 90 | 378 | 0,39% |
| | DISTRIBUTORE BEVANDE | 0,25 | 0,15 | 8760 | 1314 | 1,35% |
| | ASCENSORE ** | 3,00 | 3,00 | 90 | 270 | 0,28% |
| | FRIGORIFERI | 0,40 | 0,16 | 8760 | 1402 | 1,44% |
| NOTE: | | | | | | |
| ¹ Calcolato sulla base della modellazione energetica della struttura e delle reali condizioni di funzionamento | | | | | | |
| ² Considerato un utilizzo saltuario dei locali del corpo B (un evento in media ogni 2 settimane) | | | | | | |

6.2 Validazione del modello di calcolo

Il calcolo dei valori corrispondenti all'energia elettrica consumata per la climatizzazione estiva ed invernale dei locali e la produzione di ACS è stato eseguito con l'ausilio del modello di calcolo per individuare i fabbisogni termici della struttura ed effettuando un ridimensionamento in base ai fattori di carico e alle ore di funzionamento annuo.

Questo approccio ha consentito di ricavare non solo i valori di riferimento nominali relativi ai consumi energetici associati al condizionamento ambientale, estivo ed invernale, e ai fabbisogni di ACS, ma anche la ripartizione percentuale degli stessi consumi energetici da associare alle dispersioni dell'involucro, alla ventilazione, agli eventuali apporti solari e interni gratuiti, in modo da ottenere un'allocazione attendibile dei consumi energetici globali ai vari centri di consumo individuati.

In particolare i consumi di energia elettrica associati alla pompa di calore sono stati ricavati considerando sia le reali condizioni di utilizzo della struttura, sia le prestazioni medie delle macchine in funzione delle temperature esterne della località di riferimento, basate sullo studio dell'andamento del COP teorico o limite (e ipotizzando che lo stesso comportamento delle prestazioni venga seguito dal COP reale - vedi figura 33): poiché il COP limite è funzione delle sole temperature degli ambienti di scambio termico interno ed esterno (SET inferiori e superiori rispetto al ciclo di funzionamento della macchina frigorifera) è possibile applicare la variazione di valore di questo sul COP reale dichiarato dal costruttore.

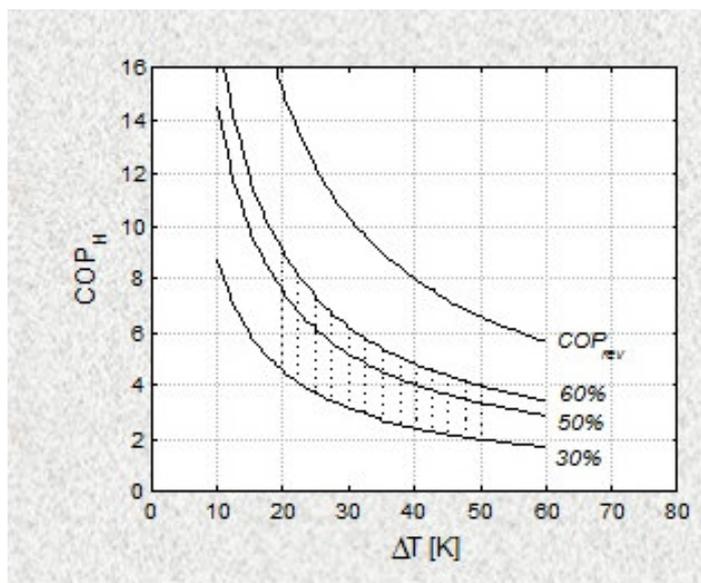


Figura 33. Variazione del COP reale al variare del COP limite in funzione della differenza di temperatura tra sorgente calda e sorgente fredda

La modellazione dei fabbisogni dell'edificio in condizioni standard è stato effettuato mediante l'utilizzo del software Termus - Acca Software (conforme alle norme UNI-TS 11300) secondo il metodo di calcolo prescritto dalla normativa vigente. Il valore così calcolato è corretto secondo fattori di aggiustamento che tengono conto dei dati climatici reali registrati e del reale utilizzo degli impianti rispetto all'uso della struttura.

Il metodo di calcolo previsto dall'attuale normativa italiana è su base mensile: la domanda di energia per climatizzazione ($Q_{H,nd}$, in inverno e $Q_{C,nd}$, in estate) dell'edificio o dello spazio servito dall'impianto, è calcolata in base alle seguenti equazioni di bilancio diversa a seconda che ci si trovi nella stagione di riscaldamento o di raffreddamento:

$$(1) \quad Q_{H,nd} = Q_{ls} - \eta_{H,gn} * Q_{gn}$$

$$(2) \quad Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} * Q_{gls}$$

essendo per l'equazione (1):

- Q_{ls} l'energia termica per trasmissione e ventilazione (dispersioni)
- Q_{gn} l'energia termica derivante dagli apporti gratuiti (da radiazione solare e apporti interni)
- $\eta_{H,gn}$ il fattore di utilizzo degli apporti gratuiti

e per l'equazione (2)

- Q_{gn} l'energia termica (o i carichi termici) dovuti alla radiazione solare e gli apporti interni
- Q_{gls} l'energia termica di dispersione dall'edificio
- $\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzo dell'energia termica da dispersione

Si può notare che in queste equazioni non compare esplicitamente un termine che rappresenti l'energia termica accumulata dalle masse dell'edificio: infatti dei fenomeni di accumulo e restituzione di calore si tiene conto attraverso i coefficienti di utilizzazione degli apporti termici ($\eta_{H,gn}$) e delle dispersioni termiche ($\eta_{C,ls}$). Questi coefficienti sono direttamente proporzionali alla capacità termica C efficace ed ai guadagni, mentre sono inversamente proporzionali al coefficiente globale di scambio termico H , dunque alle dispersioni.

Pertanto nella trattazione della presente diagnosi i vari termini nell'equazione (1) e (2) sono stati ripartiti secondo i risultati restituiti dal modello energetico e ad essi sono stati attribuiti i consumi di energia elettrica della pompa di calore per coprire i carichi individuati, come da successiva tabella 6.

Tabella 6. Fabbisogni di energia termica ottenuti dalla modellazione dell'edificio e fattori di riduzione applicati alle reali condizioni

| FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA [kWh] | | | |
|--|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| | CONDIZIONI NOMINALI | CONDIZIONI REALI | FATTORE DI RIDUZIONE |
| RISCALDAMENTO | | | |
| TRASMISSIONE | 247833 | 99866 | 40,3% |
| VENTILAZIONE | 68373 | 29029 | 42,4% |
| APPORTI GRATUITI | - 172569 | - 68004 | 39,4% |
| RAFFRESCAMENTO | | | |
| APPORTI SOLARI E INTERNI | 380611 | 47514 | 34,9% |
| CONTRIBUTO DA DISPERSIONE E ACCUMULI | - 183699 | - 23662 | 33,8% |
| FABBISOGNO DI ACS [kWh] | | | |
| ACS | 15612 | 6765 | 43,3% |

I diversi valori percentuali ottenuti in tabella sono da ricondurre ai contributi diversi che il corpo A e il corpo B forniscono sia in termini di dispersioni, accumuli, trasmissione e ventilazione sia in termini di fattori di utilizzo.

