



## Ricerca di Sistema elettrico

# Sviluppo di metodologie, strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici

*G. Fasano, C. Romeo, M. Zinzi, P. Signoretti,  
D. Iatauro, G. Centi, B. Di Pietra, E. Costanzo*

## SVILUPPO DI METODOLOGIE, STRUMENTI DI MISURA ED ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI DEGLI EDIFICI

G. Fasano, M. Zinzi, C. Romeo, P. Signoretti, D. Iatauro, G. Centi, B. Di Pietra, E. Costanzo (ENEA)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica

Responsabile del Progetto: arch. Gaetano Fasano, ENEA



Si ringrazia l'Agencia del Demanio e l'ANCI per la collaborazione fornita.

## Indice

Sommario .....	4
Introduzione .....	5
1. La diagnosi energetica .....	8
1.1 La definizione di diagnosi energetica .....	8
1.2 Il quadro normativo di riferimento .....	8
1.3 Diagnosi energetica e certificazione energetica .....	10
1.4 Obiettivi della diagnosi energetica .....	11
1.5 Requisiti generali della diagnosi energetica ed esigenze del committente.....	12
1.6 Le modalità operative della diagnosi energetica .....	12
1.7 La caratterizzazione del sistema edificio-impianto.....	13
1.7.1 L'analisi del sito e dell'utenza .....	14
1.7.2 La caratterizzazione dell'involucro edilizio .....	16
1.7.3 La caratterizzazione degli impianti di climatizzazione e di produzione di ACS.....	17
1.7.4 Le utenze elettriche e la produzione da fonti rinnovabili.....	19
1.8 Indagini Strumentali per la caratterizzazione degli edifici.....	20
1.9 Metodi di simulazione e calcolo del fabbisogno energetico.....	23
1.10 Analisi dei consumi reali e ottimizzazione dei contratti di fornitura di energia .....	24
1.11 Individuazione dei possibili interventi di energy saving.....	25
1.12 Valutazione della fattibilità tecnico-economica degli interventi .....	27
2. APPENDICE Esempi di diagnosi energetica.....	28
INTRODUZIONE.....	32
APPENDICE 1: Analisi energetica di complessi edilizi di pregio architettonico: l'Istituto Universitario Europeo di Fiesole: la Badia Fiesolana .....	33
APPENDICE 2: Analisi e riqualificazione energetica della sede del Ministero dello Sviluppo Economico: Palazzo Piacentini e Palazzo Rosa.....	97

## Sommario

Nel seguente rapporto vengono descritte in maniera sintetica, obiettivi e procedure di diagnosi energetiche finalizzate alla riqualificazione energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione. I diversi temi, non esaustivi delle tante problematiche connesse con l'efficienza energetica, sono trattati con un linguaggio semplice per agevolare la lettura anche al personale non propriamente esperto della materia.

Accanto ai riferimenti normativi, viene introdotto il concetto di diagnosi energetica con le varie fasi che ne caratterizzano lo sviluppo; successivamente sono stati evidenziati i principali obiettivi e le differenze tra diagnosi e certificazione energetica, sono stati inoltre riportati in una tabella di sintesi dei possibili interventi e delle tecnologie più efficienti da applicare, caso per caso, al sistema edificio-impianto.

In appendice, sono stati riportati due esempi applicativi di diagnosi energetiche condotte su edifici pubblici a carattere storico-architettonico, dall'unità UTEE-ERT dell'ENEA.

## Introduzione

Definiamo innanzitutto cosa intendiamo per efficienza energetica:

*“L'efficienza energetica rappresenta il rapporto tra quanto ottenuto in termini di prodotti e servizi e l'energia impiegata allo scopo.”*

Maggior efficienza energetica può essere conseguita sia mediante l'applicazione di tecnologie, componenti e sistemi (più o meno complessi), sia mediante il comportamento (maggiormente) consapevole e responsabile degli utenti finali.

Il fabbisogno termico è legato alla necessità di riscaldamento degli ambienti abitati e alla produzione di acqua calda sanitaria. Il fabbisogno elettrico è legato principalmente alla climatizzazione estiva, alla illuminazione, al funzionamento di apparecchiature (pc, stampanti, fotocopiatrici, ventilatori, elettrodomestici hifi ecc) e dispositivi (pompe di circolazione, attuatori, comandi elettrici ecc.). In funzione della tecnologia impiantistica adottata, il fabbisogno per il raffrescamento può avvenire anche con vettore termico.

Pur mantenendo gli stessi livelli di comfort è possibile ridurre i consumi elettrici e termici di un edificio attraverso interventi che rendano più efficiente l'involucro dei fabbricati. Analogamente, una ulteriore riduzione dei consumi è possibile attraverso la sostituzione degli impianti installati con tecnologie più efficienti (pompe di calore e caldaie a condensazione) e/o sistemi alimentati da fonti rinnovabili.

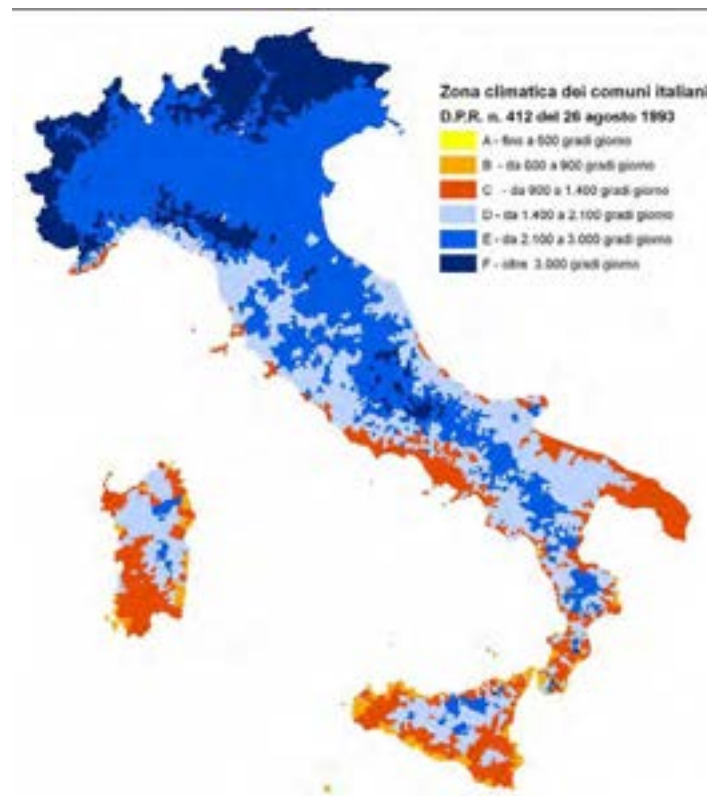
Gli interventi normativi e finanziari a sostegno dell'efficienza energetica degli edifici, messi in campo dal governo, hanno mirato a:

- A. realizzare nuovi edifici sostenibili a energia quasi zero (NZEB) e rendere riconoscibile al mercato la qualità ed il comfort dell'ambiente costruito;
- B. standardizzare l'uso di tecniche e tecnologie nuove di costruzione, ed adottare i parametri energetici tra gli obiettivi da conseguire nella realizzazione di costruzioni civili ed industriali;
- C. sostenere l'innovazione tecnologica relativamente ai materiali per l'edilizia per ottenere soluzioni ad elevata prestazione energetica;
- D. organizzare gli strumenti di governance della domanda e dell'offerta di energia nel settore residenziale ed edilizio in genere;
- E. realizzare nel settore civile un mix energetico compatibile con la salvaguardia ambientale (limitazione dell'impiego delle fonti fossili ed incremento dell'impiego di fonti rinnovabili).

Le tecnologie rilevanti individuate per il raggiungimento di una elevata efficienza energetica nel settore civile includono diverse tipologie di intervento, tra questi:

- interventi sull'involucro (coibentazione, sfruttamento della massa termica e/o altri interventi edili);
- interventi sui dispositivi di illuminazione;
- interventi per il miglioramento dell'efficienza degli impianti (generazione di energia elettrica, cogenerazione/trigenerazione) e degli elettrodomestici;
- utilizzo di strumenti di automazione dell'edificio/domotica (building automation).

Bisogna inoltre ricordare che gli interventi di riqualificazione energetica vanno valutati considerando, oltre alle caratteristiche termofisiche dell'edificio, anche il profilo climatico della località in esame. Nell'ambito del territorio italiano, ci si trova infatti a operare in contesti climatici molto differenti tra loro (vedi Figura



1).

Figura 1. Classificazione in zone climatiche del territorio nazionale

Le aree più scure rappresentano le zone fredde quelle più chiare le zone più temperate e calde. Da questa lettura si può capire quanto sia importante contestualizzare gli interventi in relazione alla zona climatica, considerando anche la tipologia edilizia, l'orientamento dell'edificio, l'irradiazione solare, l'orografia, il clima di riferimento ecc.

L'Italia è stata suddivisa in 6 zone climatiche dalla A, la più calda, alla F, la più fredda in funzione del numero di "Gradi Giorno" (GG). Quanto è più alto il valore dei GG tanto più il clima è rigido.

Ad esempio nella zona climatica A si trovano poche località molto calde, come le isole di Salina e Lampedusa; Palermo e Reggio Calabria appartengono invece alla fascia B; Napoli, Bari, Imperia alla C; Roma, Firenze, Ancona alla D; in fascia E si trovano Milano, Torino, Venezia, L'Aquila; nella F solo località montane come Cortina D'Ampezzo e Abetone.

Di seguito è riportata la Tabella 1 che definisce le zone climatiche in funzione del parametro Grado Giorno e stabilisce il periodo di riscaldamento e il numero massimo di ore di funzionamento giornaliero dell'impianto di riscaldamento ammesso dalla legge (DPR 412/93).

**Tabella 1 Periodo e ore di funzionamento impianti di riscaldamento funzione della zona climatica**

Zona	Gradi Giorno	Periodo di riscaldamento	Numero di ore massimo giornaliero
A	< 600	1.12 – 15.3	6
B	601 – 900	1.12 – 31.3	8
C	901 – 1400	15.11 – 31.3	10
D	1401 – 2100	1.11 – 15.4	12
E	2101 – 3000	15.10 – 15.4	14
F	> 3000	Nessuna limitazione	Nessuna limitazione

## 1. La diagnosi energetica

### 1.1 La definizione di diagnosi energetica

La diagnosi energetica del sistema edificio impianto può essere definita, secondo quanto riportato dal D.Lgs. n. 115/2008 , Articolo 2, come:

*“Procedura sistematica volta a fornire una adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività e/o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi – benefici e riferire in merito ai risultati”.*

In sostanza, la diagnosi energetica permette di ottenere una conoscenza approfondita del comportamento (e del consumo) energetico del sistema edificio-impianto in esame, al fine di individuare le modifiche più efficaci di tale comportamento. Rappresenta quindi la condizione necessaria per realizzare un percorso di riduzione dei consumi di energia negli usi finali, attraverso l'individuazione delle attività a più bassa efficienza energetica, e la valutazione dei possibili margini di risparmio conseguibili.

### 1.2 Il quadro normativo di riferimento

Si riporta di seguito una breve sintesi delle principali normative, in ambito energetico, in cui si fa riferimento al concetto di diagnosi energetica.

#### **UNI CEI/TR 11428:2011 Gestione dell'energia - Diagnosi energetiche - Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica**

Rapporto tecnico che rappresenta una sorta di linee guida nazionali per il Referente della diagnosi energetica (REDE) riprende la definizione data dal D.Lgs. 115/08 “Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE”

Diagnosi energetica (DE) : Procedura sistematica volta a:

- fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di un'attività e/o impianto industriale di servizi pubblici o privati;
- ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici;
- riferire in merito ai risultati.

L'esperto responsabile della realizzazione della diagnosi è il Referente della diagnosi (REDE)

#### **UNI CEI EN 16247-1:2012 Diagnosi energetiche - Parte 1: Requisiti generali**

Energy audit: Systematic inspection and analysis of energy use and energy consumption of a site, building, system or organisation with the objective of identifying energy flows and the potential for energy efficiency improvements and reporting them.

#### **D.Lgs. 192/05 “Attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia” e s.m.i.**

Art. 3 bis: si richiede alle Regioni e alle Province Autonome di Trento e Bolzano di predisporre un programma di sensibilizzazione e riqualificazione energetica del parco immobiliare territoriale sviluppando in particolare alcuni aspetti, tra i quali la realizzazione di diagnosi energetiche a partire dagli edifici presumibilmente a più bassa efficienza

Allegato I comma 3: viene richiesto di allegare alla relazione tecnica una diagnosi energetica dell'edificio e dell'impianto che individui gli interventi di riduzione della spesa energetica, i relativi tempi di ritorno degli

investimenti, i miglioramenti di classe energetica dell'edificio, motivando le scelte impiantistiche che si vanno a realizzare nel caso di nuova installazione e ristrutturazione integrale di impianti termici o sostituzione di generatori di calore con potenze nominali al focolare  $\geq 100$  kW.

***D.Lgs. 115/08 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE"***

Fornisce la definizione della DE ripresa dalla UNI CEI/TR 11428:2011; tra gli altri aspetti toccati dal decreto riguardanti la diagnosi energetica ricordiamo:

Art.13: prevede l'obbligo di diagnosi energetiche degli edifici pubblici o ad uso pubblico, in caso di interventi di ristrutturazione degli impianti termici o di ristrutturazioni edilizie che riguardino almeno il 15% della superficie esterna dell'involucro edilizio che racchiude il volume lordo riscaldato.

Art.18: prevede una serie di misure che riguardano:

- la definizione da parte dell'Agenzia nazionale per l'efficienza energetica (funzione svolta dall'ENEA) delle modalità con cui assicurare la disponibilità di sistemi di diagnosi energetica efficaci e di alta qualità destinati a individuare eventuali misure di miglioramento dell'efficienza energetica applicate in modo indipendente a tutti i consumatori finali, prevedendo accordi volontari con associazioni di soggetti interessati (comma 1);
- la predisposizione, da parte dell'Agenzia, di altre misure – quali i questionari e programmi informatici disponibili su internet o inviati per posta – per i segmenti del mercato aventi costi di transazione più elevati e per strutture non complesse, garantendo comunque la disponibilità delle diagnosi energetiche per i segmenti di mercato in cui esse non sono commercializzate (comma 1).
- 

Al comma 3 dello stesso articolo *viene stabilita l'equivalenza tra certificazione energetica (D.Lgs. 192/05) e diagnosi energetica rispondente a requisiti indicati (commi 1 e 2).*

Nell'Allegato 3 vengono individuate nelle Norme UNI/TS 11300 le specifiche tecniche da adottare per le metodologie di calcolo per l'esecuzione delle diagnosi energetiche degli edifici.

In particolare:

- a) UNI/TS 11300-1:2008 *"Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale"*
- b) UNI/TS 11300-2:2008 *"Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria"*
- c) UNI/TS 11300-4:2012 *"Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria"*

***Nel D.M. 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici" e s.m.i.***

Nell'Allegato A al paragrafo 8 viene riportata la procedura di certificazione energetica degli edifici che comprende il complesso di operazioni svolte dai Soggetti certificatori quali:

- l'esecuzione di una diagnosi energetica, o di una verifica di progetto;
- la classificazione dell'edificio in funzione degli indici di prestazione energetica;
- il rilascio dell'attestato di certificazione energetica.

La diagnosi viene finalizzata alla determinazione della prestazione energetica dell'immobile e all'individuazione degli interventi di riqualificazione energetica che risultano economicamente convenienti e si sviluppa attraverso:

1. il reperimento dei dati d'ingresso, relativamente alle caratteristiche climatiche della località, alle caratteristiche dell'utenza, all'uso energetico dell'edificio e alle specifiche caratteristiche dell'edificio e degli impianti, avvalendosi, in primo luogo dell'attestato di qualificazione energetica;

2. la determinazione della prestazione energetica mediante applicazione di appropriata metodologia, relativamente a tutti gli usi energetici, espressi in base agli indici di prestazione energetica EP totale e parziali;
3. l'individuazione delle opportunità d'intervento per il miglioramento della prestazione energetica in relazione alle soluzioni tecniche proponibili, ai rapporti costi-benefici e ai tempi di ritorno degli investimenti necessari a realizzarle.

Al punto 3 dello stesso paragrafo viene specificato che le modalità esecutive della diagnosi energetica possono essere diverse e commisurate al livello di complessità della metodologia di calcolo utilizzata per la valutazione della prestazione energetica; viene altresì aggiunto che il Soggetto certificatore, nell'ambito della sua attività di diagnosi, verifica o controllo, può procedere alle ispezioni e al collaudo energetico delle opere, avvalendosi, ove necessario, di tecniche strumentali.

### 1.3 Diagnosi energetica e certificazione energetica

Dal quadro normativo descritto emerge come la diagnosi energetica sia lo strumento necessario alla certificazione energetica per individuare gli interventi più significativi e più convenienti dal punto di vista tecnico-economico per il miglioramento della prestazione energetica del sistema edificio-impianto.

**Certificazione energetica** complesso delle operazioni svolte dai soggetti certificatori per il rilascio dell'attestato di prestazione energetica (APE) e delle raccomandazioni per il miglioramento della prestazione energetica dell'edificio

**Prestazione energetica di un edificio:** quantità annua di energia primaria necessaria per soddisfare, con un uso standard dell'immobile, i vari bisogni energetici dell'edificio, la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e, per il settore terziario, l'illuminazione

La Diagnosi energetica fornisce una fotografia del reale comportamento (e del consumo) energetico del sistema edificio-impianto e, ai fini della Certificazione energetica, viene utilizzata per individuare le modifiche più efficaci dal punto di vista della prestazione energetica

**CERTIFICAZIONE ENERGETICA**  
VALUTAZIONE DEI CONSUMI PER  
UN USO STANDARD

- **Dati reali (come costruito)**
- **Modalità di occupazione e di utilizzo:**  
valori convenzionali di riferimento
- **Regime di funzionamento dell'impianto di climatizzazione:**  
continuo
- **Raccomandazioni per la riqualificazione energetica**

**DIAGNOSI ENERGETICA**  
VALUTAZIONE DEI CONSUMI IN  
CONDIZIONI EFFETTIVE DI  
UTILIZZO

- **Dati reali (come costruito)**
- **Modalità di occupazione e di utilizzo:**  
valori effettivi di funzionamento
- **Regime di funzionamento dell'impianto di climatizzazione:**  
condizioni effettive di intermittenza
- **Fattibilità tecnico-economica degli interventi proposti**

#### 1.4 Obiettivi della diagnosi energetica

La finalità di una diagnosi energetica è quella di individuare modalità con cui ridurre il fabbisogno energetico e valutare sotto il profilo costi-benefici i possibili interventi, che vanno dalle azioni di retrofit, a modelli di esercizio/gestione ottimizzati delle risorse energetiche.