Per quanto riguarda la restante parte dei consumi elettrici riportati in tabella 5, si è proceduto con una verifica derivante dalle informazioni ottenute dai prelievi di energia elettrica nei mesi dove presumibilmente l'impianto di condizionamento non è stato utilizzato o comunque presenta una incidenza trascurabile: i prelievi di energia elettrica annuali previsti, escludendo anche l'attivazione degli ausiliari e gli assorbimenti

degli ausiliari per l'assenza della climatizzazione, assumono un valore medio annuale di 48 MWh contro il valore di 50 MWh medio annuo ricavato dall'analisi dei prelievi di energia elettrica, registrando uno scarto di solo il 4%, che può essere considerato più che accettabile per convalidare il modello energetico.

Infine per quanto riguarda i fabbisogni dovuti all'illuminazione, la modellazione energetica fornisce consumi di energia elettrica pari a 100942 kWh a fronte di un consumo reale stimato, in base all'utilizzo della struttura, pari a 30245 kWh, corrispondente ad un fattore di riduzione pari al 30%, valore medio in linea con gli altri fattori di riduzione applicati in tabella 6.

6.3 Ripartizione dei consumi di energia elettrica per centri di consumo

Una volta ottenuto il quadro dei consumi di energia elettrica di tutte le utenze, è possibile ripartire i consumi energetici tra le attività/servizi presenti. Riprendendo il diagramma di flusso degli usi energetici di figura 2, si ottiene un modello energetico che ripartisce i consumi di energia elettrica tra i centri di consumo individuati e le rispettive sottoripartizioni principali, e le rispettive sottovoci (figura 34). **Si evidenzia che gli assorbimenti elettrici dovuti alla climatizzazione sono calcolati al netto dei contributi gratuiti che figurano nelle equazioni di bilancio dell'edificio (1) e (2):** tali contributi sono stati proporzionalmente ripartiti tra trasmissione e ventilazione nel calcolo della climatizzazione invernale.

Si evidenzia che la maggior parte dei consumi elettrici è da attribuire agli assorbimenti delle pompe di calore a servizio del corpo A e della UTA del corpo B (42,94 MWh). In generale se si somma a questo consumo anche quelli dovuti agli ausiliari di centrale si ottiene un consumo energetico pari a 51,69 kWh. L'illuminazione rappresenta il secondo centro di consumo più energivoro, con il 31,2%. Le utenze elettriche assorbono, allo stato attuale un consumo di energia elettrica pari al 13,4%, mentre trascurabile è l'uso associato all'ACS (2,2%). La distribuzione percentuale tra i vari centri di consumo principali individuati è riportato nel grafico di figura 35.

I risultati ottenuti si ritengono perfettamente in linea con quelli attesi dalla struttura in esame sia in riferimento alla tipologia che in riferimento alla destinazione d'uso che agli impianti presenti: l'illuminazione ricopre una quota parte (1/3 del totale) non trascurabile, soprattutto in virtù del fatto che la climatizzazione viene coperta da macchine ad assorbimento elettrico. La struttura è dotata di ampie superfici vetrate e gli assorbimenti nella stagione di raffrescamento sono considerevoli, nonostante una frequentazione più contenuta della struttura. I consumi associati alle altre utenze elettriche, sebbene inferiori alle altre voci principali, sono non trascurabili per quanto riguarda i componenti elettronici e informatici distribuiti nei vari uffici.

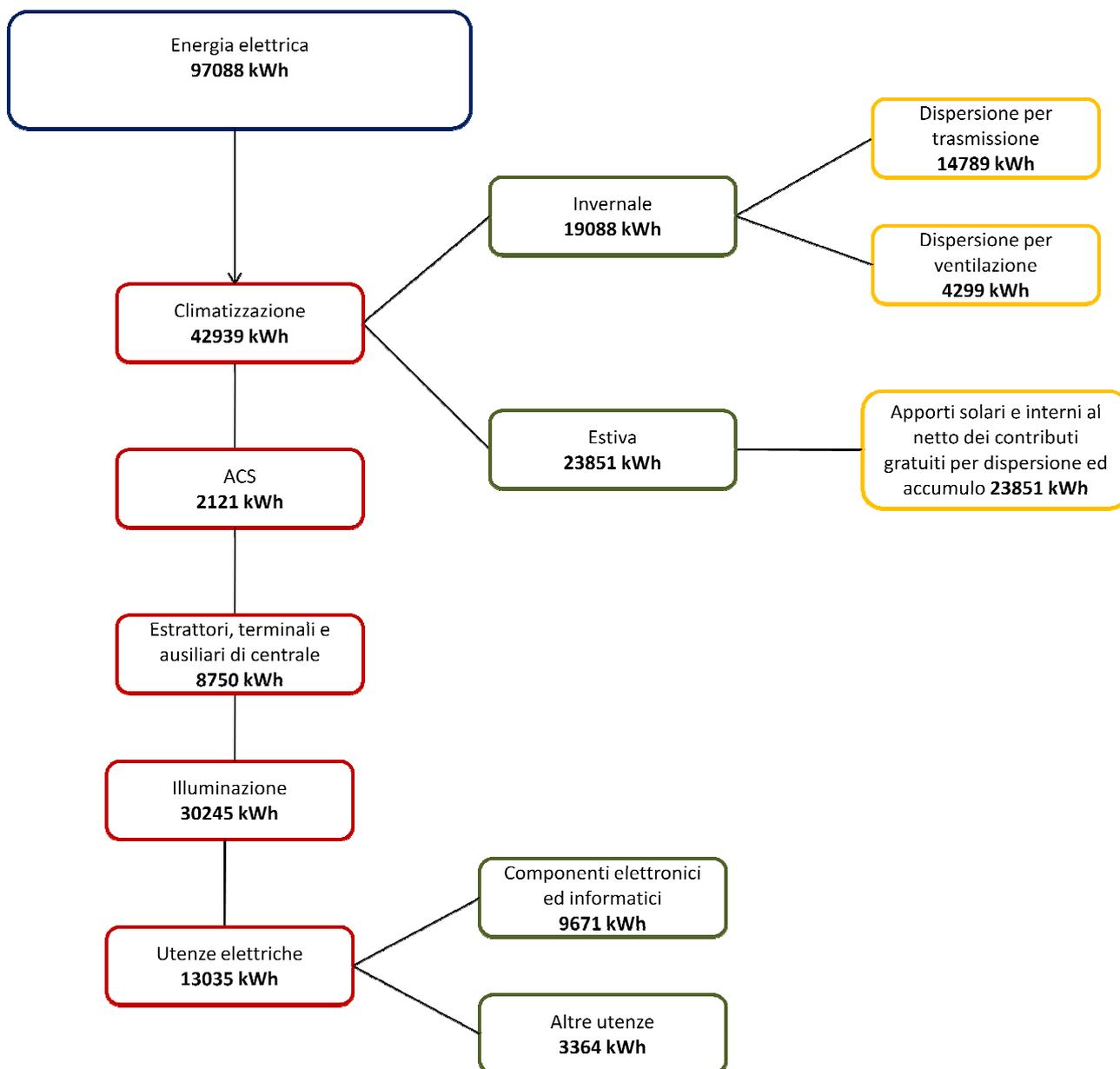


Figura 34. Suddivisione dei consumi di energia elettrica rispetto al modello energetico di riferimento

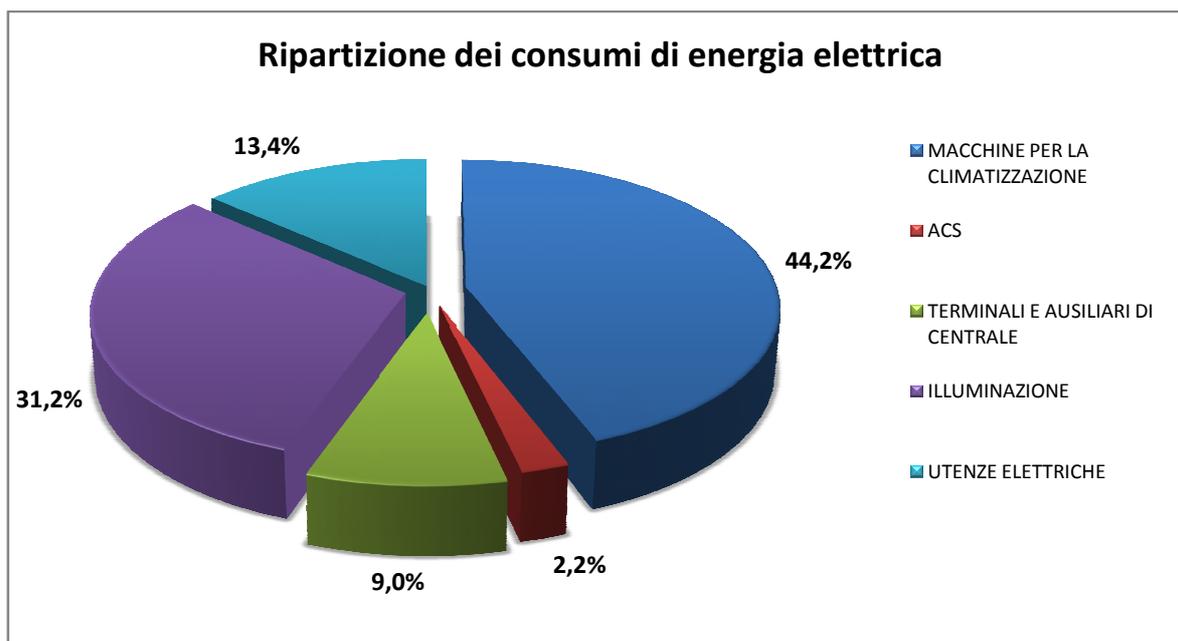


Figura 35. Ripartizione percentuale dei consumi di energia elettrica tra i principali centri di consumo presenti

I consumi di energia elettrica per la climatizzazione costituiscono il 44,2% dei consumi totali: essi sono ripartiti in 55,5% per la stagione estiva e in 45,55% nella stagione invernale (figura 36). Una ulteriore sottoripartizione dei consumi di energia elettrica è stata associata ai fabbisogni per trasmissione e ventilazione. Nello specifico nella stagione invernale sono stati quantificati gli assorbimenti elettrici associati alla trasmissione e alla ventilazione, dopo aver scomputati in modo proporzionale gli apporti gratuiti dovuti sia agli effetti di accumulo della radiazione solare che agli apporti gratuiti interni: ovviamente tale ripartizione è solo da considerarsi indicativa, ma molto utile per una eventuale valutazione dei risparmi energetici che si possono ottenere agendo solo su determinati componenti sull'edificio (figura 37).

Il consumo di energia elettrica per la climatizzazione estiva dell'edificio è calcolato al netto dei contributi positivi degli scambi termici, dovuti alle dispersioni e agli effetti di accumulo inerziale della struttura, è pari a 23851 kWh.

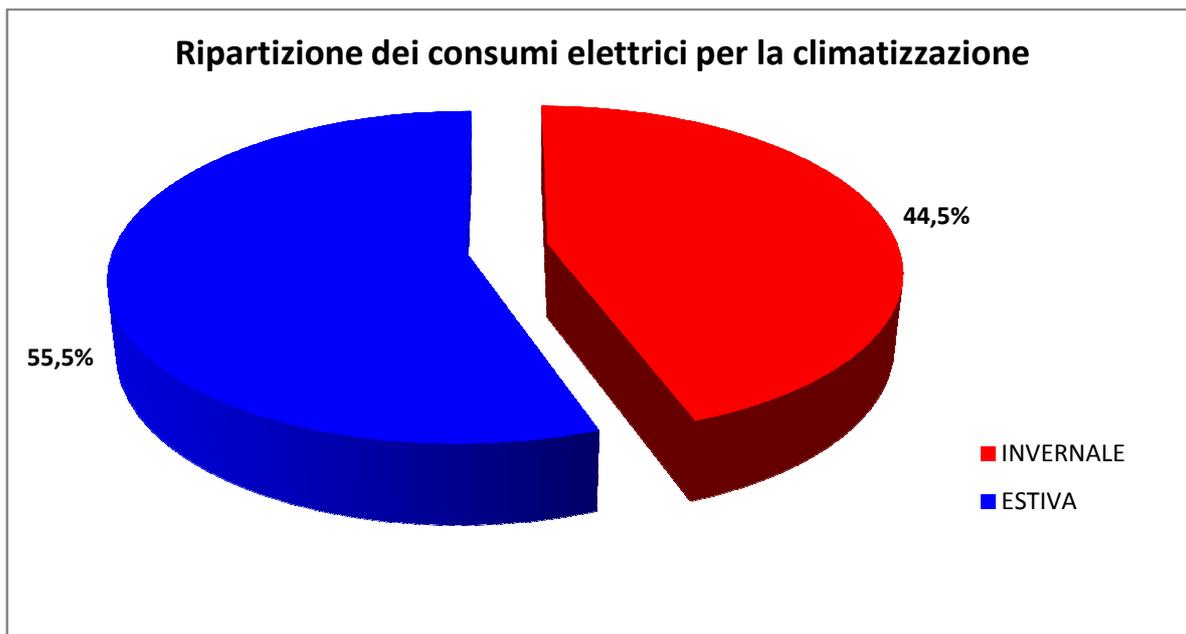


Figura 36. Ripartizione tra i consumi di energia elettrica delle PdC per la climatizzazione estive ed invernale