Nel momento in cui viene "fotografato" energeticamente l'edificio, la diagnosi si pone l'obiettivo di capire in che modo è utilizzata l'energia (ricostruzione di un bilancio in usi finali), individuare eventuali cause di sprechi e quali interventi possono essere posti in essere, al fine di valutare non solo la fattibilità tecnica, ma anche e soprattutto quella economica delle azioni proposte.

gli obiettivi principali pertanto sono:

- A. Definire il bilancio energetico del sistema edificio-impianto e individuare i possibili recuperi delle energie disperse;
- B. Valutare le condizioni di comfort e di sicurezza necessarie;
- C. Individuare appropriate tecnologie energy-saving (incremento dell'efficienza energetica), e valutarne le opportunità tecnico-economiche;
- D. Ottimizzare le modalità di gestione del sistema edificio-impianto (contratti di fornitura di energia, modalità di conduzione, ecc.) ai fini di una riduzione dei costi di gestione
- E. Ridurre i costi per gli approvvigionamenti energetici;
- F. Migliorare la sostenibilità ambientale nella scelta e nell'utilizzo delle fonti energetiche;
- G. Riqualificare (eventualmente) il sistema energetico.

## 1.5 Requisiti generali della diagnosi energetica ed esigenze del committente

I requisiti che una diagnosi energetica, condotta secondo quanto previsto dalle normative di riferimento, possono essere riassunti in:

- COMPLETEZZA - Devono essere definiti il sistema oggetto della diagnosi e gli aspetti energetici connessi (in grado di influenzare in maniera significativa il fabbisogno di vettori energetici e/o utilities in ingresso);
- TRACCIABILITA' - Acquisizione di dati reali in numero e qualità necessari per lo sviluppo della diagnosi energetica e visita del sistema. Esplicazione delle ipotesi – algoritmi o quanto altro utilizzato a supporto dei risultati della diagnosi energetica;
- UTILITA' - Gli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica (valutati sotto il profilo costi/benefici) identificati devono essere accompagnati da adeguata documentazione trasmessa al committente (differenziata in funzione del settore, delle finalità e dell'ambito di applicazione);
- TRASPARENZA - Il committente deve essere messo a conoscenza circa eventuali conflitti di interesse da parte del responsabile della diagnosi energetica;
- VERIFICABILITA' - Identificazione degli elementi necessari al committente per verificare l'effettivo conseguimento dei miglioramenti di efficienza risultanti dalla applicazione degli interventi proposti.

Accanto ai requisiti generali la diagnosi energetica deve tenere in adeguato conto le attese, le necessità, e i limiti indicati dal committente così da decidere concordemente:

- AMBITO;
- MODALITÀ ESECUTIVE (tempistica e aspetti logistici);
- SCOPO GENERALE;
- OBIETTIVI SPECIFICI.

## 1.6 Le modalità operative della diagnosi energetica

La diagnosi energetica prevede una serie di operazioni che riguardano il rilievo e l'analisi dei dati relativi al sistema edificio-impianto in condizioni di esercizio (dati geometrico-dimensionali, termofisici dei componenti l'involucro edilizio, prestazionali del sistema impiantistico, ecc.), l'analisi e le valutazioni economiche dei consumi energetici dell'edificio e l'individuazione di possibili misure di efficienza energetica, e valutazione della loro fattibilità tecnico-economica.

In sostanza nell'ambito della diagnosi energetica si possono distinguere due diverse fasi:

### **FASE 1**

Caratterizzazione del sistema edificio-impianto, stesura dei modelli energetici, valutazione dei consumi specifici, elaborazione dei bilanci di energia e confronto con tecnologie e dati di riferimento.

### **FASE 2**

Individuazione di eventuali interventi finalizzati ad un incremento dell'efficienza energetica del sistema edificio-impianto e valutazione della loro fattibilità tecnico-economica.

In termini operativi, le modalità di esecuzione di una diagnosi energetica possono essere così riassunte:

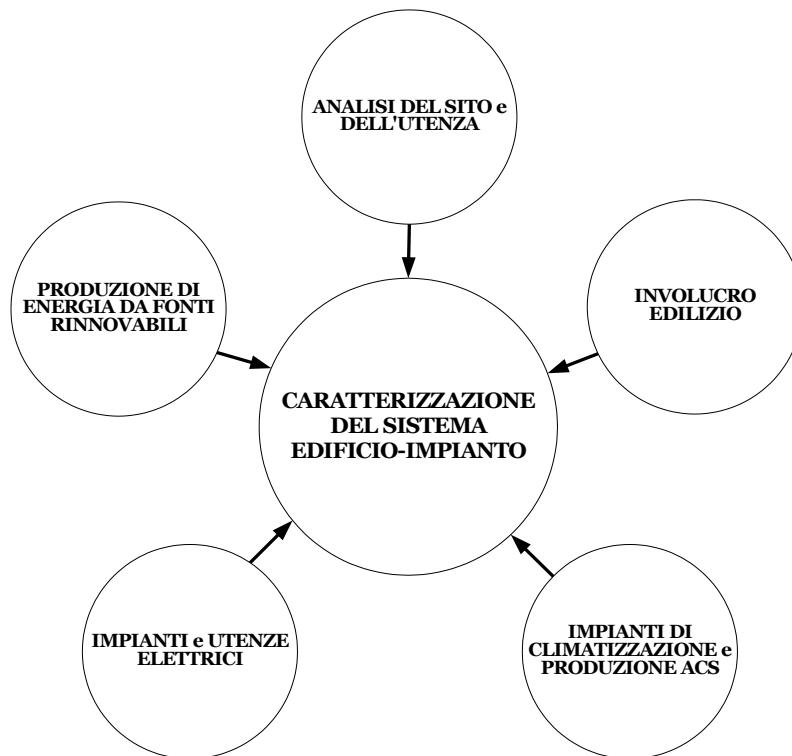
- A. Rilevare i parametri significativi del sistema edificio-impianto;
- B. Acquisire e analizzare i dati storici di fatturazione energetica;
- C. Valutare i contratti di fornitura dell'energia;
- D. Calcolare i fabbisogni e gli utilizzi di energia primaria per gli impianti elettrici, l'illuminazione, il riscaldamento, il raffrescamento, la produzione di acqua calda sanitaria, il trattamento dell'aria;
- E. Calcolare l'energia prodotta da fonti rinnovabili (fotovoltaico, solare termico, biomasse);
- F. Individuare i sottosistemi in cui le energie disperse sono maggiori;
- G. Individuare le migliori modalità di conduzione e gestione dell'edificio;
- H. Valutare, da un punto di vista tecnico-economico, gli interventi di retrofit energetico;
- I. Valutare l'opportunità di impiego di metodi più accurati per stimare i flussi energetici (campagne di misure e monitoraggio, simulazioni dinamiche del sistema).

## 1.7 La caratterizzazione del sistema edificio-impianto

La caratterizzazione energetica del sistema edificio impianto consiste nel predisporre un modello in grado di descrivere il comportamento da un punto di vista energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione al contesto climatico in cui è inserito e con il quale interagisce, oltre a tener conto delle grandezze che influenzano i consumi specifici, quali le condizioni di esercizio, gli affollamenti, i profili di utilizzo di edifici ed impianti. Una volta descritto il modello si può stimare il suo fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale ed estiva (che tiene conto dei flussi energetici in ingresso ed in uscita) facendo ricorso a procedure di calcolo in grado di consentire valutazioni sia di tipo qualitativo (capacità di controllo dei parametri microclimatici da parte delle soluzioni impiantistiche studiate) che di tipo quantitativo (richieste energetiche). A valle della caratterizzazione energetica si può individuare una serie gerarchica d'interventi tecnologici, impiantistici e gestionali, volti ad incrementare la qualità prestazionale ed energetica della costruzione nel rispetto dei livelli di comfort indoor che vanno comunque garantiti.

Analizzando approfonditamente il comportamento del sistema edificio-impianti è possibile individuare una scala di priorità degli interventi per la sua riqualificazione energetica. Obiettivo delle valutazioni prestazionali da un punto di vista energetico consiste nel suggerire azioni per una corretta gestione dell'energia attraverso operazioni volte alla razionalizzazione dei flussi energetici che intercorrono tra sistema edificio-impianto ed ambiente esterno, al miglioramento del comfort degli ambienti interni, allo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili.

Il diagramma seguente sintetizza i diversi flussi di dati che contribuiscono alla caratterizzazione del sistema edificio-impianto



Successivamente sono riportate in forma schematica le diverse fasi di acquisizione dati necessarie per l'analisi energetica di un edificio.

### 1.7.1 *L'analisi del sito e dell'utenza*

Per valutare il Fabbisogno energetico di un edificio, è necessario conoscere le condizioni climatiche esterne relative alla località in cui l'edificio si trova.

Le normative vigenti forniscono i principali parametri climatici, che influenzano il comportamento energetico dell'edificio, nonché i valori di progetto necessari per la progettazione degli impianti termici.

Tra queste, in particolare la UNI 10349<sup>1</sup> fornisce tra l'altro:

- I valori di temperatura esterna media giornaliera per i capoluoghi di provincia . Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo.
- I valori di irradianza solare globale media mensile ricavati dai valori medi mensili di irraggiamento solare diretto e diffuso
- I valori della Pressione di vapore relativi capoluoghi di provincia, dai quali è possibile ricavare l'Umidità specifica e relativa dei diversi comuni italiani
- I valori della velocità del vento

<sup>1</sup> questo è un vincolo che vale solo per la certificazione energetica; nel caso di una diagnosi energetica sono utilizzabili per un calcolo in stazionario. Per una maggiore accuratezza di calcolo possono essere utilizzati anche altri dati geograficamente più precisi (ad esempio i dati del comune invece che quelli della provincia di riferimento) che garantiscono una maggiore precisione o aderenza con il clima del luogo ove è posto l'edificio

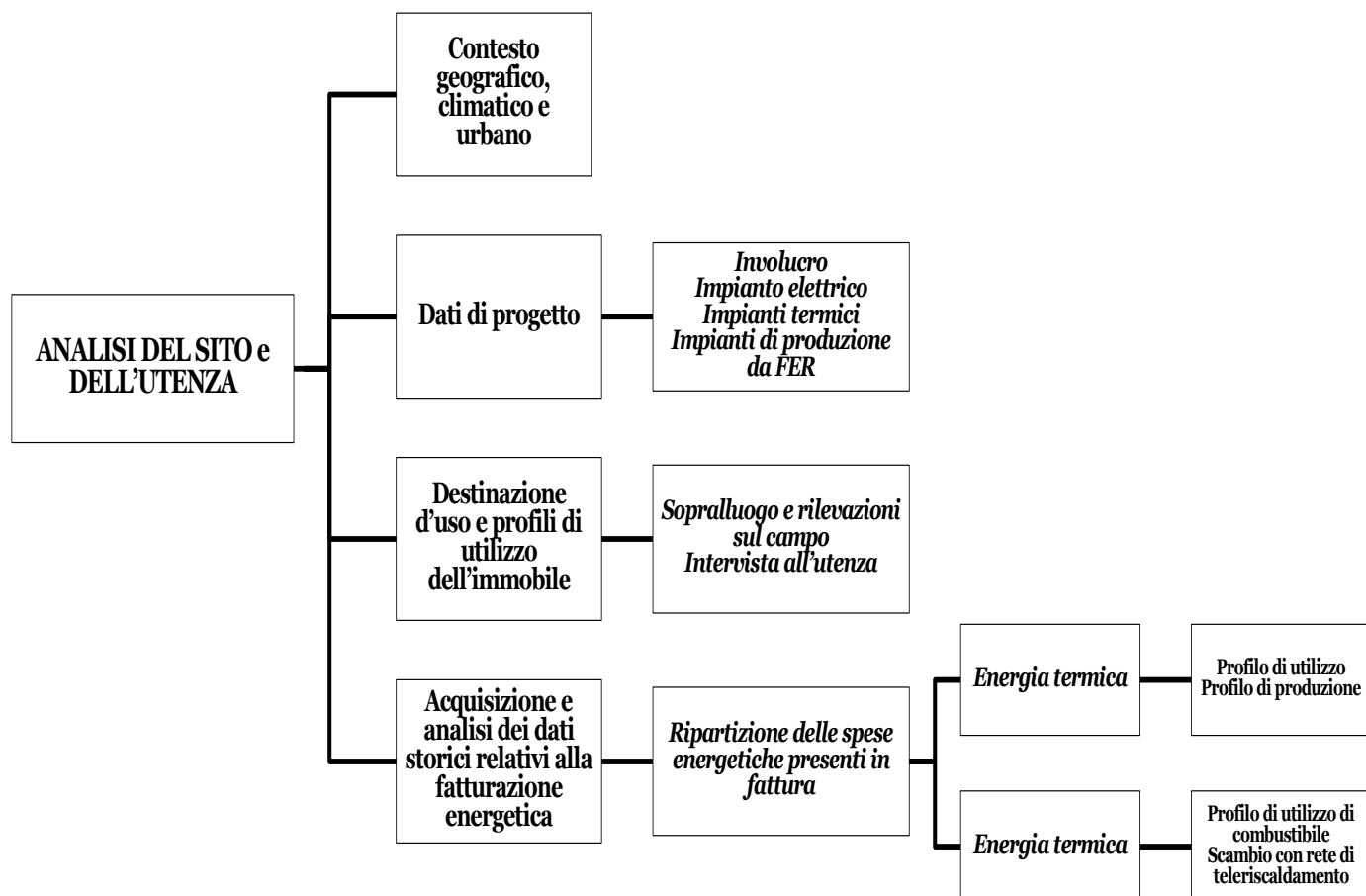
L'analisi dell'utenza e delle destinazioni d'uso dei diversi locali che l'edificio comprende è necessaria per l'individuazione delle zone termiche dell'edificio

In linea generale ogni porzione di edificio, climatizzata ad una determinata temperatura con identiche modalità di regolazione, e servita dal medesimo impianto di generazione, costituisce una zona termica.

Per definire le condizioni interne di calcolo si devono considerare:

- Temperatura di climatizzazione invernale ed estiva. (parametri previsti dalle norme).
- Numero di persone e profilo di occupazione dell'edificio,
- Apporti di calore interni.
- Numero di ricambi d'aria (n).
- Potenze elettriche installate (per illuminazione e per apparecchiature elettriche-elettroniche) e profilo di accensione;
- Modalità di gestione delle chiusure oscuranti;
- Modalità di gestione delle schermature mobili;

Lo schema seguente riporta in sintesi, le diverse fasi di caratterizzazione e acquisizione dati necessarie per la una corretta valutazione del Fabbisogno energetico dell'edificio



### 1.7.2 La caratterizzazione dell'involucro edilizio

L'involucro edilizio, costituito nel suo insieme da parti opache e trasparenti, delimita lo spazio climatizzato dell'edificio dall'ambiente esterno.

La conoscenza delle caratteristiche geometriche e termofisiche dell'involucro è quindi essenziale per la valutazione degli scambi termici tra edificio e ambiente e rappresenta, in genere, uno dei principali aspetti su cui intervenire per limitare le dispersioni termiche e incrementare l'efficienza energetica.

I principali parametri che caratterizzano l'involucro e che andranno presi in considerazione includono:

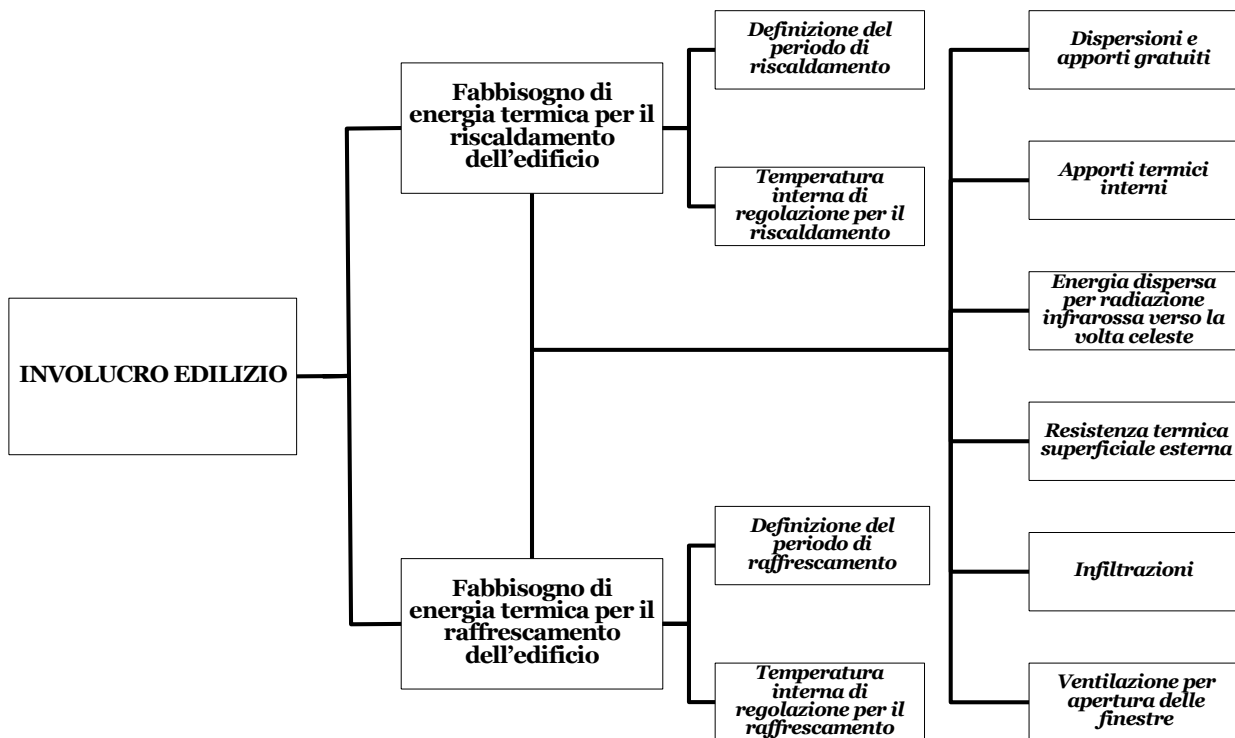
#### *Dati relativi alle geometria e all'esposizione dell'edificio*

- Caratteristiche geometrico/dimensionali dell'edificio
- Orientamenti ed esposizione di tutti i componenti dell'involucro edilizio
- Volume lordo e volume netto dell'ambiente climatizzato;
- Superficie utile (o netta calpestabile) dell'ambiente climatizzato, superfici di tutti i componenti dell'involucro e della struttura edilizia;
- Caratteristiche geometriche di tutti gli elementi esterni (altri edifici, aggetti, etc.) che ombreggiano i componenti trasparenti dell'involucro edilizio.

#### *Dati relativi alle caratteristiche termo-fisiche dell'edificio*

- Trasmittanza termica dei componenti dell'involucro edilizio;
- Capacità termica dei componenti della struttura;
- Trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti;
- Coefficienti di trasmissione lineare dei ponti termici.
- Fattori di assorbimento solare delle superfici esterne dei componenti opachi dell'involucro edilizio;
- Emissività delle superfici esterne dei componenti dell'involucro edilizio;
- Fattori di riduzione della trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio in presenza di schermature mobili;

E' riportato di seguito uno schema di sintesi dei parametri e dei flussi energetici dipendenti dall'involucro edilizio :



### 1.7.3 La caratterizzazione degli impianti di climatizzazione e di produzione di ACS

La climatizzazione dell'edificio in esame, sia invernale che estiva, è garantita da uno o più gli impianti termici che possono servire le diverse *zone termiche*, caratteristiche termo igrometriche.