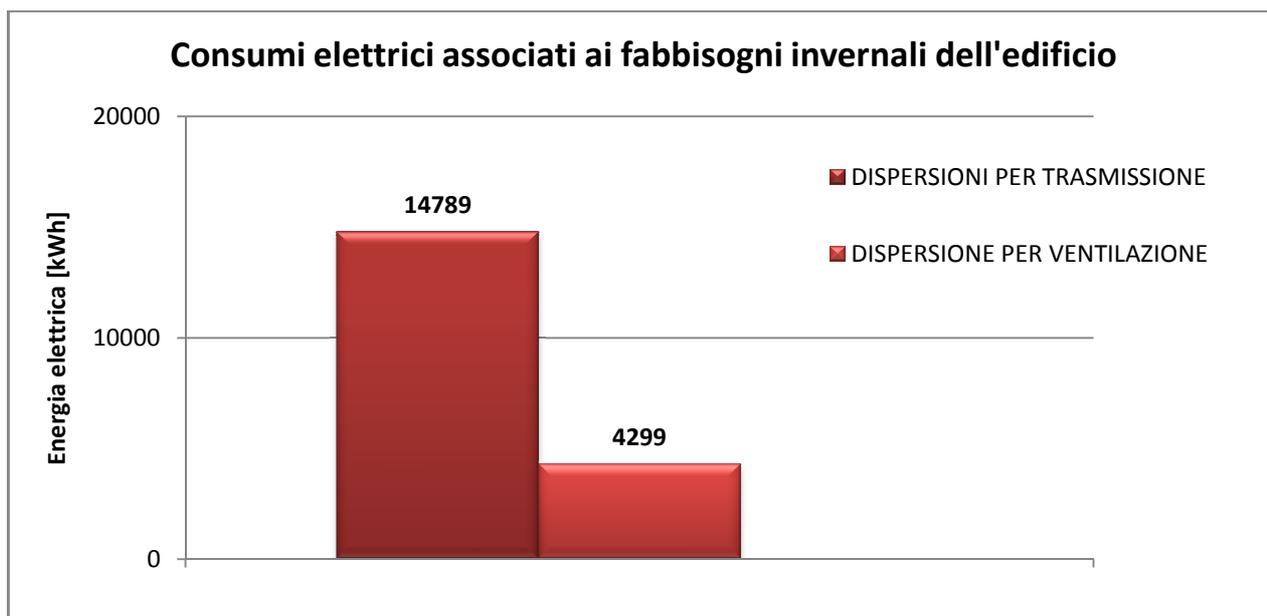


Figura 37. Ripartizione degli assorbimenti elettrici per la trasmissione e ventilazione al netto apporti gratuiti in regime invernale

Infine il grafico di figura 38 riporta la ripartizione delle restanti utenze elettriche, suddivise per componenti elettroniche e informatiche e altre utenze elettriche a servizio comune (come frigoriferi, distributori di bevande ascensore, ecc...), dettagliati in tabella 5. Alle utenze di tipo elettronico e da informatico sono associati i 3/4 dei consumi di energia rimanenti, risultato coerente con la destinazione d'uso della struttura.

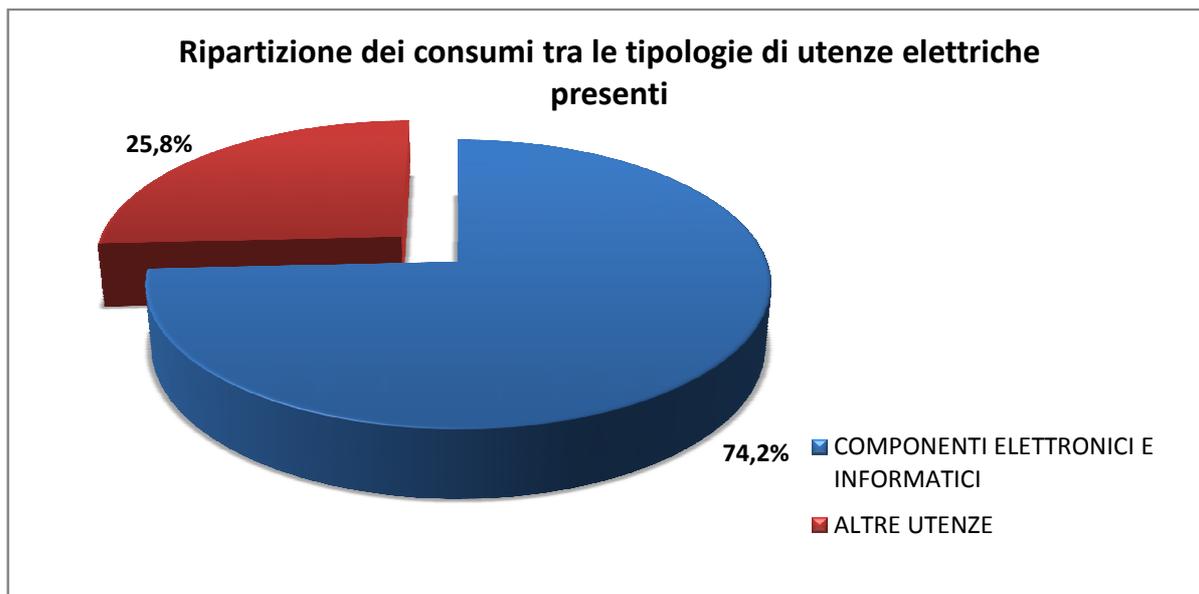


Figura 38. Ripartizione percentuale dei consumi di energia elettrica tra le altre utenze elettriche presenti

6.4 Indici di prestazione energetica dell'edificio

Come evidenziato nel capitolo precedente, l'analisi dei consumi energetici ha preso in considerazione i consumi di energia elettrica, stimati in 97,1 MWh/anno: tali consumi coprono la quasi totalità dei fabbisogni energetici previsti nell'edificio nelle attuali condizioni di regime.

I consumi di energia elettrica derivano dal rendimento medio di produzione nazionale di energia elettrica degli impianti di produzione centralizzati e non, pertanto per poter avere un quadro generale dei consumi energetici complessivi si può fare riferimento all'energia primaria espressa in TEP (Tonnellata Equivalente di Petrolio). Il fattore di conversione utilizzato è il seguente:

$$1 \text{ kWh di energia elettrica} = 0,187 \times 10^{-3} \text{ TEP}$$

Il vettore energia elettrica si riferisce all'utilizzo energetico presso l'utente finale, pertanto è necessario prendere in considerazione il fatto che la stessa energia elettrica è stata prodotta tramite la combustione di combustibili fossili in centrale.

Il fabbisogno complessivo in TEP risulta pertanto pari a 24,272 TEP.

In figura 39 si riporta la ripartizione dei consumi di energia primaria in TEP tra i 3 centri di consumo individuati: condizionamento (estivo e invernale) e produzione di ACS, illuminazione e altre utenze elettriche.

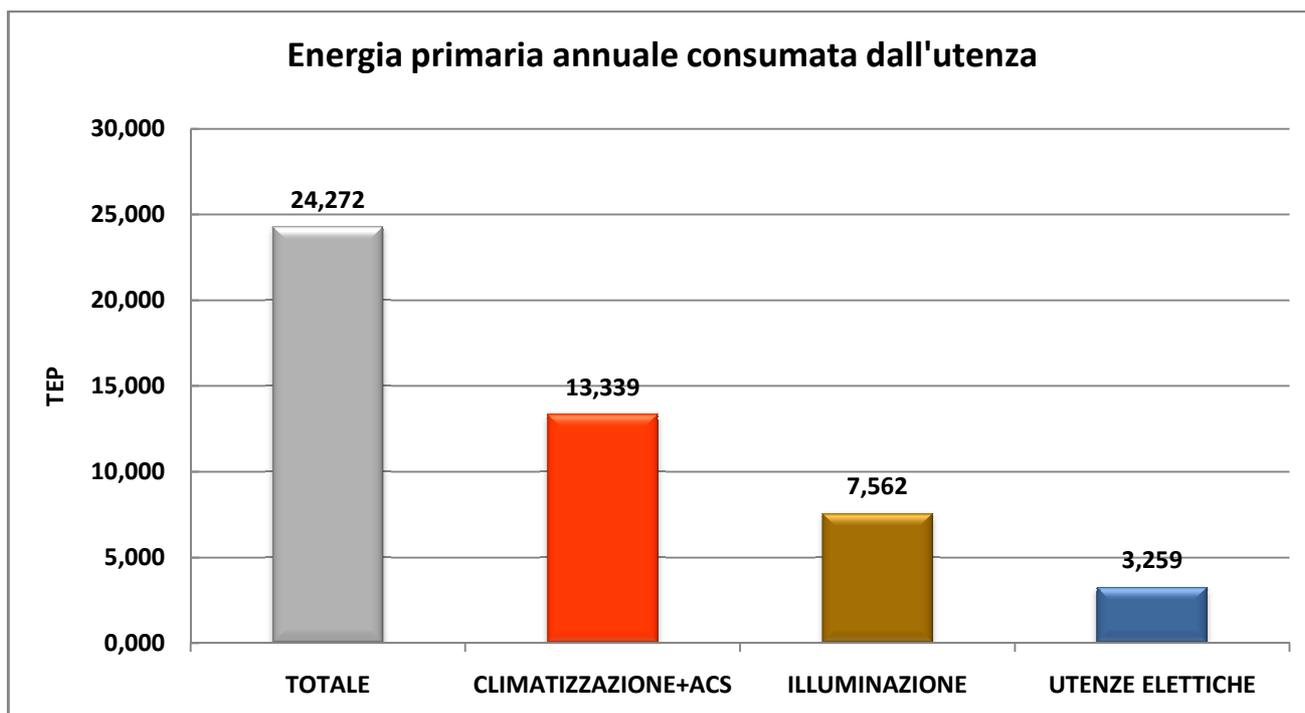


Figura 39. Energia primaria espressa in TEP tra i vari centri di consumo individuati per l'edificio in esame

A partire dai consumi di energia primaria, è possibile ricavare alcuni indicatori di performance (i cosiddetti ENergy Performance Indexes, o ENPIs), che forniscono un valore numerico relativo all'efficienza energetica della struttura energetica analizzata. La costruzione degli ENPIs si basa sulla normalizzazione del quantitativo di energia consumato da un'utenza rispetto a una o più variabili che lo influenzano in maniera diretta e che ad esso sono naturalmente correlate.

Gli ENPIs permettono di condensare le prestazioni energetiche di un'utenza o di un processo all'interno di un unico numero che, monitorato nel tempo, risulta utile ai fini di:

- valutare in continuo l'efficienza energetica dell'organizzazione e individuare eventuali decadimenti anomali, legati per esempio a un guasto o a un malfunzionamento di qualche apparecchiatura;
- stimare il potenziale di miglioramento di consumo energetico (o un processo produttivo nel caso dell'industria) rapportando il valore reale dell'indicatore registrato sul sito con un valore di riferimento (per esempio una baseline di mercato se disponibile);
- verificare l'efficacia di un intervento migliorativo attraverso il confronto tra gli indicatori prima e dopo la sua realizzazione.

La tabella 7 riporta i valori dell'indice di prestazione energetica, ottenuti normalizzando i TEP rispetto alla superficie utile dell'edificio ed esprimendo il valore in TEP/m², calcolato per i diversi centri di consumo energetico.

Tabella 7. Emissioni 2016 di anidride carbonica in atmosfera pre-intervento

| Indice efficienza energetico: <i>consumo energia/superficie sede</i>[TEP/m²] | |
|--|-------------|
| CLIMATIZZAZIONE +ACS | 5,04 |
| ILLUMINAZIONE | 2,77 |
| UTENZE ELETTRICHE | 1,57 |
| TOTALE | 9,37 |

6.5 Emissioni di anidride carbonica

L'impiego di energia per l'uso di un edificio o un processo produttivo è un fenomeno che, oltre ad avere delle implicazioni dirette di tipo economico (che si traducono nell'importo fatturato nella bolletta di fornitura), ha anche dei risvolti di tipo ambientale, legati principalmente alle emissioni di sostanze inquinanti e gas climalteranti in atmosfera.

Nell'ottica quindi di una diagnosi energetica non solo finalizzata alla riduzione dei costi dell'ente ma anche al contenimento dell'impatto ambientale si vuole fornire un quadro delle emissioni di anidride carbonica legate all'attività svolta dalla committenza considerando la CO₂ prodotta per via indiretta, ovvero legata alla produzione dell'energia elettrica utilizzata dalla struttura.

La procedura di calcolo consiste nel moltiplicare le quantità annue di energia elettrica per un determinato fattore di emissione FE, che esprime la quantità di sostanza inquinante emessa in atmosfera per quantitativo di energia primaria immessa, in funzione della tipologia di combustibile impiegato e della tecnologia costruttiva del generatore.

Per il sistema elettrico italiano, secondo la serie storica dei fattori di emissione nazionali (1990-2012) per la produzione ed il consumo di elettricità pubblicata da ISPRA (www.sinanet.isprambiente.it), il fattore di emissione relativo all'anidride carbonica al 2015 ammonta complessivamente a 337,4 gCO₂/kWh_{el}, valore che tiene conto anche del contributo delle fonti rinnovabili.

Tabella 8: Emissioni 2016 di anidride carbonica in atmosfera pre-intervento

| FONTE DI EMISSIONE | EMISSIONI DI CO₂ [t/anno] |
|---------------------------|---|
| ENERGIA ELETTRICA | 32,7 |
| TOTALE | 32,7 |

6.6 Costi dei vettori energetici

Da un esame delle fatture di fornitura del vettore energia elettrica si è assistito ad un'oscillazione significativa dei costi unitari negli ultimi 3 anni, influenzate dall'abbassamento anomalo (rispetto al trend degli ultimi 20-30 anni) del prezzo dei combustibili fossili.

Nelle valutazioni economiche eseguite nel successivo capitolo è stato preso a riferimento il seguente valore:

- 0,25 €/kWh per l'energia elettrica

che si considera prudenziale rispetto all'orizzonte temporale ipotizzato per ciascuno intervento, pari a 20 anni, e rispetto al tasso di attualizzazione utilizzato, del 5% .

7 Analisi tecnico-economica degli interventi proposti

Sulla base dei dati reperiti in loco e di quanto rappresentato nei capitoli precedenti, vengono di seguito presentate e valutate, sotto il profilo tecnico-economico, alcune proposte di interventi tecnici migliorativi finalizzati a razionalizzare i costi gestionali della struttura, generando risparmi e/o migliorando la qualità dei servizi offerti.