Le configurazioni impiantistiche possono essere molto varie e complesse in funzione della tecnologia utilizzata; tuttavia è possibile schematicamente caratterizzare l'impianto suddividendolo in quattro principali sottosistemi:

- Sistema di generazione (dedicato o combinato con la produzione di acqua calda per usi sanitari): tipologia e caratteristiche tecniche generatore termico (potenza nominale, rendimento utile, ecc.), tipo di alimentazione
- Sottosistema di distribuzione: tipologia circuito, tipo di isolamento dei circuiti, rendimento di distribuzione.
- Sottosistema di emissione (individuazione dei terminali di erogazione, temperatura di mandata, potenza nominale dei corpi scaldanti, rendimento di emissione)
- Sottosistema di regolazione: tipo e caratteristiche sistema adottato: (regolazione manuale, climatica, ambiente, climatica e ambiente, di zona, climatica e di zona), rendimento di regolazione

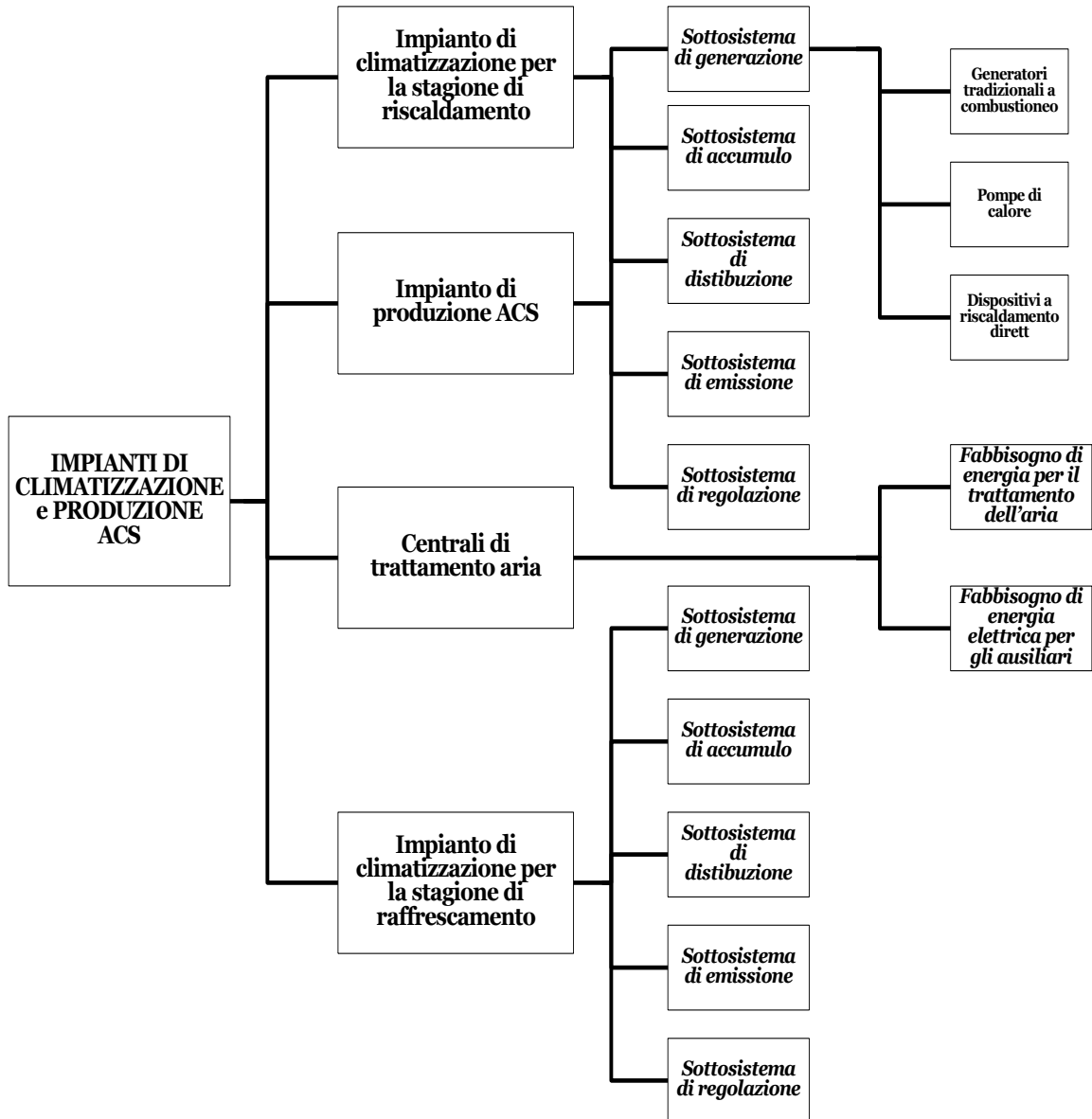
Per valutare l'efficienza dell'impianto, sarà inoltre importante conoscerne il regime di funzionamento (funzionamento continuo, intermittente o con attenuazione) predisposto dall'utenza, in modo da poter valutare le ore annue effettive in cui questo è utilizzato.

Vanno inoltre considerati i consumi elettrici dei diversi dispositivi ausiliari connessi agli impianti termici (pompe di circolazione, inverter, organi di regolazione), il cui contributo andrà trasformato in energia

primaria nel computo complessivo del fabbisogno energetico

Per assicurare un corretto tasso di ricambio d'aria, in funzione della destinazione d'uso specifica dell'edificio o di alcuni locali, possono essere presenti, impianti di ventilazione meccanica

Il diagramma seguente mostra alcune configurazioni comuni di impianti termici per la climatizzazione:

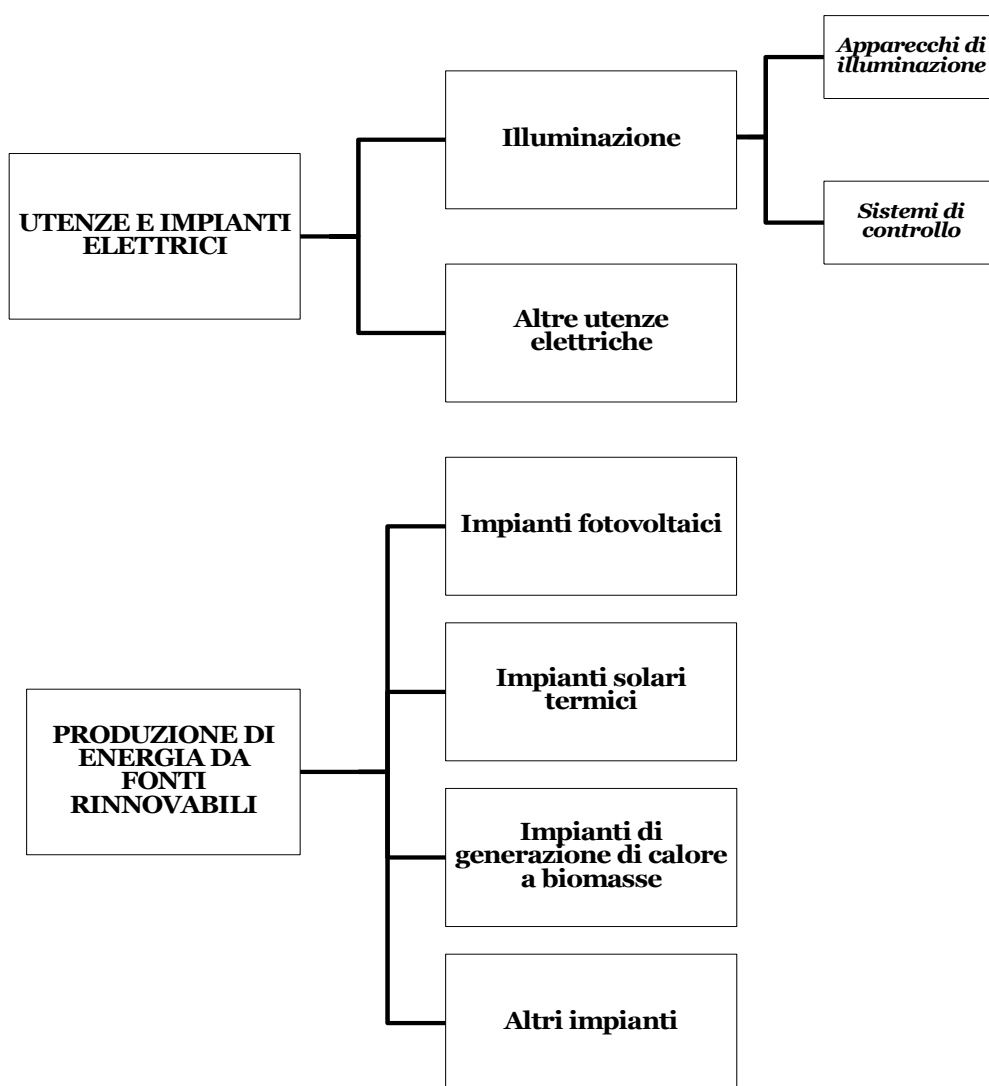


### 1.7.4 Le utenze elettriche e la produzione da fonti rinnovabili

Per una valutazione globale degli effettivi consumi di un edificio, oltre agli impianti termici, è necessaria la caratterizzazione delle utenze elettriche, che contribuiscono al Fabbisogno energetico globale. Queste generalmente includono l'impianto di Illuminazione e l'insieme di tutti i dispositivi a funzionamento elettrico presenti nell'edificio.

Vanno inoltre considerati, se presenti, anche gli impianti di produzione energetica (elettrica/termica) alimentati da Fonti Rinnovabili.

Le opportune metodologie di calcolo per tener conto dell'apporto energetico da fonti rinnovabili sono descritte nelle UNI TS 11300-4



## 1.8 Indagini Strumentali per la caratterizzazione degli edifici

In mancanza o a supporto dei dati di progetto dell'edificio, talvolta può essere necessario svolgere misure strumentali in loco, per ottenere, nella fase di caratterizzazione dell'immobile in esame, informazioni maggiormente accurate e rappresentative dell'effettivo stato dell'edificio.

L'acquisizione dei dati per la diagnostica e certificazione di un edificio esistente o per la verifica di uno di recente costruzione, comporta difficoltà quali quelle di: reperire i dati caratteristici e prestazionali dei componenti dell'involucro, dati e prestazioni degli impianti, stratigrafie delle pareti di tamponamento, caratteristiche di eventuali ponti termici, ecc.

Spesso però questi dati, almeno per gli edifici esistenti e non più recenti, sono di difficile reperibilità.

Si dovrà allora ricorrere all'utilizzo di strumenti di misura in grado di valutare le grandezze prestazionali dei materiali in opera. Poiché nell'edilizia le parti opache influenzano largamente i flussi energetici tra interno ed esterno, è necessario dotarsi di un metodo e di strumenti di acquisizione di dati affidabili.

Tra gli strumenti per la caratterizzazione energetica di un edificio possiamo annoverare i seguenti:

- Fotocamera a raggi infrarossi per la Termografia;
- Attrezzatura di Blower Door test;
- Termoflussimetro;
- Termoigrometro;
- Endoscopio a fibre ottiche;
- Distanziometro laser;
- Spessivetro;

Non è superfluo sottolineare che tutta la strumentazione deve essere stata opportunamente tarata con sistemi di riferibilità a campioni primari/secondari certi, visto che i dati forniti da apparecchiature non tarate possono portare ad errori considerevoli (fino al 100%!!). E' buona prassi, quando si identificano gli strumenti adottati per i rilievi dichiarare l'errore di misura dello strumento che per essere di buona qualità non deve comportare errori di misura superiori al 10%.

### Termografia

La termografia ad infrarossi è uno strumento di fondamentale importanza per valutare lo stato di degrado delle strutture opache e trasparenti di un edificio.

La possibilità, in una costruzione scadente, di individuare difetti e di capire la causa che li ha generati, o la possibilità di rilevare un'anomalia strutturale formatasi nel tempo per colpa, ad esempio, di una realizzazione delle opere non corretta, può assumere un ruolo importante per il raggiungimento di obiettivi di efficienza in termini di risparmio energetico ed economico. Negli ultimi anni le indagini termografiche hanno trovato sempre maggiore impiego nella fase della diagnostica e degli interventi sia sull'edilizia storica che moderna.

La termografia ad infrarossi viene spesso impiegata per: verificare lo stato della struttura muraria, individuare eventuali perdite d'acqua o infiltrazioni ancora non visibili ad occhio nudo, caratterizzare la struttura e la tessitura muraria per poter progettare i necessari interventi di ristrutturazione e risparmiare così tempo e denaro, ecc.. L'identificazione tempestiva guasti negli edifici, consente interventi di riparazione prima che il danno assuma proporzioni disastrose. Le problematiche che si vengono a creare per un degradamento non risanato in tempo, si traducono, in elevati costi di riparazione.

L'analisi termografica, misurando la radiazione infrarossa emessa da un corpo, evidenzia con colori diversi le differenti temperature superficiali della parete, consentendo così di rilevare le parti dell'involucro dell'edificio a maggiori dispersioni termiche causate da inadeguatezza della coibentazione, posa non corretta degli isolanti, uso di materiali non efficienti, ecc.

L'impiego della termografia trova, dunque, utile applicazione:

- Individuazione di difetti strutturali
- Visualizzazione di dispersioni termiche
- Restauro e risanamento degli edifici
- Individuazione di permeabilità all'aria
- Controllo infiltrazioni d'acqua
- Verifica della funzionalità degli impianti di riscaldamento, aerazione, climatizzazione

### Blower Door Test

Il Blower-Door-Test (test mediante ventilatore applicato alla porta) permette di misurare l'ermeticità di un edificio al fine di determinare le esigenze di ventilazione dello stesso e le dispersioni termiche da mettere in conto nella valutazione del fabbisogno energetico.

Il Blower Door Test è lo strumento diagnostico idoneo ad effettuare il test di permeabilità all'aria secondo la norma tecnica UNI EN 13829 "Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore".

Attraverso un apposito ventilatore l'aria viene, in tre fasi diverse, immessa o aspirata dall'edificio oggetto del test, creando prestabiliti (dalla norma) valori di pressione o depressione. Per ogni step vengono registrati i volumi d'aria che l'edificio scambia con l'ambiente esterno attraverso i punti di permeabilità e viene calcolato l'indice di quantità d'aria penetrata o rientrata (a seconda dei casi) nell'unità di tempo, da cui valutare le dispersioni termiche.

L'analisi termografica in combinazione con il Blower Door test rappresenta l'approccio ideale per individuare le dispersioni termiche connesse alla tenuta all'aria dell'involucro edilizio.

### Termoflussimetro

Il termoflussimetro è lo strumento che permette di misurare in maniera "quantitativa", con un buon grado di approssimazione e senza alcun intervento di demolizione, la trasmittanza termica (espressa in  $W/m^2K$ ), di una struttura verticale, orizzontale, o di un tetto.

La misura termoflussimetrica, effettuata dopo un'ispezione termografica, consente di fornire i corretti dati di input per i calcoli di valutazione della prestazione energetica di un edificio.

E' utilizzata sia per gli edifici esistenti, al fine di individuare i reali interventi di efficientamento necessari per il rispetto dei parametri di legge, sia sugli edifici nuovi o post-ristrutturazione al fine di verificare la corretta esecuzione dei lavori e il conseguente raggiungimento dei valori previsti a progetto.

La strumentazione (conforme alla normativa ISO 9869) si compone, di norma, di un data-logger, di una piastra flussimetrica per la misura del flusso di calore che attraversa il componente e di 2 o 4 sensori di temperatura a contatto per la misura delle temperature superficiali interne ed esterne delle strutture opache.

I parametri di temperatura e del flusso di calore vengono rilevati dallo strumento ad intervalli regolari per un tempo non inferiore a 72 ore (norma ISO 9869). Un software dedicato consente l'elaborazione dei dati acquisiti e la determinazione della trasmittanza termica dell'elemento.

## Termoigrometro

E' uno strumento diagnostico che consente, con indagine non distruttiva, di misurare la percentuale di umidità di pareti, pavimenti e altri componenti dell'edificio. Per classificare l'elemento murario si considerano, di prassi, le seguenti percentuali di umidità di riferimento:

- - Umidità da 1 a 2,5 % = muro secco
- - Umidità da 2,5 a 5 % = muro umido
- - Umidità oltre il 5 % = muro bagnato.

Rilevando anche il valore della temperatura è possibile calcolare il punto di rugiada della parete analizzata, valore che consente di evitare la comparsa di condensa e muffe.

Se utilizzato dopo una indagine termografica negli elementi dove è stata evidenziata umidità, il termoigrometro consente di determinarne in maniera veloce, mirata e non invasiva l'entità di tale umidità.

## Endoscopio a Fibre Ottiche

L'endoscopio a fibre ottiche permette di effettuare rapide video-ispezioni in zone normalmente di difficile accesso.

Lo strumento si compone sostanzialmente di un cavo flessibile e di una mini telecamera che facilita l'accesso in spazi angusti ed oscuri.

Questo tipo di indagine risulta indispensabile quando non si hanno dati di progetto o quando non si è sicuri della composizione della struttura.

L'endoscopio permette di conoscere con rapidità e in maniera poco invasiva la stratigrafia dell'elemento da indagare grazie alla minitelecamera che, inserita in un piccolo foro (10/12mm) precedentemente praticato nel manufatto, consente di "vedere" i materiali che compongono i vari strati e di determinarne gli spessori.

Nota la stratigrafia, è possibile effettuare, con accettabile precisione, il calcolo della trasmittanza termica dell'elemento indagato.

## Energy Meter

L'Energy Meter è un misuratore del consumo di energia. Il sistema di monitoraggio è basato su "multimetri multifunzione" che consentono di misurare tutte le grandezze elettriche relative alla rete monitorata.

Lo strumento permette l'individuazione di profili di consumo anomali rispetto all'attività tipica svolta all'interno dell'edificio, perché consente la gestione oraria dei dati misurati in relazione alle fasce tariffarie e all'ora del giorno.

La successiva analisi critica dei dati porta a definire i possibili interventi da attuare per l'eliminazione delle anomalie e dei consumi in eccesso riscontrati.

## Distanziometro Laser

Il distanziometro laser permette di effettuare misure di distanze in maniera veloce e con un ottimo grado di precisione ed affidabilità.

## Spessivetro

E' uno strumento utilizzato sugli elementi trasparenti di infissi e vetrate sprovvisti di certificati o marcature, per individuare, direttamente in opera, le caratteristiche necessarie per la determinazione dei valori di

trasmissione dell'elemento. Lo spessivetro è dunque, utile per i tecnici della manutenzione e per i certificatori energetici.