Le valutazioni tecnico-economiche saranno elaborate, per la maggior parte degli interventi, ipotizzando di effettuarli uno per volta, senza considerare la mutua interazione tra gli stessi, tranne nei casi in cui viene esplicitamente dettagliato il contrario all'interno della descrizione dei singoli interventi: questo allo scopo di poter valutare singolarmente la loro efficacia. I risultati dell'analisi sugli interventi proposti sono sintetizzati in una scheda in cui sono esplicitate le seguenti informazioni energetiche, economiche e ambientali minime:

1. il risparmio energetico annuale derivante dalla soluzione tecnica adottata;
2. il risparmio economico annuale conseguibile grazie all'intervento;
3. il costo di investimento di ciascun intervento;
4. gli incentivi previsti per ciascun intervento e il costo di investimento in presenza di tali agevolazioni;

5. il tempo di recupero semplice dell'investimento (Simple Pay-Back period, SPB), inteso come il rapporto tra il costo di investimento iniziale e il risparmio economico annuale ottenuto;
6. il tempo di recupero attualizzato dell'investimento (Discount Pay-Back period, DPB), inteso come il rapporto tra il costo di investimento iniziale e il risparmio economico annuale attualizzato all'anno in cui viene realizzato l'intervento;
7. il valore attuale netto (Net Present Value, NPV), inteso come il guadagno attualizzato che si ottiene alla fine della vita utile stimata dell'intervento o di un arco temporale prestabilito;
8. l'indice di profitto (Profitability Index, PI), calcolato come rapporto tra il risparmio economico cumulato fino all'anno x , corrispondente alla vita utile stimata dell'intervento, e il costo di investimento iniziale dello stesso;
9. il tasso interno di redditività (Internal Rate of Return, IRR), inteso come il valore del tasso di attualizzazione che rende nullo il valore attuale netto e fornisce quindi una valutazione del rischio di investimento;
10. le emissioni di CO₂ annuali evitate grazie all'intervento.

Si precisa che i risultati derivanti dall'analisi degli interventi assumono valore di prefattibilità dell'intervento stesso, essendo poi consigliata una vera e propria fase di progettazione per ottenere dati più precisi sui risparmi conseguibili e sui tempi di recupero dell'investimento: l'analisi di prefattibilità tra le varie opzioni tecnologiche prese in considerazione, persegue lo scopo di condurre l'utente o il gestore della struttura a individuare le scelte più opportune e convenienti ai fini economici ed energetici.

Gli interventi sono stati proposti sulla base delle seguenti considerazioni, ottenute anche in funzione dei risultati attesi dalla committenza:

1. la priorità è quella di minimizzare il più possibile i costi di gestione dell'edificio, tenendo in considerazione la recentissima ristrutturazione e realizzazione degli impianti. Inoltre l'edificio in esame è prospiciente ad alla Scuola Materna, installata all'interno dello stesso Parco S'Arei, che si presta perfettamente alla realizzazione di una Smart Grid sperimentale, efficace anche in termini di progetto pilota per l'intera area territoriale, di cui Sanluri ne costituisce un importante punto di riferimento.

7.1 Intervento di efficientamento dei corpi illuminanti e controllo del flusso

Il sistema di illuminazione è attualmente composto da varie tipologie di apparecchi illuminanti, ma tutti utilizzando la tecnologia fluorescente.

Si è pertanto valutato un intervento di sostituzione di tutte le lampade presenti con tecnologia LED e l'installazione di sensori per il controllo di presenza in tutti gli ambienti e la regolazione del flusso luminoso in funzione del contributo di luce naturale, negli ambienti adibiti ad uffici. L'intervento consentirebbe anche di gestire meglio i consumi energetici evitabili da un utilizzo non completo della struttura e dall'assenza di sezionamento di alcune linee dell'impianto di illuminazione.

Nella seguente tabella si riportano i risultati energetici ed economici dell'intervento in esame: si stima un costo di investimento abbastanza oneroso, corrispondente a 175.500,00 e tempi di ritorno non attualizzati superiori a 15 anni, per via dell'utilizzo saltuario di almeno 1/3 dei locali della struttura. Inoltre l'intervento andrebbe ben ponderato vista la recente installazione degli apparecchi luminosi e si consiglia di valutarne un possibile investimento più avanti nel tempo, quando le lampade installate inizieranno ad avvicinarsi alla fine della propria vita utile.

Nel calcolo dei risparmi economici annuali è stato stimato anche il risparmio dovuto alla evitata sostituzione delle lampade attuali, caratterizzate da una vita media utile inferiore a circa 4volterispetto a quelle proposte, pari a circa 2.500 €/anno (valore medio indicativo di 3,00 €/punto luce).

Tabella 9 : Analisi investimento: efficientamento del sistema illuminazione con tecnologia LED e controllo del flusso luminoso

| SCHEDA DI INTERVENTO: EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEI CORPI ILLUMINANTI E CONTROLLO DEL FLUSSO | | |
|--|---------------|-------------------------|
| VOCE | VALORE | UNITA' DI MISURA |
| Costo totale di investimento I ₀ | 175.500,00 | € |
| Vita utile considerata | 20 | anni |
| Risparmio annuale di energia elettrica | 19392 | kWh/anno |
| Risparmio economico annuale da risparmio energetico | 584,04 | €/anno |
| Risparmio economico annuale da risparmio energetico | 2.496,09 | €/anno |
| Risparmio economico annuale da evitata sostituzione | 7.344,16 | €/anno |
| Agevolazioni fiscali | 0 | € |
| Tasso di attualizzazione | 5 | % |
| RISULTATI SUI TEMPI DI RITORNO | | |
| Tempo di recupero semplice dell'investimento | > 20 | anni |
| Tempo di recupero attualizzato dell'investimento | > 20 | anni |
| RISULTATI ECONOMICI | | |
| Valore Attuale Netto (VAN) | -36.896,44 | € |

| | | |
|--|-------|-----|
| Indice di Profitto (IP) - VAN/I ₀ | -0,31 | [-] |
| Tasso Interno di Redditività (TIR) | 2,3 | |
| RISULTATI AMBIENTALI | | |
| Riduzione delle emissioni di CO ₂ | 20,0 | % |

7.2 Intervento di sezionamento impianto di illuminazione

I corpi illuminanti utilizzati nella struttura sono di recente installazione e comprendono solo lampade a risparmio energetico, tuttavia durante la fase di diagnosi si è constatato che l'impianto di illuminazione non risultano dotate tutte di sezionamento e spesso si verifica che l'azionamento dell'interruttore generale è unico per tutti i vani comuni presenti nei 5 piani presenti (compresi il piano rialzato): tale situazione comporta sprechi energetici non trascuranti dal momento che vengono illuminati vani non frequentati, soprattutto all'interno di una struttura che, come visto dall'analisi precedente, non viene pienamente utilizzata per tutti i suoi spazi. Pertanto si è scelto di intervenire con un intervento prettamente impiantistico, ritenuto indispensabile, che consenta il sezionamento delle linee principali dell'impianto di illuminazione.

Il costo dell'intervento è stato stimato in circa € 50.000 e si stima di ridurre i consumi energetici di circa 2300 kWh/anno, grazie ad una riduzione delle ore di accensione cumulate pari a 6340 (mediamente 72 ore/anno ad apparecchio per circa 90 apparecchi interessati e circa 130 sorgenti luminose).

Nella successiva tabella sono riportati i principali risultati energetici, economici e ambientali che determina l'intervento.

Tabella 10 :Analisi investimento: efficientamento del sistema illuminazione con il sezionamento dell' impianto

| SCHEDA DI INTERVENTO: SEZIONAMENTO IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE | | |
|---|---------------|-------------------------|
| VOCE | VALORE | UNITA' DI MISURA |
| Costo totale di investimento I ₀ | 52.020,00 | € |
| Vita utile considerata | 20 | anni |
| Risparmio annuale di energia elettrica | 2336 | kWh/anno |
| Risparmio economico annuale | 584,04 | €/anno |
| Agevolazioni fiscali | 0 | € |
| Tasso di attualizzazione | 5 | % |
| RISULTATI SUI TEMPI DI RITORNO | | |
| Tempo di recupero semplice dell'investimento | > 20 | anni |
| Tempo di recupero attualizzato dell'investimento | > 20 | anni |
| RISULTATI ECONOMICI | | |

| | | |
|--|------------|-----|
| Valore Attuale Netto (VAN) | -13.634,75 | € |
| Indice di Profitto (IP) - VAN/I ₀ | -0,27 | [-] |
| Tasso Interno di Redditività (TIR) | NEGATIVO | |
| RISULTATI AMBIENTALI | | |
| Riduzione delle emissioni di CO ₂ | 2,4 | % |

7.3 Realizzazione di una Smart Grid con livello di gestione elevato (protocollo aperto) e colonnine di ricarica del tipo V2G

L'edificio non è dotato di alcun impianto di produzione da fonte rinnovabile, nonostante utilizzi solo il vettore elettrico per le proprie esigenze energetiche. Inoltre sull'edificio è disponibile un'ampia superficie a falda, su cui posizione un campo di generazione fotovoltaico. Il dimensionamento è stato effettuato sulla base dei consumi energetici dell'edificio al netto dell'intervento di efficientamento ipotizzato, con l'obiettivo di massimizzare l'autoconsumo e rendere l'edificio energeticamente indipendente.

Nello stesso parco S'Arei, prospiciente all'edificio oggetto della presente diagnosi, è collocato un altro edificio oggetto di intervento di efficientamento, sede della Scuola Materna: la proposta di intervento consiste nella realizzazione di una Smart Grid che conetterà i 2 edifici distinti. Tale Smart Grid sarà dimensionata considerando le esigenze complessive dei 2 edifici e sarà caratterizzata da un campo fotovoltaico complessivo pari a 120 kW e un accumulo elettrochimico da 168 kWh.

I costi e i risparmi energetici indicati in questo paragrafo si riferiscono alla quota parte della Smart Grid asservita all'edificio oggetto della presente diagnosi.

Pertanto a questo edificio è stata associata una potenza elettrica di picco fittizia di 80 kW, in grado di produrre circa 108 MWh/anno di energia elettrica.

Allo scopo di rendere l'edificio sempre meno dipendente dalla rete nazionale e massimizzare la percentuale di autoconsumo è stato abbinato un sistema di accumulo elettrochimico del tipo a ioni di litio con moduli installati all'interno di un rack in cui è alloggiato anche il sistema di gestione della batteria (BMS). La capacità di accumulo compatibile con la potenza impianto è di circa 120 kWh, ottenibili con l'installazione in diversi moduli batteria aventi capacità di 2,4 kWh/cad.

Per il corretto funzionamento della sistema fotovoltaico comprensivo di storage è necessario prevedere l'utilizzo di inverter di tipo ibrido cioè capace sia di convertire l'energia in arrivo dal campo fotovoltaico che gestire la carica e la scarica del sistema di accumulo elettrico. Gli inverter devono essere perfettamente accoppiabili alle caratteristiche dei moduli e delle stringhe fotovoltaici e inoltre devono poter operare secondo i parametri elettrici in ingresso e in uscita del sistema di accumulo.

Infine si è deciso di realizzare un sistema di Smart Grid con livello di gestione di complessità ALTA, capace cioè di monitorare le grandezze fondamentali della microrete (tensione, corrente, energia elettrica prodotta dall'impianto di produzione da FER, prelevata e immessa nelle varie direzioni ed energia elettrica accumulata), di gestire i livelli di carica minima e massima e gli intervalli di tempo destinati alla ricarica delle batterie, di modulare automaticamente i flussi energetici, per mezzo dell'applicazione di un algoritmo di calcolo iterativo, in base alle misure dei consumi pregressi e alle produzioni di energia da FER attese. L'intervento prevede inoltre la gestione e il controllo di 3 colonnine di ricarica (complessive per l'intera Smart Grid) per veicoli elettrici in modalità bidirezionale V2G (Vehicle to Grid), in modo da considerare i veicoli elettrici anche come sistemi di stoccaggio in grado non solo di assorbire energia dalla microrete, ma anche di erogarne nei momenti di bisogno identificati sulla base dell'algoritmo di gestione della smart grid. Il sistema di accumulo verrà inserito in una specifica programmazione di una filiera dedicata di recupero e riciclaggio dei materiali a fine vita.

Nella successive tabelle, oltre all'identificazione di ciascuno dei parametri tecnico-economici, sono riportate le specifiche tecniche individuate per il monitoraggio, la gestione e il controllo della microrete.

L'analisi economica è stata sviluppata su un tempo di 20 anni e considerando anche la sostituzione degli inverter e del pacco batteria a metà ciclo di vita. Tale analisi ha evidenziato un costo di investimento pari a 326.000 € con un risparmio stimato in circa 95 MWh/anno, corrispondenti all'88% in autoconsumo rispetto alla potenza prodotta. Il beneficio economico che se ne deriva sarebbe superiore ai 20.000 €/anno. Il tempo di rientro non attualizzato sarebbe pari a circa 16 anni.

Tabella 11: Analisi investimento: realizzazione di una Micro Grid con colonnine di ricarica del tipo V2G per auto elettriche

| SCHEDA DI INTERVENTO: MICRO RETE | | |
|--|---------------|-------------------------|
| VOCE | VALORE | UNITA' DI MISURA |
| Costo di investimento impianto fotovoltaico dotato di accumulo elettrochimico (incluso trattamento fine vita batterie) | 279.460,00 | € |
| Costo realizzazione di Smart Grid con protocollo aperto e livello di gestione ALTO | 36.410,00 | € |
| Costo n. 4 colonnine di ricarica | 16.650,00 | € |
| Costo totale di investimento I_0 | 332.520,00 | € |
| Vita utile considerata | 20 | anni |
| Autoconsumo di energia elettrica | 94753 | kWh/anno |
| Aumento percentuale dell'autoconsumo di energia elettrica | 87,7 | % |
| Risparmio economico annuale | 23.688,28 | €/anno |
| Agevolazioni fiscali | 0 | € |
| Tasso di attualizzazione | 5,00 | % |
| RISULTATI SUI TEMPI DI RITORNO | | |
| Tempo di recupero semplice dell'investimento | 16,3 | anni |
| Tempo di recupero attualizzato dell'investimento | > 20 | anni |
| RISULTATI ECONOMICI | | |

| | | |
|--|------------|-----|
| Valore Attuale Netto (VAN) * | -97.311,62 | € |
| Indice di Profitto (IP) - VAN/I ₀ | -0,30 | [-] |
| Tasso Interno di Redditività (TIR) | 1,90 | |
| RISULTATI AMBIENTALI | | |
| Riduzione delle emissioni di CO ₂ | 97,6 | % |