Le caratteristiche che possono essere rilevate con lo strumento semplicemente appoggiandolo sulla superficie vetrata, sono:

- Spessore del vetro singola lastra (anche fino a precisioni di 0,1mm)
- Spessori del vetro camera fino a 3 camere (individuano lo spessore delle singole lastre componenti il vetrocamera)
- Spessore della camera d'aria (o gas)
- Presenza, spessore e posizionamento di pellicole basso emissivo
- Spessore dei vetri di sicurezza
- Presenza o meno di trattamento indurente (tempera).

### *1.9 Metodi di simulazione e calcolo del fabbisogno energetico*

Completata la fase di caratterizzazione dell'involucro e dell'impianto si è in condizione, di poter simulare mediante l'utilizzo di opportuni strumenti di calcolo, il bilancio energetico dell'edificio e quindi di valutarne il fabbisogno di energia primaria.

Per bilancio energetico si intende l'analisi quantitativa dei flussi di energia all'interno di un sistema definito. Il bilancio energetico deve essere finalizzato a determinare "quanta" e che "tipo" di energia è stata consumata in un dato periodo di tempo e "come" essa è stata "prodotta", "trasformata" e "consumata". L'edificio-impianto va quindi considerato come un sistema unitario che interagisce con l'ambiente esterno mediante flussi di energia.

Per motivi pratici, nella prassi progettuale corrente, si utilizzano bilanci semplificati, su base stagionale o mensile. La norma europea EN ISO 13790:2008 "Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling" fornisce il metodo di calcolo standardizzato

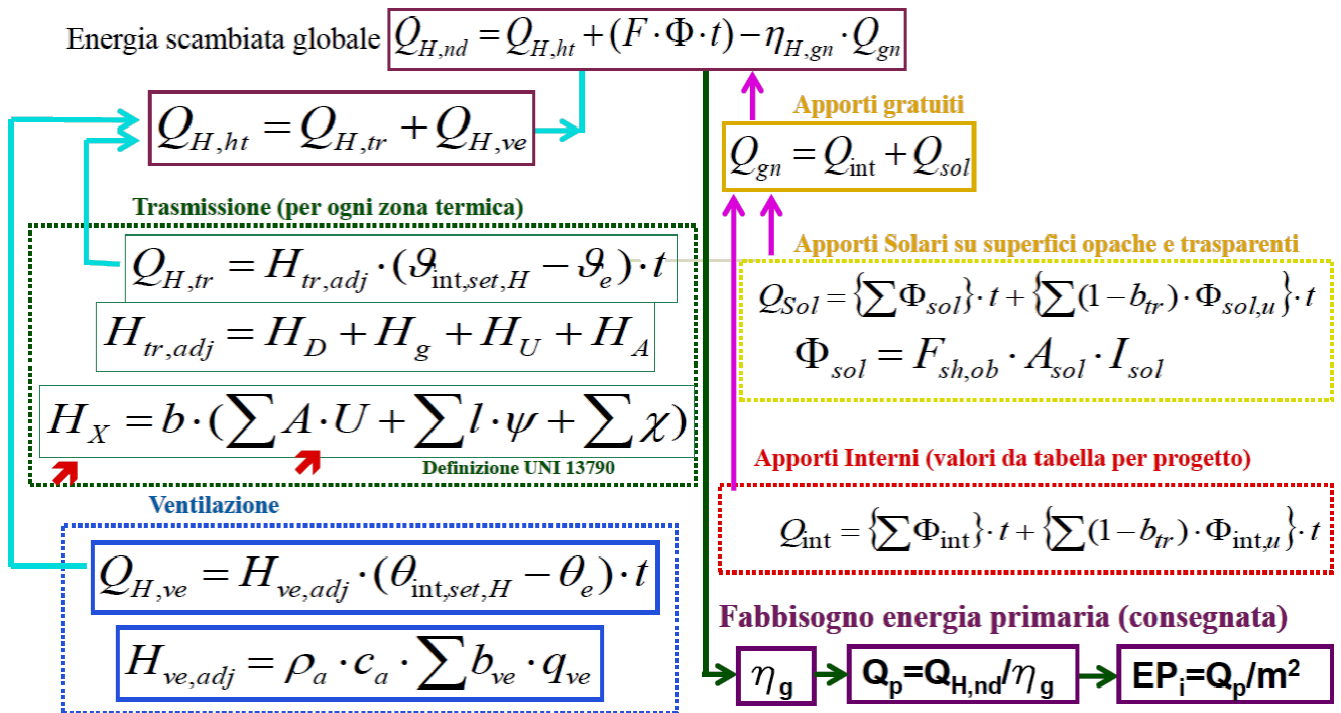
Il metodo consente di tener conto delle variazioni temporali delle temperature interna ed esterna, dell'inerzia termica delle masse costituenti l'edificio e del regime di funzionamento dell'impianto (attenuazioni, intermittenza, interruzioni).

La legislazione italiana (Dlgs 192/2005 s.m.i.) fa riferimento alla suddetta norma mediante delle norme UNI, che definiscono le modalità per la sua applicazione nazionale ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria relativo alla climatizzazione estiva ed invernale degli edifici: si tratta delle norme UNI della serie UNI/TS11300 – 1-2-3-4.

La procedura standardizzata per il calcolo della prestazione energetica degli edifici prevede:

1. Calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento ( $Q_{H,nd}$ ) e per il raffrescamento ( $Q_{C,nd}$ );
2. Calcolo Fabbisogno di energia termica per ACS;
3. Calcolo del rendimento globale medio stagionale degli impianti;
4. Calcolo fabbisogno Energia Primaria per riscaldamento e ACS;

Lo schema riportato in seguito mostra le varie componenti del Bilancio energetico di un edificio:



### 1.10 Analisi dei consumi reali e ottimizzazione dei contratti di fornitura di energia

Per delineare un'immagine realistica dei profili d'utenza elettrica e termica dell'edificio in esame, particolarmente rilevante risulta essere l'analisi dei consumi energetici, deducibili dalle bollette. Tali informazioni possono essere necessarie anche per testare la validità del modello di calcolo utilizzato nelle simulazioni energetiche.

Andranno quindi reperiti e attentamente analizzati i dati di consumo del combustibile adoperato per il riscaldamento e quelli relativi all'energia elettrica utilizzata.

Per ricostruire in modo sufficientemente rappresentativo, il consumo medio annuo dell'energia termica ed elettrica, è necessario disporre delle bollette e fatture relative ad almeno gli ultimi tre anni.

I dati da raccogliere sono quindi, per l'energia termica:

- tipo di combustibile o calore fornito dalla rete
- consumo annuo (bolletta) kWh (per i tre anni precedenti, al fine di determinare il consumo medio annuo)
- spesa (Euro/anno)

Per l'Energia elettrica occorre rilevare:

- potenza impegnata (kW);
- fattore di potenza;
- consumo medio annuo (kWh) determinato sui consumi dei tre anni precedenti;
- contratto di fornitura e opzione tariffaria;

E' altresì importante valutare attentamente la tipologia dei contratti energetici stipulati, per verificarne la congruenza rispetto ai profili di utenza caratteristici dell'edificio.

L'analisi di un contratto di energia elettrica, per esempio, può avere un duplice scopo:

5.1 La verifica della corretta applicazione delle tariffe contrattuali e l'ottimizzazione economica degli assorbimenti di energia elettrica in particolare si consiglia di verificare:

- se l'utenza ha residenza nella zona servita dal contatore, accertarsi che il piano tariffario e il contratto ne tengano conto.
- concentrare il consumo elettrico nelle fasce F2 e F3 (corrispondenti al fine settimana e alla sera) in base al piano tariffario stipulato per usufruire dei minori prezzi della quota energia.
- diminuire quanto più possibile la potenza disponibile da contratto, garantendo però la copertura dei carichi massimi (min 3 kW), in modo da avere minori costi fissi in fattura. Tale scopo si raggiunge cercando di distribuire i carichi durante la giornata e non concentrarli in un unico momento.

5.2 La verifica della convenienza economica di un cambio di società fornitrice di energia elettrica

In genere, gli interventi di uso razionale dell'energia elettrica possono essere in qualche caso meno importanti di quelli riferiti al risparmio di energia termica. Tuttavia in alcuni casi potrebbero essere realizzabili risparmi tra il 10% ed il 30% con i seguenti interventi:

- rifasamento dei carichi elettrici;
- ottimizzazione dei contratti;
- ottimizzazione della distribuzione dell'energia;
- economia di illuminazione (mediante interventi mirati in fase di progettazione e di esercizio).

### *1.11 Individuazione dei possibili interventi di energy saving*

Obiettivo finale della diagnosi energetica è quello di individuare possibili interventi di l'incremento dell'efficienza energetica dell'edificio.

La tabella seguente riporta un quadro di sintesi, certamente non esaustivo, delle più comuni problematiche relative all'edificio e agli impianti installati e i possibili interventi correttivi.

		<b>PROBLEMATICHE</b>	<b>POSSIBILI INTERVENTI DI ENERGY SAVING</b>
<b>EDIFICIO</b>		ASSENZA DI ISOLAMENTO O ISOLAMENTO INSUFFICIENTE	ISOLAMENTO DELLE SUPERFICI OPACHE
		INFISSI A VETRO SINGOLO	SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI O DEI SOLI COMPONENTI VETRATI
		ESPOSIZIONE SOLARE SFAVOREVOLE ALLA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA	UTILIZZO DI SCHERMATURE
		ELEVATA ALTEZZA DEI LOCALI CLIMATIZZATI	UTILIZZO DI CONTROSOFFITTATURE
<b>IMPIANTI</b>	<b>IMPIANTO TERMICO</b>	RIVESTIMENTO ISOLANTE INSUFFICIENTE PER TUBAZIONI E COLLETTORI	RINFORZO O RIFACIMENTO DEL SISTEMA ISOLANTE
		ECESSIVA TEMPERATURA DEI PRODOTTI DI COMBUSTIONE AL CAMINO	ADOZIONE DI SISTEMI DI RECUPERO DEL CALORE SENSIBILE DEI FUMI
		IMPIANTO DI COMBUSTIONE SOVRADIMENSIONATO RISPETTO ALLA POTENZA DEL GENERATORE	SOSTITUZIONE DEI BRUCIATORI POCO EFFICIENTI
		RENDIMENTO TERMICO RIDOTTO	SOSTITUZIONE DEL COMBUSTIBILE
		GENERATORI IN NUMERO LIMITATO E DI POTENZA SOVRADIMENSIONATA	SOSTITUZIONE GENERATORI PER NUMERO, TIPO, POTENZA, RENDIMENTO
	<b>ACS</b>	ASSENZA DI UN SISTEMA DI REGOLAZIONE AUTOMATICA DELLA TEMP. DI MANDATA DELL'ACS O INADEGUATA TARATURA DELLO STESSO	ADOZIONE DI EFFICIENTI SISTEMI DI REGOLAZIONE AUTOMATICA DELLA TEMPERATURA DI MANDATA
		INSUFFICIENTE ISOLAMENTO DEL SERBATOIO E DELLE TUBAZIONI	REVISIONE DELL'ISOLAMENTO DEL SERBATOIO E DELLE TUBAZIONI
		INSUFFICIENTE CAPACITÀ DEL SERBATOIO DI ACCUMULO	INSTALLAZIONE DI UN ALTRO SERBATOIO DI ACCUMULO
	<b>DISTRIBUZIONE</b>	INSUFFICIENTE RIVESTIMENTO ISOLANTE	REVISIONE DEL RIVESTIMENTO ISOLANTE DI TUTTE LE RETI
	<b>SISTEMI DI REGOLAZIONE E CONTROLLO</b>	INSUFFICIENTE CONTROLLO A LIVELLO LOCALE	ADOZIONE DI DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE SUI CORPI SCALDANTI (Sensori di controllo, Valvole termostatiche, Controller sui ventilatori) ADOZIONE DI DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE SULLA DISTRIBUZIONE (Valvole a due vie, Valvole a tre vie
		INSUFFICIENTE CONTROLLO E REGOLAZIONE A LIVELLO DI CENTRALE TERMICA	ADOZIONE DI SISTEMI DI REGOLAZIONE SUI GRUPPI DI GENERAZIONE E DISTRIBUZIONE IN CENTRALE TERMICA (Controlli " in Cascata" dei generatori, Sonde climatiche, Sistemi a Inverter, Pompe di circolazione a giri variabili)
	<b>CONDIZIONAMENTO</b>	DISSIPAZIONE DI UN'ECESSIVA QUANTITÀ DI ENERGIA TERMICA CON L'ESTRAZIONE DELL'ARIA	INSTALLAZIONE DI SISTEMI DI RECUPERO ARIA-ARIA PER IL RIUTILIZZO DELL'ENERGIA TERMICA PERDUTA CON L'ARIA ESPULSA
		FUNZIONAMENTO AL MASSIMO CARICO ANCHE IN ORARI DI MANCATA UTILIZZAZIONE DEI LOCALI	APPLICAZIONE DI TIMER E DI MOTORI A DOPPIA POLARITÀ PER IL COMANDO DEI VENTILATORI NELLE ZONE A OCCUPAZIONE PREVEDIBILE
		SQUILIBRIO TRA CONDIZIONI AMBIENTE RAGGIUNTE IN ZONE SERVITE DALLO STESSO CIRCUITO	ZONIZZAZIONE DELL'ALIMENTAZIONE DEI CIRCUITI CHE SERVONO AREE CON CARATTERISTICHE DIVERSE

		PROBLEMATICHE	POSSIBILI INTERVENTI DI ENERGY SAVING
<b>IMPIANTI</b>	ILLUMINAZIONE	ELEVATO FABBISOGNO ENERGETICO	APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE AD ALTO RENDIMENTO
			ALIMENTAZIONE ELETTRONICA (LAMPADINE FLUORESCENTI)
			LAMPADINE A MAGGIOR EFFICIENZA LUMINOSA
			SISTEMI DI CONTROLLO • PRESENZA/ASSENZA • DAYLIGHT • REGOLAZIONE FLUSSO LUMINOSO
	ASCENSORI	ELEVATI CONSUMI IN STAND-BY	SISTEMI DI SPEGNIMENTO LUCI AUSILIARIE E VENTILAZIONE DI CABINA QUANDO L'ASCENSORE NON È UTILIZZATO
			IMPIEGO DI LED PER TUTTI I SISTEMI DI ILLUMINAZIONE E SEGNALAZIONE
ELEVATI CONSUMI DEI MOTORI IDRAULICI		• VALVOLE ELETTRONICHE (no resistenze riscaldamento olio e minore necessità di raffreddamento olio) • MOTORE AD ALTA EFFICIENZA a comando della pompa idraulica • INVERTER VVVF - Azionamenti che consentono di variare tensione e frequenza di alimentazione della pompa elettrica del circuito idraulico • SOFT START (Riduce la $I_{avviamento}$ della pompa elettrica del circuito idraulico)	
	ELEVATI CONSUMI DEI MOTORI ELETTRICI	• MOTORI AD ALTA EFFICIENZA • INVERTER VVVF • SISTEMI DI RIGENERAZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA	

### 1.12 Valutazione della fattibilità tecnico-economica degli interventi

I possibili interventi di energy saving, andranno selezionati effettuando un'opportuna analisi di fattibilità che ne evidenzi la convenienza tecnica ed economica.

A tal fine, è necessario esaminare l'intervento nei suoi diversi aspetti, allo scopo di identificare le condizioni tecnico-gestionali che ne consentano l'effettiva fattibilità, tra i quali:

- la soluzione più adeguata per l'involucro
- la soluzione impiantistica più appropriata al caso specifico
- il risparmio energetico ottenibile rispetto alla situazione precedente l'intervento,
- i costi di realizzazione e di gestione del nuovo impianto.
- il rispetto dei vincoli paesaggistici, ambientali, architettonici, archeologici ecc.,

I principali indicatori economici d'investimento che è possibile utilizzare in queste valutazioni sono:

- VAN (valore attuale netto);
- IP (indice di profitto);
- TIR (tasso interno di rendimento) o IRR (internal rate of return);
- TRA (tempo di ritorno attualizzato);
- TR (tempo di ritorno semplice) o SP (simple payback time).

Nella relazione finale di diagnosi energetica saranno descritti soltanto i possibili interventi di riqualificazione energetica del sistema edificio-impianto di cui sia stata accertata la fattibilità tecnica ed economica.

## 2. APPENDICE Esempi di diagnosi energetica

INTRODUZIONE.....	32
APPENDICE 1: Analisi energetica di complessi edilizi di pregio architettonico: l'Istituto Universitario Europeo di Fiesole: la Badia Fiesolana .....	33
1. OBIETTIVO DELL'ANALISI ENERGETICA.....	34
2. IL CONTESTO DELLA NORMATIVA TECNICA VIGENTE PER IL CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA 35	
3. LO STRUMENTO DI CALCOLO EPA-NR PER L'ANALISI ENERGETICA .....	37
4. I DATI CLIMATICI DEL SITO IN ESAME.....	38
5. L'ISTITUTO UNIVERSITARIO EUROPEO DI BADIA FIESOLANA.....	39
5.1 Gli impianti installati .....	40
5.2 L'analisi energetica della biblioteca.....	41
5.2.1. Rilievo e raccolta dati.....	41
5.2.2. Caratterizzazione del sistema edificio-impianto .....	53
5.2.3. Presentazione e valutazione dei risultati di calcolo.....	60
5.2.4. Valutazione di incremento performance energetica: scenari di intervento .....	64
5.2.5. Valutazioni finali .....	71
5.3 L'ANALISI ENERGETICA DEL COMPLESSO STORICO .....	72
5.3.1. Rilievo e raccolta dati.....	72
5.3.2. Caratterizzazione del sistema edificio-impianto .....	78
5.3.3. Presentazione e valutazione dei risultati.....	86
5.3.4. Valutazione di incremento performance energetica: scenario di intervento .....	90
5.4 L'ANALISI ENERGETICA DEL COMPLESSO EDILIZIO DELL'ISTITUTO UNIVERSITARIO EUROPEO DI BADIA FIESOLANA.....	91
5.4.1. Presentazione e valutazione dei risultati.....	91
5.4.2. Valutazione di incremento performance energetica.....	95
APPENDICE 2: Analisi e riqualificazione energetica della sede del Ministero dello Sviluppo Economico: Palazzo Piacentini e Palazzo Rosa.....	97
1. ASPETTI GENERALI .....	98
1.1 INTRODUZIONE .....	98
1.2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'EDIFICIO .....	98
1.3 AZIONI ENEA A SUPPORTO MSE .....	99
1.4 RISULTATI DEI SOPRALLUOGHI .....	99
1.4.1. Involucro edilizio.....	99
1.4.2. Usi finali di gas .....	100

1.4.3.	Usi finali di energia elettrica .....	100
1.4.4.	Comportamento dell'utenza .....	101
2.	ANALISI DEI BENEFICI DERIVANTI DALL'UTILIZZO DI SISTEMI TRASPARENTI A PIU' ELEVATA EFFICIENZA 101	
2.1	INTRODUZIONE .....	101
2.2	COMPONENTI TRASPARENTI: SCELTA ADOTTATA E PROPOSTA ENEA .....	101
2.3	Descrizione della tecnologia a filtro solare .....	102
2.4	ANALISI ENERGETICA PER DIVERSE TIPOLOGIE DI SISTEMA TRASPARENTE .....	104
2.4.1.	Definizione delle zone dell'edificio .....	105
2.5	Risultati .....	105
2.5.1.	Energia netta per raffrescamento .....	106
2.5.2.	Apporti solari annuali e nella stagione di raffrescamento .....	108
2.5.3.	Impatto del set-point locale di temperatura .....	109
2.6	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	110
3.	MONITORAGGIO DEI CONSUMI ELETTRICI.....	111
3.1	INTRODUZIONE .....	111
3.2	CENNI SULLE GRANDEZZE ELETTRICHE .....	111
3.3	RILIEVI STRUMENTALI DEI PRELIEVI DI ENERGIA ELETTRICA DI PALAZZO PIACENTINI .....	112
3.4	APPARECCHI DI MISURA .....	114
3.5	INDIVIDUAZIONE QUADRI PER MONITORAGGIO .....	117
3.6	DIAGNOSI ENERGETICA QUADRO GENERALE .....	118
3.7	DIAGNOSI ENERGETICA PIANO SECONDO .....	120
3.7.1	Analisi energetica.....	121
3.8	DIAGNOSI ENERGETICA IV PIANO .....	126
4.	ANALISI DEI CONSUMI ELETTRICI DEGLI ASCENSORI.....	128
4.1	INTRODUZIONE .....	128
4.2	RISULTATI DEL SOPRALLUOGO .....	128
4.3	ANALISI E MONITORAGGIO DEI CONSUMI ELETTRICI.....	131
4.4	PROPOSTE DI MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA .....	134
4.4.1	Azioni sui motori elettrici.....	135
4.4.2	Azioni sulle apparecchiature ausiliare di cabina.....	136
4.5	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	137
5.	CONSIDERAZIONI SULLA SALA POLIVALENTE E MONITORAGGIO AMBIENTALE DEL PIANO INTERRATO 138	
5.1	CONSIDERAZIONI GENERALI .....	138

5.2	MONITORAGGIO AMBIENTALE DEL PIANO INTERRATO .....	140
5.3	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	144
6.	ALCUNE IPOTESI DI INTERAZIONE TRA EFFICIENZE ENERGETICA E TECNOLOGIE DELLA INFORMAZIONE 145	
6.1	INTRODUZIONE .....	145
6.2	OTTIMIZZAZIONE DELLA SALA CED .....	145
6.3	DEFINIZIONE DEI REQUISITI DI UN SISTEMA INTELLIGENTE PER LA VISUALIZZAZIONE E LA GESTIONE DEI CARICHI E DEI CONSUMI .....	145

## INTRODUZIONE

In questa sezione si riportano due esempi di diagnosi energetiche svolte dal gruppo di lavoro riguardanti un complesso edilizio di pregio architettonico sede di un istituto universitario europeo con sede a Fiesole e la sede del Ministero dello Sviluppo Economico a Roma.