* considerata una sostituzione degli inverter e del pacco batterie con un costo imputato pari a 50.000 euro al decimo anno

| ALTRI CRITERI DI VALUTAZIONE DELL'INTERVENTO | |
|---|---|
| VOCE | DESCRIZIONE |
| INTERVENTO INSERITO NEL PAES | Intervento di efficientamento energetico inserito nel PAES |
| INNOVATIVITA' | Per questo intervento verranno associati, inclusi nel livello di gestione ALTO della smart grid, algoritmi per il monitoraggio dei dati, per la facilitazione della successiva fase di catalogazione. |
| SISTEMI DI MONITORAGGIO, GESTIONE E CONTROLLO DELLA MICRORETE | <p>La Smart Grid sarà caratterizzata da un'infrastruttura di comunicazione dalle seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - banda libera - abilitante verso altri servizi - asset infrastrutturale del beneficiario - interoperabilità dei protocolli di comunicazione e standard aperti per la comunicazione tra vari dispositivi. <p>Un metering MID per ogni POD gestito:</p> <ul style="list-style-type: none"> - compatibile con la direttiva 2004/22/CE o Direttiva MID "Measuring Instruments Directive" - compatibile con la direttiva CEN/CLC/ETSI/TR 50572, architettura funzionale di riferimento per la comunicazione nei sistemi intelligenti di misura - bidirezionale - 2 o + canali di comunicazione (almeno uno senza costi di traffico) |

| | |
|----------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - campionamento sotto i 15 minuti - configurazione da remoto - upgrade da remoto OTA (over the air) - allarme caduta di linea elettrica (batteria tampone) - sicurezza dati crittografia e certificati SSL <p>Piattaforma di gestione dei flussi di energia prodotta e consumata:</p> <ul style="list-style-type: none"> - archiviazione dati non inferiore ai 2 anni - servizio in cloud - gestione allarmistica - multiutente e gerarchica (accessi differenziati) <p>La Smart Grid risponde pertanto a tutti e 4 i livelli di complessità richiesti dal bando con la condizione necessaria che i sistemi di accumulo, le colonnine elettriche e l'auto elettrica siano dotati di protocolli di comunicazione bidirezionali aperti.</p> |
| <p>SISTEMA DI ACCUMULO</p> | <p>L'amministrazione si pone l'obiettivo di promuovere un processo di recupero ecosostenibile di materiali tal quale da batterie al litio a fine vita, in cui le singole operazioni sono rispettose delle linee guida della Green Chemistry.</p> <p>A tale scopo nel bando di gara verranno inseriti specifici criteri per assicurare trattamento del fine vita delle batterie, in cui si richiederà che i principali componenti delle batterie (materiale catodico e anodico, legante, elettrolita, supporti metallici e polimerici) siano separati e direttamente recuperati. Inoltre punteggi premianti verranno attribuiti rispetto ai metodi proposti per il trattamento di fine vita della batteria.</p> <p>Verranno richieste apposite specifiche circa le seguenti operazioni da effettuare per il recupero:</p> <ul style="list-style-type: none"> • operazione di scarica completa della batteria, • apertura della batteria che comporta una prima separazione fisica del materiale plastico e metallico dell'involucro esterno dal resto della batteria, idonea al corretto recupero dei materiali nelle successive fasi, • degassaggio di eventuali sostanze nocive volatili, • recupero dell'elettrolita mediante un'operazione di estrazione, • suddivisione dei nastri (catodico, anodico e separatore polimerico) contenuti all'interno della batteria, |

| | |
|---|---|
| | <p>Il trattamento del fine vita delle batterie verrà applicato sia a quelle utilizzate per la Smart Grid che a quelle utilizzate per l'auto elettrica e ne verrà richiesto in fase di esecuzione del bando per l'assegnazione dei lavori un accordo contrattuale per il conferimento dei materiali recuperati in una specifica filiera di recupero e riciclaggio dei materiali.</p> |
| <p>INTEGRAZIONE DI VEICOLI ELETTRICI E COLONNINE DI RICARICA ALL'INTERNO DELLA MICRORETE/SMART GRID</p> | <p>L'intervento prevede l'integrazione delle 2 colonnine di ricarica V2G.</p> |

7.4 Quadro degli interventi di risparmio energetico proposti

Relativamente agli interventi ritenuti prioritari, si fornisce un quadro di insieme, riportato nella successiva tabella

Tabella 12. Quadro di insieme degli interventi di risparmio energetico considerati prioritari

| INTERVENTO PROPOSTO | INVESTIMENTO | RISPARMIO | VAN | VAN/I | Riduzione CO₂ |
|--|---------------------|-------------------|----------------------|----------------|---------------------------------|
| | [€] | [€/anno] | [euro] | [] | [%] |
| 1 - Intervento di sezionamento dell'impianto di illuminazione | 52.020,00 | 584,04 | -13.634,75 | -0,27 | 2,4 |
| 2- Realizzazione di una Smart Grid con livello di gestione elevato (protocollo aperto) e colonnine di ricarica del tipo V2G | 332.520,00 | 23.688,28 | -97.311,62 | -0,30 | 97,6 |
| TOTALE | 384.540,00 € | 24.272,32€ | -110.946,37 € | -0,29 * | 100,0 % |

N.B. * calcolato come rapporto tra -110.946,37 € e 384.540,00 €

8 Conclusioni

L'analisi energetica realizzata ha permesso di osservare come la sede del Polo di Sanluri sia causa di consumi energetici non trascurabili rispetto alle ore di utilizzo della struttura.

Le criticità ad oggi presenti sono determinate da consumi energetici elevati e spesso non correlate a reali esigenze di funzionamento della struttura.

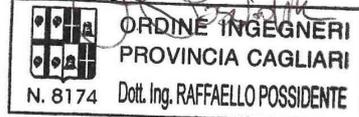
Tutti gli interventi migliorativi proposti sono stati analizzati avendo come obiettivo la riduzione dei consumi e dei costi energetici e l'indipendenza energetica della struttura: per quanto riguarda il primo si propone l'intervento di sezionamento dell'impianto di illuminazione si ritiene indispensabile, quello di sostituzione delle corpi fluorescenti con quelli a LED da valutare attentamente in questa fase, ma da prendere sicuramente in considerazione quando le lampade esistenti si avvicineranno alla fine della propria vita utile

Inoltre il complesso degli interventi migliorativi è stato sviluppato con l'obiettivo di pervenire ad una efficace proposta innovativa in termini di ottimizzazione dell'autoconsumo energetico, per mezzo della realizzazione di una Smart Grid, in collegamento con la prospiciente Scuola Materna, costituita da colonnine di ricarica del tipo V2G e dotata di protocolli di comunicazione di tipo aperto per poter gestire nel modo più efficiente possibile l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico già esistente e messa a disposizione nei sistemi di accumulo elettrochimico: la scelta delle colonnine di ricarica consente all'amministrazione di dare avvio all'azione di sostegno e promozione della mobilità sostenibile nel territorio, in coerenza con quanto previsto nel proprio PAES (Piano d'Azione dell'Energia Sostenibile).

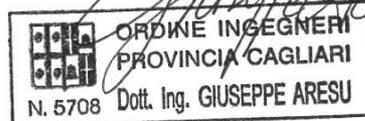
Da un punto di vista economico la realizzazione dei 2 interventi ritenuti prioritari risulterebbe onerosa e determinerebbe un VAN, calcolato con tasso di attualizzazione del 5%, pari a -110.946,37 € a fronte di un costo complessivo degli interventi per lavori e forniture pari a 384.540,00 €.

CAGLIARI, 28/11/2017

RTP incaricato
Dott. Ing. Raffaello Possidente



Dott. Ing. Giuseppe Aresu



Dott. Ing. Sebastiano Curreli