Si tratta in entrambi i casi di diagnosi relative ad immobili complessi sia per la composizione stratigrafica dell'involucro (opaco e trasparente) che per i sistemi impiantistici a servizio di utenze tra loro differenziate.

Nel caso della Badia Fiesolana oltre ad un impegno rilevante dovuto ad operazioni di rilievo in situ e reperimento dati di sistemi impiantistici distinti a servizio di diversi blocchi edilizi si sono dovute calcolare le caratteristiche termofisiche dei componenti l'involucro non disponibili da elaborati tecnici preesistenti e relative a stratigrafie articolate, diversificate in funzione di epoche successive di realizzazione.

I risultati delle elaborazioni numeriche hanno consentito di approntare un quadro finale esaustivo di tutta la contabilità energetica, dei flussi di energia in ingresso e uscita dagli impianti e la definizione degli indicatori energetici più significativi.

Questa diagnosi è stata eseguita utilizzando un software che eseguendo un bilancio energetico dell'edificio con ripartizione dei consumi in usi finali, consente di valutare i benefici energetici derivanti da diversi interventi ipotizzati tesi al contenimento dei consumi energetici.

La diagnosi relativa alla sede del MISE viene descritta in quanto ha riguardato l'analisi e proposte per la riqualificazione dell'involucro edilizio e valutazioni in merito a ipotesi di sostituzione dei sistemi impiantistici.

In questo caso specifico in sede di diagnosi sono stati effettuati monitoraggi ed analisi dei consumi elettrici, suddivisi nei vari usi (illuminazione, ascensori, climatizzazione estiva, apparecchiature, ecc.) e analisi dei consumi termici al fine di proporre interventi di efficientamento energetico complessivo del sistema edificio-impianti.

L'analisi dettagliata dei consumi è finalizzata alla quantificazione dei consumi, divisi per reparto per poter individuare fonti, quantità e cause di consumo.

Data le caratteristiche di pregio ed i vincoli imposti al manufatto non sono state proposte ipotesi di intervento sulla parte opaca dell'involucro, mentre sono state avanzate suggerimenti inerenti l'ottimizzazione dei componenti trasparenti in previsione di sostituzione dei serramenti.

Da uno studio del comportamento dell'utenza (scarsamente sensibilizzata verso l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche) si è suggerito di prevedere azioni di informazione e responsabilizzazione del personale volte ad un uso consapevole dei diversi sistemi impiantistici.

APPENDICE 1: Analisi energetica di complessi edilizi di pregio  
architettonico: l'Istituto Universitario Europeo di Fiesole: la Badia  
Fiesolana

## 1. OBIETTIVO DELL'ANALISI ENERGETICA

L'obiettivo dell'analisi energetica, condotta sui complessi edilizi dell'Istituto Universitario Europeo di Badia Fiesolana, è stato quello di accertare il **fabbisogno di energia necessario alla climatizzazione dell'edificio, valutato in condizioni standard<sup>2</sup>** ed individuare, conseguentemente, azioni di "energy saving" finalizzate al miglioramento della prestazione energetica degli edifici in esame.

A tal fine, lo studio condotto si è articolato nelle seguenti fasi:

- rilievo ed analisi di dati geometrico-dimensionali;
- caratterizzazione termofisica degli involucri edilizi;
- caratterizzazione degli impianti di climatizzazione;
- analisi e valutazione dei consumi energetici stimati del complesso edilizio;
- individuazione di possibili interventi finalizzati ad incrementare l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto.

L'analisi, effettuata mediante l'utilizzo del software di simulazione EPA-NR, ha consentito di valutare il comportamento energetico degli edifici e di rappresentarlo sinteticamente mediante un fabbisogno di energia specifico, espresso kWh/m<sup>3</sup>, in linea con quanto previsto dai Dlgs 192/2005 e 311/2006 sulla Certificazione degli edifici.

L'analisi dei risultati ottenuti, in forma disaggregata, ha reso, inoltre, possibile ricostruire il bilancio dei flussi energetici connessi al complesso edilizio, evidenziando le diverse modalità di dispersione energetica e l'incidenza rispetto al fabbisogno totale.

Sono state, quindi, considerate le possibili riduzioni dei consumi energetici ottenibili attraverso un miglioramento delle caratteristiche termofisiche degli edifici presenti quali: la sostituzione di alcuni componenti (es infissi e vetrate), l'isolamento parziale o totale dell'involucro edilizio di un edificio (es isolamento della copertura o a "cappotto"), o quelle derivanti da una migliore regolazione degli impianti di climatizzazione.

Nei diversi casi considerati, ci si è, comunque, limitati ad evidenziare la riduzione della domanda di energia rispetto allo stato iniziale ipotizzato nel calcolo ed il minor impatto ambientale in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> evitate, senza addentrarsi, in questa fase, nell'analisi di fattibilità tecnico-economica degli interventi previsti, che dipenderebbe in modo rilevante, dalla scelta specifica dei componenti edilizi sostituiti, dai materiali utilizzati, nonché dalle varie modalità di realizzazione dell'intervento.

Al momento infatti l'obiettivo è stato quello di produrre un'analisi energetica che orienti verso interventi mirati alla riduzione dei consumi di energia ed al raggiungimento di livelli di comfort più elevati per gli utenti finali

---

<sup>2</sup> Le condizioni standard considerate nella valutazione sono quelle indicate nella normativa di riferimento: DLgs 192/2005 e s.m.i. e norme tecniche in esso richiamate.

## 2. IL CONTESTO DELLA NORMATIVA TECNICA VIGENTE PER IL CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA

La valutazione della prestazione energetica è stata effettuata mediante specifiche metodologie implementate negli strumenti software adottati. Questi, per i diversi parametri valutati, prevedono procedure di calcolo conformi alle normative tecniche vigenti, di cui, di seguito, si elencano quelle principali di riferimento.

**Norma UNI EN ISO 13790:2008** “Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”.

Questa Norma fornisce dei metodi di calcolo per la valutazione del fabbisogno di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento degli ambienti di edifici residenziali e non residenziali, o di una parte degli stessi.

**Specifico tecnico UNI/TS 11300-1:2008** “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”.

La specifica tecnica definisce le modalità per l'applicazione della UNI EN ISO 13790 con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento.

La specifica tecnica è rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790 ed in particolare per quanto riguarda la valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard

**Specifico tecnico UNI/TS 11300-2:2008** “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”.

La specifica tecnica fornisce dati e metodi per la determinazione: del fabbisogno di energia utile per acqua calda sanitaria; dei rendimenti e dei fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari dei sistemi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria; dei fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la produzione dell'acqua calda sanitaria.

**Norma UNI 10339:1995** “Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura”.

Questa Norma UNI fornisce una classificazione degli impianti, la definizione dei requisiti minimi e i valori delle grandezze di riferimento durante il funzionamento. Si applica agli impianti aeraulici destinati al benessere delle persone, comunque installati in edifici chiusi.

**Norma UNI EN ISO 10077-1:2007** “Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità”.

La norma specifica i metodi di calcolo della trasmittanza termica di finestre e porte costituite da vetrate o pannelli opachi inseriti in telai con o senza chiusure oscuranti. .

**Norma UNI EN ISO 6946:2008** “Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo”.

La Norma fornisce il metodo per il calcolo della resistenza termica e della trasmittanza termica dei componenti e degli elementi per edilizia, escluse le porte, le finestre e altre parti vetrate, le facciate continue, i componenti che implicano uno scambio termico con il terreno ed i componenti percorsi dall'aria di ventilazione.

**Norma UNI EN ISO 15316:2008** “Impianti di riscaldamento degli edifici – Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto”.

#### Parte 1: Generalità

Definisce lo schema per il calcolo dell'energia utilizzata dagli impianti per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria negli edifici. Il metodo di calcolo facilita l'analisi energetica dei diversi sottosistemi dell'impianto di riscaldamento, incluso il controllo (emissione, distribuzione, accumulo, generazione), attraverso la determinazione delle perdite di energia e dei relativi fattori di rendimento. Questa analisi del rendimento consente la comparazione fra sottosistemi diversi e consente di valutare l'impatto di ciascun sottosistema sulla prestazione energetica complessiva dell'edificio.

#### Parte 2-1: Sistemi di emissione del calore negli ambienti

Fornisce una metodologia per calcolare/stimare la prestazione energetica sia attraverso i valori di rendimento del sistema di emissione sia mediante l'aumento delle temperature negli ambienti, causato dall'inefficienza dei sistemi di emissione.

#### Parte 2-3: Sistemi di distribuzione del calore negli ambienti

Fornisce una metodologia per calcolare/stimare le perdite termiche delle reti di distribuzione degli impianti di riscaldamento ad acqua e il relativo fabbisogno di energia elettrica ausiliaria.

#### **Norma UNI EN ISO 10349:1994** "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici".

Fornisce i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione e la verifica sia degli edifici sia degli impianti tecnici per il riscaldamento ed il raffrescamento..

#### **Norma UNI 10335:1994** "Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo".

Fornisce i valori delle resistenze termiche unitarie relative alle tipologie di murature e solai maggiormente diffuse in Italia.

#### **Norma UNI EN ISO 14683:2008** "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento".

La Norma specifica dei metodi semplificati per la determinazione del flusso di calore attraverso i ponti termici lineari che si manifestano alle giunzioni degli elementi dell'edificio.

### 3. LO STRUMENTO DI CALCOLO EPA-NR PER L'ANALISI ENERGETICA

Il progetto EPA-NR - Energy Performance Assessment of Not-Residential Buildings – (co-finanziato dalla Comunità Europea e di cui ENEA è stato uno dei partner), ha sviluppato una metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche (Asset Rating) di edifici non residenziali esistenti.

Lo strumento consente di effettuare valutazioni di risparmio energetico per categoria di edifici complessi e particolarmente energivori come quelli dell'istituto Universitario Europeo.

Tale complessità è dovuta a: tipologia dell'utenza, profili di utilizzo, requisiti di comfort microclimatico, tipologia dei sistemi impiantistici, esercizio e gestione degli impianti, ecc..

Le non esaustive informazioni relative alla composizione stratigrafica delle strutture murarie esistenti hanno reso necessarie valutazioni aggiuntive per la determinazione dei relativi parametri termofisici.

I risultati ottenuti con l'utilizzo del modello citato, possono essere di supporto per definire lo scenario degli interventi proponibili al fine di poter selezionare quelli maggiormente auspicabili.

I risultati della valutazione sono stati espressi facendo ricorso ad indicatori previsti dalla normativa nazionale di riferimento quali il fabbisogno energetico espresso per unità di volume (kWh/m<sup>3</sup>) e le emissioni di CO<sub>2</sub> (t).

EPA-NR è un codice flessibile in grado di adeguarsi al contesto climatico specifico, alle condizioni peculiari dell'edificio ed alla tipologia degli impianti di climatizzazione installati.

EPA-NR è uno strumento di calcolo stazionario su base mensile (utilizza il metodo a bilancio mensile con i "fattori di utilizzazione" definito nella UNI EN ISO 13790) ed è stato applicato al complesso in esame attraverso un modello monozona che consente di calcolare l'utilizzo totale dell'energia da parte degli edifici tenendo conto dei diversi usi energetici.

Il codice si basa su di un unico motore di calcolo che fa riferimento alle normativa nazionale e su una serie di librerie specifiche (che sono state create ad hoc per lo studio in esame e che verranno evidenziate nella parte relativa alla caratterizzazione energetica del sistema edificio-impianti) che consentono di inserire gli input relativi a:

- dati climatici della zona di appartenenza degli edifici
- libreria dei combustibili utilizzati
- libreria di alcuni parametri utilizzati per semplificare il processo di calcolo. Sono stati definiti ad esempio: scambi termici verso il terreno, rapporto tra superficie trasparente ed opaca negli infissi, influenza dei ponti termici sulla dispersione degli elementi di involucro.

La "modellazione" degli edifici è stata realizzata descrivendo il sistema edificio-impianti in termini di:

- zone confinanti con accoppiamento termico;
- geometria, carichi interni, infiltrazione;
- caratteristiche dell'involucro opaco;
- caratteristiche dell'involucro trasparente;
- sistema di climatizzazione invernale;
- sistema per la produzione di acqua calda sanitaria;

Un'opportunità fornita dal codice, che è stata utilizzata per la simulazione, consiste nel poter creare varianti agli edifici reali con la finalità di ipotizzare e confrontare proposte di intervento volte ad una riqualificazione energetica del sistema edificio-impianti originario.

EPA-NR genera due tipi di risultati:

- Fabbisogno energetico di riscaldamento e raffrescamento, per la produzione di acqua calda sanitaria ed il consumo complessivo di energia, in termini di combustibile, di energia primaria e le emissioni di CO<sub>2</sub> su base mensile;
- Confronto delle prestazioni energetiche derivanti dai diversi scenari di intervento proposti.

## 4. I DATI CLIMATICI DEL SITO IN ESAME

### Coordinate geografiche

Comune: Fiesole (FI)  
 Gradi Giorno: 2216 (DPR 26/8/93 n.412)  
 Altitudine: 295 m s.l.m.  
 Latitudine: 43°48'  
 Longitudine: 11°17'

### Dati climatici

I dati geografici e climatici specifici di Fiesole, non trattandosi di capoluogo di provincia (i quali vengono desunti direttamente dal DPR 412/93 e dalla UNI 10349), sono stati calcolati secondo i criteri forniti dalla UNI 10349 attraverso la caratterizzazione della località di riferimento (capoluoghi di provincia più vicini in linea d'aria e sullo stesso versante geografico del comune considerato) e della regione di vento di appartenenza.

E' quindi stato possibile ricavare i seguenti dati:

- Temperatura dell'aria esterna, valori medi mensili
- Valori medi mensili della pressione parziale del vapore d'acqua nell'aria esterna (da cui è stata calcolata l'umidità assoluta media mensile)
- Irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale
- Irradiazione solare globale su superfici verticali per esposizione (UNI 8477/1)

Tabella 1: Prospetto dati climatici

	Tmed [°C]	Uass [g/kg]	Hor [MJ/m <sup>2</sup> ]	H_N [MJ/m <sup>2</sup> ]	H_NE-NO [MJ/m <sup>2</sup> ]	H_E-O [MJ/m <sup>2</sup> ]	H_SE-SO [MJ/m <sup>2</sup> ]	H_S [MJ/m <sup>2</sup> ]
Gennaio	3,5	4,10	5,4	1,8	2,0	4,3	7,3	9,2
Febbraio	4,7	4,07	8,3	2,7	3,5	6,4	9,4	11,1
Marzo	8,1	4,92	12,4	3,8	5,6	8,8	11,0	11,6
Aprile	12,0	5,26	17,9	5,7	8,8	12,3	12,9	11,4
Maggio	16,0	7,36	22,7	8,2	11,9	15,0	13,7	10,7
Giugno	20,4	10,18	24,9	9,9	13,5	16,1	13,6	10,2
Luglio	23,2	10,88	26,1	9,5	13,7	17,2	14,9	11,1
Agosto	22,5	9,57	22,1	6,6	10,9	15,0	14,9	12,3
Settembre	19,1	9,56	16,6	4,3	7,4	12,0	14,2	13,9
Ottobre	13,5	7,59	11,1	3,1	4,5	8,6	12,3	14,2
Novembre	8,4	6,08	6,2	2,1	2,4	4,9	7,9	10,0
Dicembre	4,5	3,80	4,7	1,6	1,8	3,8	6,6	8,4
Annuale	13,0	6,95	14,9	-	-	-	-	-

## 5. L'ISTITUTO UNIVERSITARIO EUROPEO DI BADIA FIESOLANA

L'Istituto Universitario Europeo accoglie diverse destinazioni d'uso che sono differenziate ed integrate, nel complesso edilizio, in corpi di fabbrica non omogenei dal punto di vista edilizio.

Ai fini dell'analisi energetica svolta, il complesso di edifici in cui è ospitato è stato suddiviso in due sottoinsiemi:

- **Biblioteca:** edificio realizzato nel XX secolo che ospita attività connesse alla specifica destinazione d'uso;
- **Complesso storico:** l'insieme degli edifici dell'Istituto distinti dalla Biblioteca. Tale complesso è stato a sua volta suddiviso in tre diversi blocchi:
  1. **Blocco Antico:** è il nucleo originario del complesso Badia Fiesolana. Rappresenta, in termini di volume oltre il 60% dell'intero Istituto e comprende l'ex convento, del XVI secolo, e il chiostro di epoca rinascimentale. In questo blocco sono presenti destinazioni d'uso differenti quali ristorazione (mensa, bar), uffici, aule didattiche e sale riunioni.
  2. **Blocco Teatro:** è caratterizzato essenzialmente da un teatro/sala convegni, con particolari caratteristiche architettoniche e artistiche.
  3. **Blocco Nuovo:** corpo di fabbrica di ampliamento, di piccola volumetria (< 4% del totale), realizzata in tempi più recenti e destinata essenzialmente ad uso ufficio.

In figura 1 è riportata una rappresentazione schematica dell'insieme degli edifici che compongono l'Istituto Universitario Europeo.

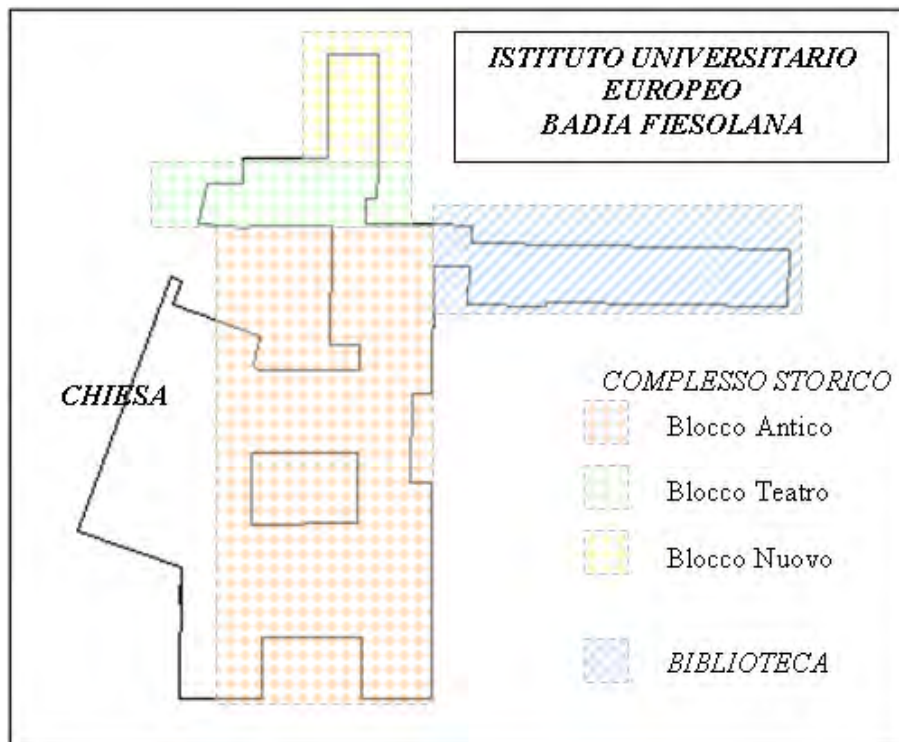


Figura 1: il complesso dell'Istituto Universitario Europeo

La suddivisione del complesso in blocchi è stata dettata dalla necessità di caratterizzare edifici diversi dal punto di vista costruttivo ed architettonico, viste le differenti epoche di realizzazione.

La fase iniziale dell'analisi energetica è stata rivolta alla Biblioteca, in quanto numerose segnalazioni da parte dell'utenza avevano evidenziato notevoli criticità dal punto di vista del comfort climatico (troppo freddo in estate e troppo caldo in inverno).

## 5.1 Gli impianti installati

L'Istituto Universitario Europeo è servito da un impianto per la climatizzazione estiva ed invernale che risulta articolato e complesso.

L'impianto di climatizzazione presente è costituito dai seguenti sottosistemi:

- Gruppo generazione riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria: *caldaie a gas metano*;
- Gruppo generazione raffrescamento: *macchine a compressione raffreddate ad acqua e torre evaporativa*;
- Gruppi di trattamento aria (UTA);
- Sistema di distribuzione del fluido termovettore (acqua calda, acqua refrigerata);
- Sistema di emissione: *diverse tipologie di terminali installati nei vari edifici*;
- Sistema di regolazione e controllo.

Ai fini della valutazione del fabbisogno energetico, ai componenti d'impianto sopra elencati sono stati associati quattro parametri rappresentativi:

- rendimento del sistema di generazione  $\eta_p$ ;
- rendimento del sistema di distribuzione  $\eta_d$ ;
- rendimento del sistema di emissione  $\eta_e$ ;
- rendimento del sistema di regolazione  $\eta_c$ .

Il rendimento globale  $\eta_g$  dell'impianto di climatizzazione è dato dalla relazione

$$\eta_g = \eta_p \cdot \eta_d \cdot \eta_e \cdot \eta_c$$

Il rendimento del sistema di generazione  $\eta_p$  si è considerato uguale per l'intero complesso; gli altri ( $\eta_d$ ,  $\eta_e$ ,  $\eta_c$ ), variabili in funzione delle componenti di impianto installate e delle caratteristiche degli edifici, saranno descritti nelle sezioni relative ai diversi blocchi analizzati (Biblioteca, Complesso storico).

Per il calcolo del fabbisogno energetico si è fatto riferimento alla sola stagione di riscaldamento e si assunta l'ipotesi di funzionamento continuo (senza attenuamento o spegnimento) dell'impianto, come previsto dalla normativa di riferimento.

Sia la Biblioteca che il Complesso storico sono state considerate come un'unica zona termica, in quanto:

- le temperature interne di set-point sono le medesime per tutti gli ambienti;
- gli ambienti sono climatizzati da un unico sistema di generazione.

## 5.2 L'analisi energetica della biblioteca

### 5.2.1. Rilievo e raccolta dati

Il calcolo del *Fabbisogno energetico* rende necessaria la conoscenza della geometria dell'edificio in esame in termini di superfici e volumi, nonché la caratterizzazione termofisica di tutti i componenti che costituiscono l'involucro edilizio.

Dall'analisi delle strutture opache e trasparenti e dei diversi materiali impiegati è possibile, infatti, ottenere un quadro d'insieme delle superfici disperdenti che racchiudono lo spazio interno riscaldato; ciò consente di calcolare la potenza termica che l'edificio scambia con l'ambiente esterno e, quindi, l'energia necessaria per mantenere al suo interno condizioni climatiche di comfort.

Per la Biblioteca della Badia Fiesolana i dati relativi alla geometria dell'edificio ed al comportamento termico dei vari componenti utilizzati, sono stati, in parte dedotti da documentazione di progetto ed in parte rilevati in sito.

In particolare, le superfici e le stratigrafie delle strutture opache (pareti verticali, solai, copertura ecc) sono state ricavate dalle Planimetrie e dalla Relazione della legge 10/91 allegate al progetto dell'impianto termico dell'edificio realizzato nel 2000.

Le dimensioni e la tipologia di tutti i serramenti (Finestre e Porte Finestre), le altezze di interpiano, nonché altri particolari costruttivi (elementi schermanti, ostacoli, aggetti ecc) sono stati, invece, dedotti mediante rilievo ed integrati con documentazione fotografica per verificare l'esposizione dei vari componenti.

I valori di trasmittanza termica ( $U_{\text{value}}$  espresso in  $W/m^2K$ ) sono stati calcolati in base alla conducibilità specifica ( $\lambda$  in  $W/mK$ ) dei vari elementi costituenti l'involucro edilizio.

Altri dati, necessari per la simulazione del comportamento energetico dell'edificio mediante software, sono stati, infine, valutati seguendo le indicazioni delle norme UNI-TS 11300 attualmente in vigore.

Vengono riportati in tabella 2 i dati riepilogativi riguardo la geometria dell'edificio ed, in seguito, gli abachi delle *strutture opache e dei serramenti* in cui vengono descritte le dimensioni e le caratteristiche termofisiche dei componenti opachi e trasparenti.

Tabella 2: Dati dimensionali

Superficie Lorda Disperdente [m <sup>2</sup> ]	Superficie utile Totale [m <sup>2</sup> ]	Volume interno netto [m <sup>3</sup> ]	Volume Lordo [m <sup>3</sup> ]	Rapporto S/V [m <sup>-1</sup> ]
2.690	2.085	7.652	9.930	0,27

Tabella 3: Abaco delle strutture opache

Piano	Codice	Orientamento	Area [m <sup>2</sup> ]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]
PT	M1	Ovest	165,9	1,554
	M2	Ovest	17,6	1,733
		Sud	38,91	
		Est	225,5	
		Nord	23,45	
	M3	Ovest	7,6	2,854
		Sud	1,3	
		Est	16,4	
		Nord	2,16	
	P6	Or	788	1,011
P1	M3	Ovest	32,4	2,854
		Sud	2,52	
		Est	17,64	
		Nord	2,16	
	M4	Ovest	172,42	1,862
		Sud	36,11	
		Sud	36,11	
		Nord	23,45	
	S7	Or	24,7	2,040
P2	M3	Ovest	24,23	2,854
		Sud	1,73	
		Est	16,41	
		Nord	0,86	
	M5	Ovest	223,75	2,324
		Sud	41,87	
		Est	255,16	
		Nord	27,92	
	S8	Or	763,3	1,979
	S9	20° Ovest	362,00	2,361
		20° Est	362,00	

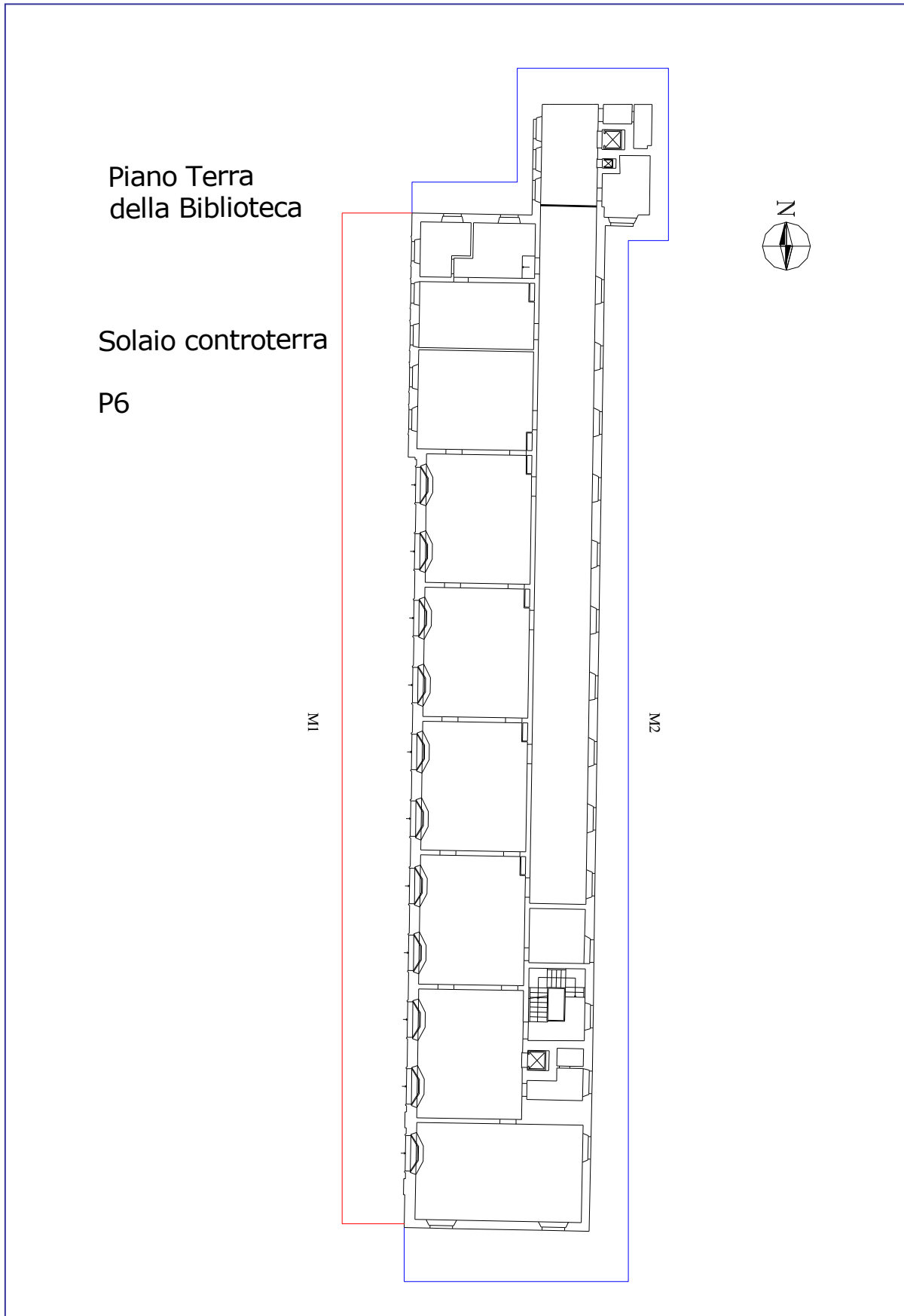
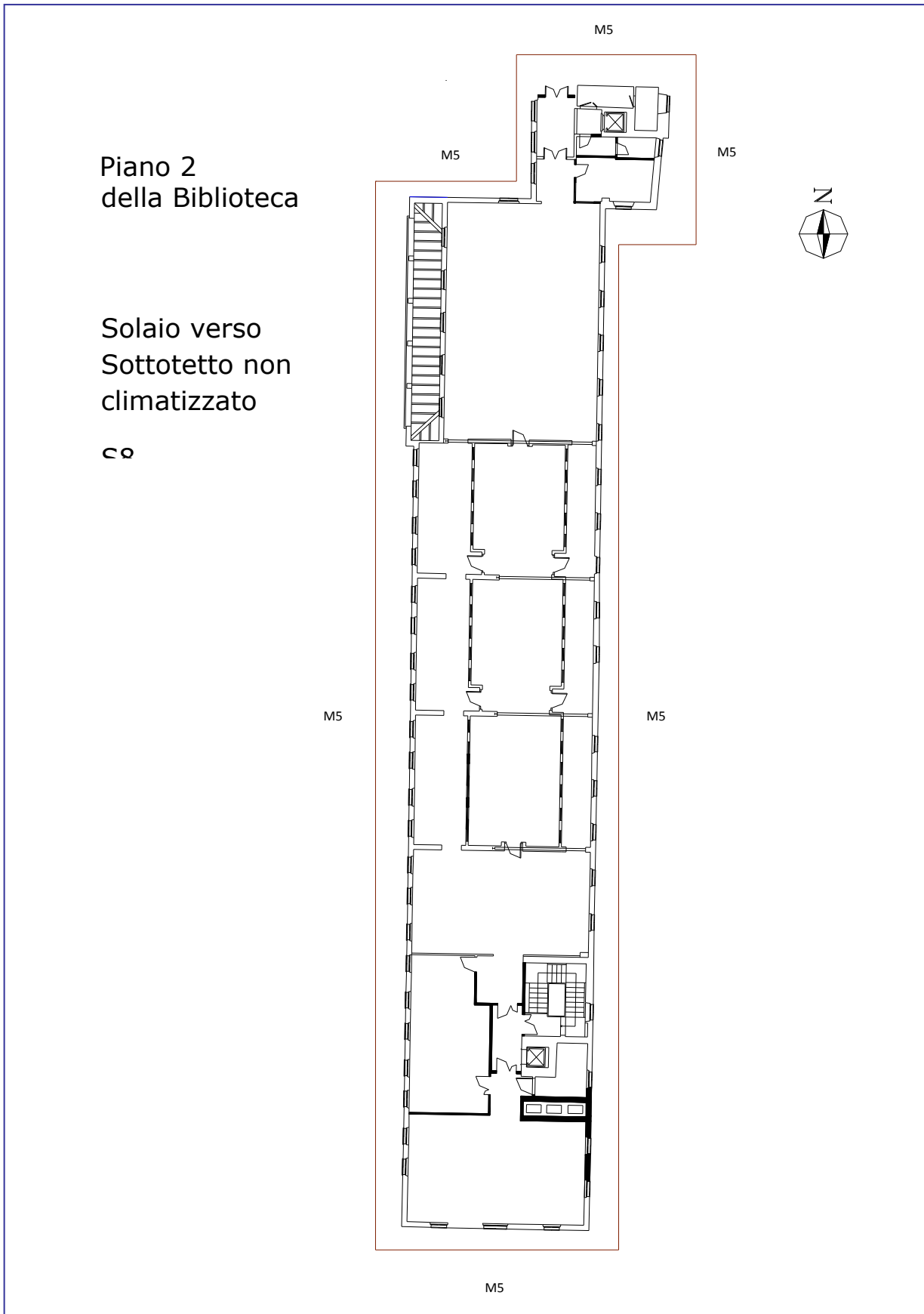


Figura 2: Localizzazione Strutture Murarie Piano Terra





**Figura 4: Localizzazione Serramenti Secondo Livello**

Tabella 4

SOTTOFINESTRA				
Codice Sottofinestra	n°	Spessore [m]	Area totale [m <sup>2</sup> ]	
M3	123	0,2	128,7	

Codice Finestra Associata	n°	Larghezza [m]	Altezza [m]	Area [m <sup>2</sup> ]
F1	22	1,2	0,9	23,8
F2	15	1,4	0,9	18,9
F3	22	1,2	0,9	23,8
F4	17	1,4	0,9	21,4
F5	45	0,96	0,9	38,9
F6	2	1,1	0,9	2,0

Tabella 5

STRUTTURE OPACHE VERTICALI							
Codice Struttura	Orientamento	Lunghezza [m]	Spessore [m]	H [m]	At [m <sup>2</sup> ]	Sf [m <sup>2</sup> ]	Area Opaca [m <sup>2</sup> ]
M1	PT (O)	63,0	0,64	4,09	94,4	7,6	155,4
M2	PT (N-S-E-O)	95,7	0,54	4,09	58,2	21,1	311,8
M4	P1 (N-S-E-O)	158,7	0,48	4,05	140,8	56,0	446,0
M5	P2 (N-S-E-O)	212,3	0,32	4,05	73,9	36,1	381,4
M5	P2 (O)	37,4	0,32	5,20	21,7	8,0	164,8

Tabella 6

STRUTTURE OPACHE ORIZZONTALI			
Codice Struttura	Tipo	Spessore [m]	Area Totale [m <sup>2</sup> ]
P6	Controtterra	0,135	788,0
S7	Solaio P2 Loggia	0,21	24,70
S8	Solaio Sottotetto	0,20	763,3
S9	Copertura Falde	0,20	906,0

A titolo di esempio si riporta la tabella utilizzata per il calcolo delle prestazioni termofisiche della parete opaca verticale perimetrale del piano terreno M1

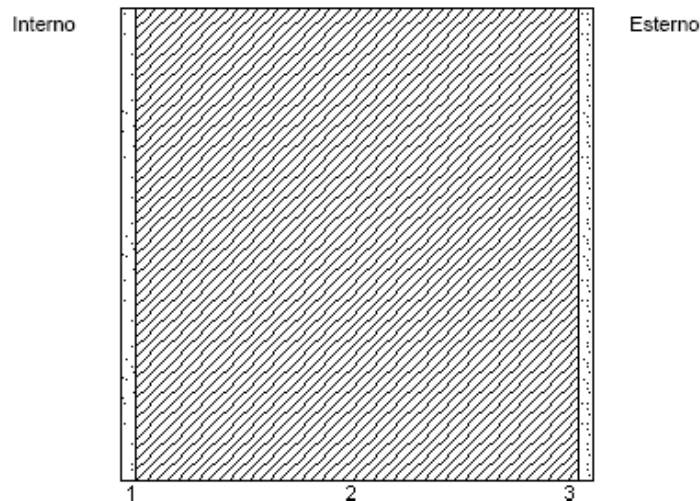
**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**  
secondo UNI EN ISO 13790 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **Muratura esterna PT Ovest**

Codice struttura: **M1**

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a$ [10 <sup>-12</sup> kg/msPa]	$\delta u$ [10 <sup>-12</sup> kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	20	0,700	35,000	1400	18,182	18,182	0,029
2	Muratura in pietra naturale	600	1,500	2,500	2000	4,000	4,000	0,400
3	Malta di cemento	20	1,400	70,000	2000	7,407	7,407	0,014
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

Spessore totale (mm)	<b>640</b>	Conduttanza unitaria superficiale interna	<b>7,692</b>	Resistenza unitaria superficiale interna	<b>0,130</b>
Massa superficiale (kg/m <sup>2</sup> )	<b>1268</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	<b>14,122</b>	Resistenza unitaria superficiale esterna	<b>0,071</b>
		<b>TRASMITTANZA TOTALE (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>1,554</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE (m<sup>2</sup>K/W)</b>	<b>0,644</b>



**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**  
Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti (°C)	pi (Pa)	Te (°C)	pe (Pa)
Invernale (gennaio)	20,0	1636	3,5	663
Estiva (luglio)	23,2	1993	23,2	1741

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a \_\_\_\_ Pa
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 206 g/m<sup>2</sup>  
Tale quantità non può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a \_\_\_\_ Pa

Simbologia:

s spessore dello strato  
C conduttanza  
 $\lambda$  conduttività  
 $\rho$  massa volumica

$\delta a$  permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%  
 $\delta u$  permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%  
R resistenza termica dei singoli strati

Ti temperatura interna  
Te temperatura esterna  
pi pressione parziale interna  
pe pressione parziale esterna

## ABACO DEI SERRAMENTI

Tabella 7: Identificazione serramenti

Codice	Area [m <sup>2</sup> ]	N°	Orientamento	Area Totale [m <sup>2</sup> ]	Trasmittanza Uw [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Piano Terra</b>					
F1	2,39	7	Ovest	16,72	3,034
		2	Nord	4,78	
F2	3,10	1	Sud	3,12	3,072
		13	Est	40,59	
PF1	3,54	1	Ovest	3,54	2,886
		1	Sud	3,54	
PF2	6,74	11	Ovest	74,14	5,13
PF3	3,03	1	Est	3,03	2,78
<b>Primo Livello</b>					
F1	2,39	8	Ovest	19,10	3,034
		2	Nord	4,78	
F3	2,80	22	Ovest	61,51	3,049
F4	4,09	14	Est	45,67	3,056
		2	Sud	6,52	
<b>Secondo Livello</b>					
F1	2,39	3	Ovest	7,16	3,034
F5	1,61	22	Ovest	35,48	3,017
		2	Sud	3,23	
		19	Est	30,64	
		1	Nord	1,61	
F6	1,87	2	Ovest	3,74	3,028
PF4	2,75	3	Ovest	8,25	2,881
PF5	3,93	1	Sud	3,93	2,835

Tabella 8: Individuazione superfici serramenti

SUPERFICI SERRAMENTI [m <sup>2</sup> ]					
Orientamento	OVEST	SUD	EST	NORD	Totale
PIANO TERRA	94,4	9,8	43,6	4,8	152,6
PRIMO LIVELLO	80,6	9,8	45,7	4,8	140,8
SECONDO LIVELLO	54,6	8,8	30,6	1,6	95,7
TOTALE	229,6	28,3	119,9	11,2	389,1

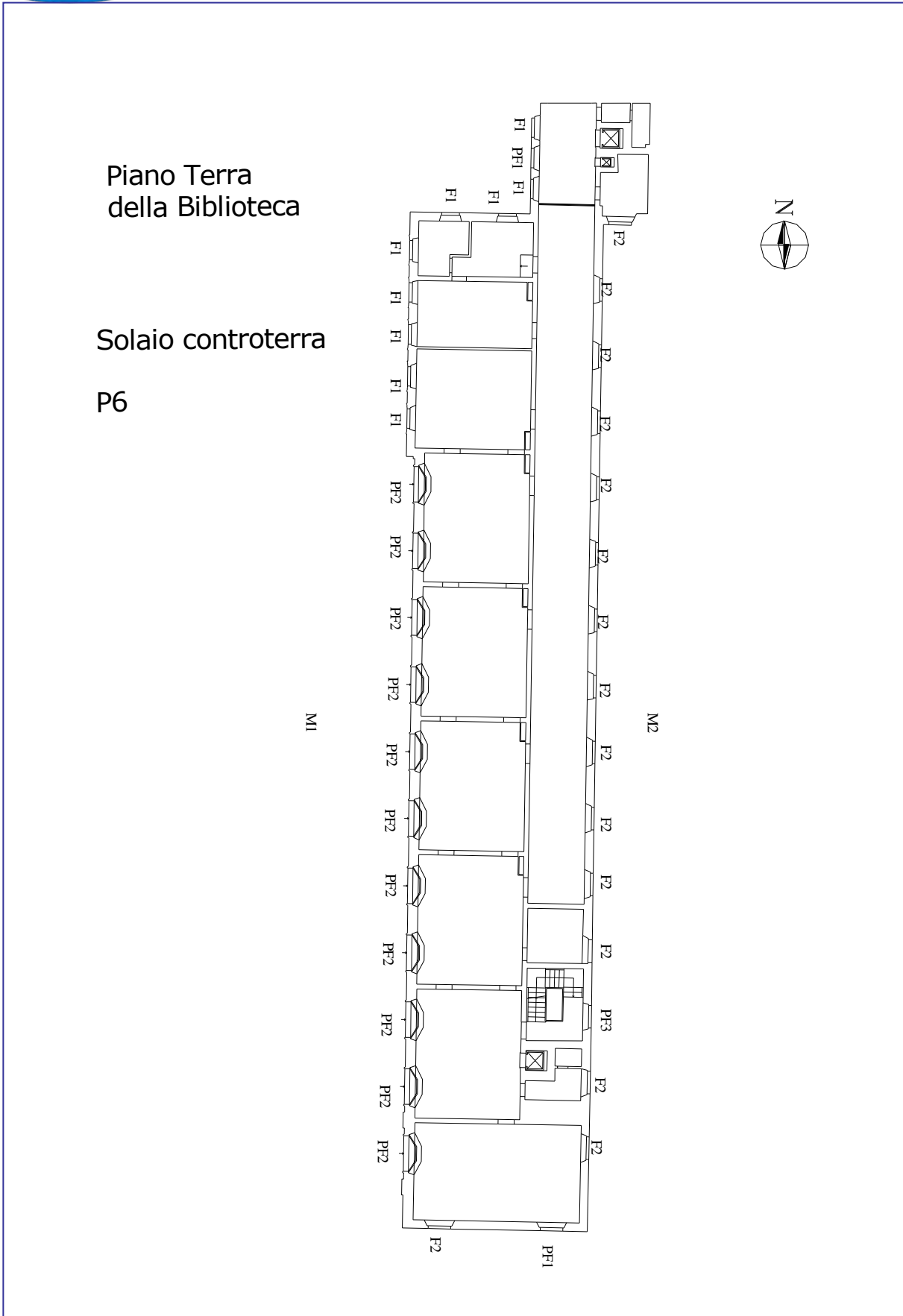


Figura 5: Localizzazione Serramenti Piano Terra

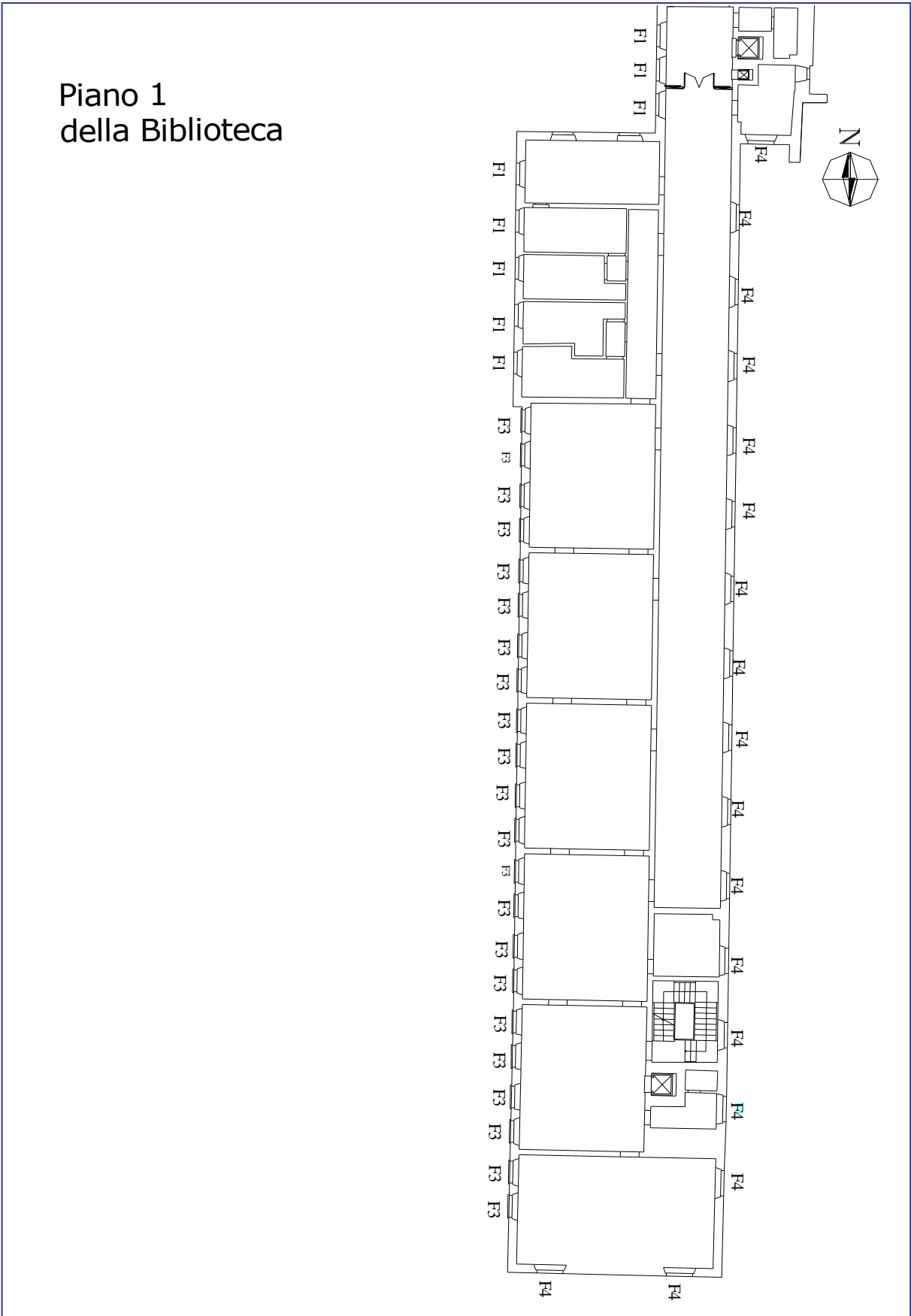


Figura 6: Localizzazione Serramenti Primo Livello

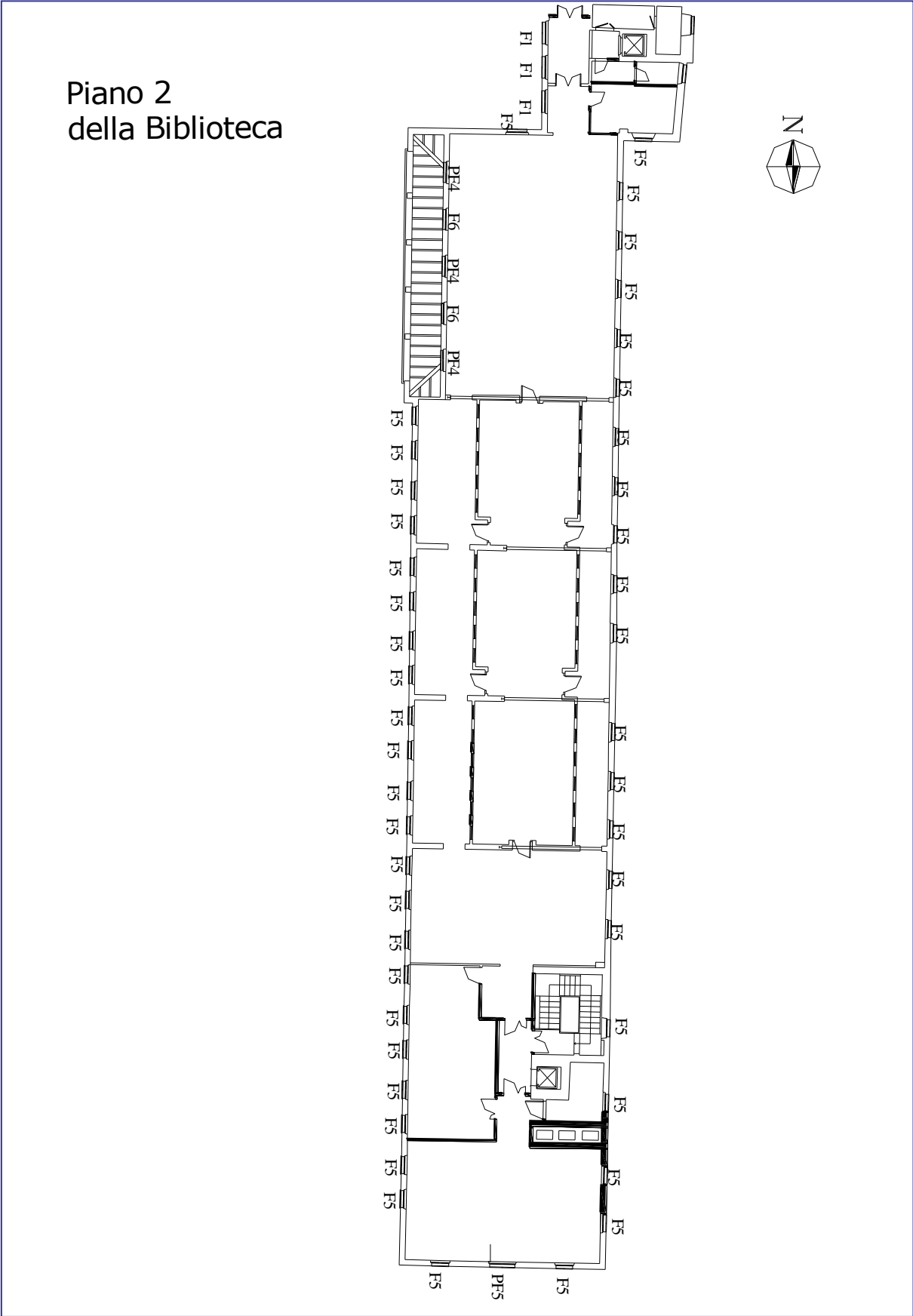


Figura 7: Localizzazione Serramenti Secondo Livello

A titolo di esempio si riporta la tabella utilizzata per il calcolo delle prestazioni termofisiche del serramento F1.

**CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN ISO 10077 e UNI EN ISO 6946

Tipo di componente: SERRAMENTO SINGOLO

Codice componente

**F1**

Finestra con persiane

DATI CARATTERISTICI	Ag	Af	Lg	Ug	Uf	Uw	Uwt
	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
	1,570	0,818	5,320	3,259	2,340	3,034	2,110

Resistenza unitaria superficiale interna [m <sup>2</sup> K/W]	0,13	Conduttanza unitaria superficiale interna [W/m <sup>2</sup> K]	7,692
Resistenza unitaria superficiale esterna [m <sup>2</sup> K/W]	0,04	Conduttanza unitaria superficiale esterna [W/m <sup>2</sup> K]	14,123
<b>Resistenza Termica Totale con PT [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>0,30</b>	<b>Trasmittanza Totale con Ponte Termico [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>3,33</b>

**F 1**

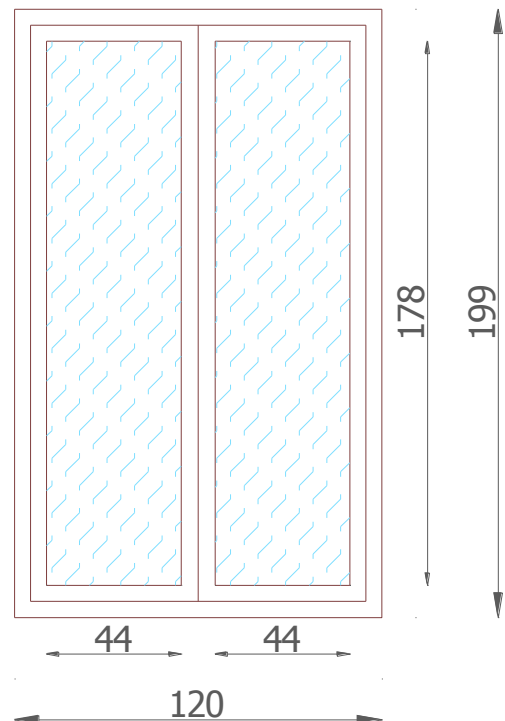
Tipologia telaio: **LEGNO**

Tipologia vetro: **VETRO DOPPIO (3-4-3 mm)**

Intercapedine: **ARIA**

**LEGENDA**

Ag	Area del vetro
Af	Area del telaio
Lg	Perimetro della superficie vetrata
Ug	Trasmittanza termica dell'elemento vetrato
Uf	Trasmittanza termica del telaio
Uw	Trasmittanza termica totale del serramento
Uwt	Trasmittanza termica totale comprensiva di persiane



### 5.2.2. Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

L'edificio della Biblioteca consiste in un unico corpo di fabbrica che costituisce un'ala del complesso della Badia Fiesolana. Si sviluppa su tre piani e presenta i fronti principali orientati lungo l'asse Est -- Ovest ( Figura 8 )

Il fronte ovest non presenta ostruzioni esterne rilevanti, mentre sul lato est un muro di contenimento ravvicinato al corpo di fabbrica produce un ombreggiamento di cui si è tenuto conto per la riduzione degli apporti termici gratuiti. Le postazioni per la consultazione sono disposte lungo i fronti principali. L'edificio è stato schematizzato come un'unica zona termica; il sottotetto è stato considerato un ambiente confinante non climatizzato.



Figura 8

#### Dati generali riepilogativi

Superficie lorda in pianta:  $S_p = 2085 \text{ m}^2$   
Volume lordo riscaldato:  $V = 9.930 \text{ m}^3$   
Superficie esterna disperdente:  $S = 2.690 \text{ m}^2$   
Rapporto Superficie-volume  $S/V = 0,27$

#### Caratteristiche dell'involucro dell'edificio

L'involucro dell'edificio è costituito da muratura portante priva di isolamento termico; lo spessore delle mura perimetrali, e quindi la trasmittanza, varia in funzione del piano di riferimento. I serramenti presentano telai in legno e doppi vetri, ad eccezione del prospetto ovest del piano terra dove sono presenti infissi in ferro con vetri singoli. Si riportano di seguito, i principali dati di input, utilizzati dal codice EPA, per la caratterizzazione delle strutture opache e trasparenti dell'edificio in esame.

#### Strutture Opache

I dati inseriti in questo modulo del codice riguardano la descrizione geometrico-dimensionale delle strutture opache racchiudenti gli ambienti climatizzati suddivise per esposizione e per tipologia stratigrafica e caratterizzate dai rispettivi parametri termo-fisici (trasmittanza termica, coefficienti di assorbimento delle superfici esterne ed emissività).

Sono stati inoltre descritti, ove presenti, i dispositivi di schermatura (verticali e orizzontali) e le ostruzioni esterne: la riduzione della radiazione solare incidente ad essi dovuta è stata calcolata per mezzo di opportuni fattori di ombreggiamento (funzione della geometria e dell'esposizione relativamente alle superfici su cui proiettano l'ombra).

Tabella 9: Caratteristiche termofisiche involucro opaco

Strutture opache	Area [m <sup>2</sup> ]	Orientamento	Tilt	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	a	R <sub>se</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	E
Muratura M1 O	165,9	270	90	1,554	0,45	0,04	0,9
Muratura M2 O	17,6	270	90	1,733	0,30	0,04	0,9
Muratura M2 S	38,91	180	90	1,733	0,30	0,04	0,9
Muratura M2 E	225,5	90	90	1,733	0,30	0,04	0,9
Muratura M2 N	23,45	0	90	1,733	0,30	0,04	0,9
Sottofin M3 O	64,23	270	90	2,854	0,30	0,04	0,9
Sottofin M3 S	5,55	180	90	2,854	0,30	0,04	0,9
Sottofin M3 E	50,45	90	90	2,854	0,30	0,04	0,9
Sottofin M3 N	6,48	0	90	2,854	0,30	0,04	0,9
Muratura M4 O	172,42	270	90	1,862	0,30	0,04	0,9
Muratura M4 S	36,11	180	90	1,862	0,30	0,04	0,9
Muratura M4 E	210,27	90	90	1,862	0,30	0,04	0,9
Muratura M4 N	23,45	0	90	1,862	0,30	0,04	0,9
Muratura M5 O	223,75	270	90	2,324	0,30	0,04	0,9
Muratura M5 S	41,87	180	90	2,324	0,30	0,04	0,9
Muratura M5 E	255,16	90	90	2,324	0,30	0,04	0,9
Muratura M5 N	27,92	0	90	2,324	0,30	0,04	0,9
Solaio S7	24,70	0	0	2,040	0,75	0,05	0,9

Nota: tutti i fattori di schermatura per le strutture opache sono stati posti pari a 1

I codici delle strutture si riferiscono all'Abaco Strutture Opache

Orientamento: angolo (Nord = 0°)

Tilt: Inclinazione della superficie

U<sub>value</sub>: Trasmittanza termica del componente

a: Coefficiente di assorbimento della radiazione solare riferito alla superficie esterna del componente

R<sub>se</sub>: Coefficiente di resistenza termica liminare delle superfici esterne dei componenti

E: emissività

### Strutture di basamento

Sono state considerate a parte per poter tener conto degli scambi termici verso il terreno.

Tabella 10

	Area [m <sup>2</sup> ]	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	B_g_h	B_g_c
Solaio controterra	788,00	1,011	0,45	-

U<sub>value</sub>: Trasmittanza termica del solaio

B\_g\_h Fattore correttivo dovuto alla trasmissione di calore verso il terreno (stagione riscaldamento)

B\_g\_c Fattore correttivo dovuto alla trasmissione di calore verso il terreno (stagione raffrescamento)

Desunti da UNI/TS 11300-1

## Strutture di divisione interne

La presenza di un ambiente sottotetto non climatizzato è stato considerato a parte per poterne valutare gli scambi termici con la zona termica costituita dalla Biblioteca.

Tabella 11

	Area [m <sup>2</sup> ]	Orientamento	Tilt	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	a	R <sub>se</sub> [m <sup>2</sup> K/W]
Solaio separazione sottotetto	763,30	0	0	1,979	0,75	0,05

Orientamento: angolo (Nord = 0°)

Tilt: Inclinazione della superficie

U<sub>value</sub>: Trasmittanza termica del componente

a: Coefficiente di assorbimento della radiazione solare riferito alla superficie esterna del componente

R<sub>se</sub>: Coefficiente di resistenza termica liminare delle superfici esterne dei componenti

## Ambiente non riscaldato: Sottotetto

Superficie in pianta: 660,0 m<sup>2</sup>

Tabella 12

Strutture opache	Area [m <sup>2</sup> ]	Orientamento	Tilt	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	a	R <sub>se</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	E
Falda O	362,0	270	20	2,361	0,75	0,05	0,9
Falda N	91,0	0	20	2,361	0,75	0,05	0,9
Falda E	362,0	90	20	2,361	0,75	0,05	0,9
Falda S	91,0	180	20	2,361	0,75	0,05	0,9

## Strutture Trasparenti

I dati stati inseriti in questo modulo del codice riguardano la descrizione geometrico-dimensionale delle strutture trasparenti suddivise per esposizione, per tipologia del serramento e caratterizzate dai rispettivi parametri termo-fisici (trasmissione termica, trasmissione termica comprensiva dei dispositivi di schermatura, fattore solare).

Come per le strutture opache, sono stati descritti, ove presenti, i dispositivi di schermatura (verticali e orizzontali) e le ostruzioni esterne: la riduzione della radiazione solare incidente è stata calcolata per mezzo di opportuni fattori di ombreggiamento (funzione della geometria ed esposizione relativamente alle superfici su cui proiettano l'ombra).

Tabella 13: Caratteristiche termofisiche involucro trasparente

Strutture Trasparenti	Area [m <sup>2</sup> ]	Orientamento	Tilt	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>s</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	G <sub>g</sub>	F <sub>h</sub>	F <sub>o</sub>	F <sub>f</sub>
F1 O	23,88	270	90	3,034	2,11	0,70	1	1	1
F1 O	19,10	270	90	3,034	2,11	0,70	1	1	0,44
PF1 O	3,54	270	90	2,886	2,02	0,70	1	1	0,44
PF2 O	74,14	270	90	5,800	5,35	0,70	1	1	1
F3 O	61,51	270	90	3,049	2,10	0,70	1	1	1
F5 O	35,48	270	90	3,017	2,17	0,70	1	1	1
F6 O	3,74	270	90	3,028	2,15	0,70	1	0,73	0,69
PF4 O	8,25	270	90	2,881	2,05	0,70	1	0,73	0,69
F1 N	9,56	0	90	3,034	2,11	0,70	1	1	1
F5 N	1,61	0	90	3,017	2,17	0,70	1	1	1
F2 E	40,59	90	90	3,072	2,09	0,70	0,50	1	1
PF3 E	3,03	90	90	3,525	2,32	0,70	0,50	1	1
F4 E	45,67	90	90	3,056	2,08	0,70	1	1	1
F5 E	30,64	90	90	3,017	2,17	0,70	1	1	1
F2 S	3,12	180	90	3,072	2,09	0,70	1	1	1
PF1 S	3,54	180	90	2,886	2,02	0,70	1	1	1
F4 S	6,52	180	90	3,056	2,08	0,70	1	1	1
F5 S	3,23	180	90	3,017	2,17	0,70	1	0,95	1
PF5 S	3,23	180	90	2,835	1,97	0,70	1	0,95	1

Nota: I codici delle strutture si riferiscono all'Abaco Strutture Trasparenti

Orientamento: angolo (Nord = 0°)

Tilt: Inclinazione della superficie

U<sub>value</sub>: Trasmissione termica del serramento

U<sub>s</sub>: Trasmissione termica del serramento comprensivo di dispositivi di schermatura

G<sub>g</sub>: Fattore solare

F<sub>h</sub>: Fattori di ombreggiatura dovuto ad ostruzioni esterne

F<sub>o</sub>: Fattori di ombreggiatura dovuto a schermi orizzontali

F<sub>f</sub>: Fattori di ombreggiatura dovuto a schermi verticali

I valori riportati in tabella sono stati in parte desunti dagli elaborati di progetto forniti, in parte rilevati in situ nel corso dei sopralluoghi e, per quanto riguarda i valori di trasmissione termica dei componenti l'involucro edilizio, sono stati calcolati secondo la normativa di riferimento (vedi Abaco Strutture Trasparenti).

## Caratteristiche principali degli impianti dell'edificio

La Biblioteca della Badia Fiesolana è dotata di un'unità di trattamento aria dedicata (UTA), che garantisce la climatizzazione estiva ed invernale.

I componenti principali relativi agli impianti di climatizzazione installati sono stati descritti precedentemente.

Nel proseguo saranno riportate le caratteristiche principali dei sistemi di regolazione e di emissione utilizzate dal codice EPA.

### Zone termiche individuate

L'edificio destinato a Biblioteca è stato considerato come unica zona termica.

Superficie lorda in pianta della Biblioteca 2085 m<sup>2</sup>

I corpi scala sono stati considerati come ambienti riscaldati compresi nel volume lordo riscaldato totale

Tabella 14

ZONA 1: Destinazione d'uso: Biblioteca	Cat.: E4(2)
CLIMATIZZAZIONE INVERNALE	
Temperatura di <i>set point</i> di riscaldamento nel periodo di occupazione	20,0 °C
Ambienti confinanti non climatizzati: Sottotetto	

La capacità termica interna specifica della zona termica è stata stimata secondo le modalità previste dalla UNI/TS 11300-1 in funzione delle caratteristiche costruttive dei componenti edilizi e del numero dei piani dell'edificio risultando un valore pari a: 125 kJ/m<sup>2</sup>K

### Determinazione Apporti termici interni

La normative di riferimento individua dei dati convenzionali in funzione della destinazione d'uso dei locali: Biblioteche: 8 W/m<sup>2</sup>

### Portata d'aria di rinnovo

La portata di aria esterna prevista e riportata nel progetto impiantistico è stata posta pari a 1,40 [1/h]

corrispondente a: 2,8 m<sup>3</sup>/s

Nella nostra ipotesi abbiamo preso in esame solo tale portata in quanto è ad essa che si può attribuire un carico termico.

Nella tabella seguente vengono riassunti i dati di input generali per il software EPA-NR.

Tabella 15

Dati generali		Apporti termici interni		Flussi d'aria	
Superficie lorda in pianta [m <sup>2</sup> ]	2085,0	Occupanti [W/m <sup>2</sup> ] + Apparecchiature elettriche [W/m <sup>2</sup> ]	8,0	Infiltrazione [m <sup>3</sup> /s]	2,8
Temperatura set point riscaldamento [°C]	20,0				
Capacità interna specifica [kJ/m <sup>2</sup> K]	125				
Acqua calda sanitaria	Consumo medio [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> anno]	0,073			
	Temp. Boiler [°C]	60			
	Temp. Acqua rete [°C]	15			

### Sistema di distribuzione

Il rendimento del sistema di distribuzione serve per tener conto delle dispersioni di calore (ove non sono previsti recuperi termici delle pompe di distribuzione) attraverso tubazioni passanti in locali non climatizzati.

Per la determinazione del rendimento di distribuzione si è fatto riferimento alle indicazioni della UNI/TS 11300-2 (funzione del tipo di distribuzione, dell'isolamento della distribuzione e del numero di piani dell'edificio serviti dalle tubazioni).

### Sistema di emissione

Il rendimento del sistema di emissione è legato alla tipologia di terminali utilizzati per la climatizzazione degli ambienti (diffusori lineari e quadrangolari nel controsoffitto). Nel caso in esame, trattandosi di impianto a tutt'aria, si è fatto riferimento alle indicazioni della UNI/TS 11300-2, che legano il rendimento al carico termico medio annuo (rapporto tra fabbisogno annuo di energia termica utile, calcolato secondo la UNI EN ISO 13790 ed il tempo convenzionale di esercizio dei terminali di emissione e per il volume lordo riscaldato della zona).

### Sistema di regolazione

Il rendimento del sistema di regolazione è stato ricavato dalle UNI/TS 11300-2 tenendo conto del sistema a bassa inerzia termica caratteristico dell'impianto a tutt'aria e considerando la presenza di una regolazione climatica in centrale termica con sonda esterna e non tenendo conto della regolazione ambiente in quanto attualmente non in funzione. Per ricavare il rendimento di regolazione è stato necessario individuare il fattore di utilizzo degli apporti ed il rapporto apporti/perdite.

Riportiamo nella tabella seguente i dati riassuntivi relativi all'impianto di climatizzazione.

Tabella 16

Sistema ausiliario		Sistema generazione		Sistema Distribuzione	Sistema Emissione	Sistema Regolazione
P_pump	3,8	h = 0.86		h = 0,936	h = 0,90	h = 0,85
Gen	1	Gen	1			
Feb	1	Feb	1			
Mar	1	Mar	1			
Apr	1	April	1			
Mag	0	Mai	0			
Giu	0	Giu	0			
Lug	0	Lug	0			
Ago	0	Ago	0			
Sett	0	Sett	0			
Ott	1	Ott	1			
Nov	1	Nov	1			
Dic	1	Dic	1			

### 5.2.3. Presentazione e valutazione dei risultati di calcolo

#### Fabbisogno di Energia Primaria della Biblioteca

Tabella 17

	Riscaldamento	Totale (*)
Fabbisogno di energia primaria [kWh/anno]	827.281	974.445
Fabbisogno di energia primaria [kWh/m <sup>3</sup> anno]	83,31	98,13
Emissioni di CO <sub>2</sub> [t]	203,18	239,64

(\*) Nel Totale è compresa anche il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS

In tabella 17 è riportato il valore dell'energia primaria, espressa sia in termini assoluti che riferiti all'unità di volume, necessaria alla climatizzazione dell'edificio, in base a quanto emerso dal calcolo del fabbisogno energetico effettuato.

Tale valore tiene conto delle caratteristiche termofisiche dell'edificio, nonché della tipologia degli impianti di climatizzazione installati.

E' stata, inoltre, stimata la quantità di CO<sub>2</sub> emessa, prendendo in considerazione sia l'energia termica utilizzata, sia l'energia elettrica prelevata dalla rete.

## Climatizzazione invernale : fabbisogno termico ed energia primaria

Tabella 18

	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Totale Periodo
DISPERSIONI (kWh)	46.641	80.544	111.193	118.386	99.142	85.381	55.544	596.831
Dispersioni per Trasmissione	30.233	52.208	72.099	76.749	64.281	55.357	36.008	386.934
Dispersioni per Ventilazione	16.388	28.314	39.094	41.617	34.861	30.024	19.536	209.834
APPORTI (kWh)	29.190	21.559	20.370	21.059	22.164	30.253	36.091	180.686
Apporti solari	14.032	6.464	4.233	5.442	8.465	15.450	22.018	76.103
Apporti interni	15.137	15.095	16.138	15.638	13.698	14.804	14.095	104.604
Contributo degli Apporti Termici (kWh)	21.350	19.307	19.036	19.766	20.287	25.812	26.063	151.621
Fabbisogno termico (kWh)	25.291	61.236	92.157	98.621	78.855	59.568	29.482	445.210
Fabbisogno termico (kWh/m <sup>3</sup> )	2,55	6,17	9,28	9,93	7,94	6,00	2,97	44,83
Fabbisogno elettrico sistemi ausiliari (kWh)	5.901	5.713	5.901	5.901	5.317	5.901	5.713	40.345
Energia primaria (kWh)	56.730	114.248	164.608	175.075	141.575	112.045	62.999	827.281
Indice di prestazione energetica (kWh/m <sup>3</sup> )	5,71	11,51	16,58	17,63	14,26	11,28	6,34	83,31
Fabbisogno di energia primaria Risc+ACS (kWh)	57.606	115.103	165.484	175.950	142.368	112.921	63.854	833.285
Fabbisogno di energia primaria Risc+ACS (kWh/m <sup>3</sup> )	5,80	11,59	16,67	17,72	14,34	11,37	6,43	83,92
Emissioni di CO <sub>2</sub> (t)	14,21	28,19	40,66	43,11	35,03	27,77	15,70	204,66

In tabella 18 sono stati riportati i valori mensili (riferiti alla sola stagione di riscaldamento) ed i totali del fabbisogno termico e dell'energia primaria, nonché la quantità di CO<sub>2</sub> emessa.

Sono state, inoltre, evidenziate le dispersioni termiche dovute alla trasmissione attraverso l'involucro edilizio e quelle legate alla ventilazione degli ambienti, che nel loro complesso costituiscono l'energia totale dispersa. Come si può notare dal diagramma, di seguito proposto, la quota parte dovuta alle perdite per ventilazione rappresenta il 35% del totale.

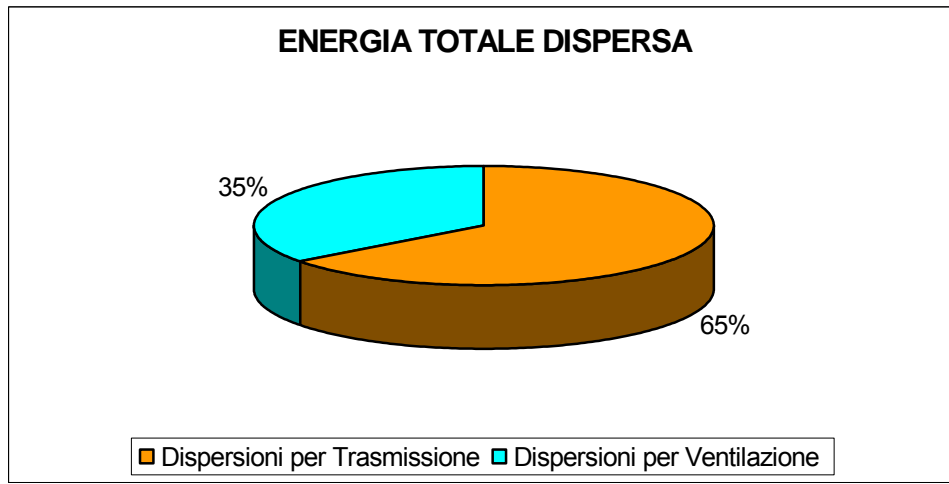


Figura 9

Oltre alle dispersioni sono stati anche considerati gli apporti termici gratuiti suddivisi in:

- componente relativa alla radiazione solare incidente sull'involucro;
- componente relativa ai carichi interni (dovuti alla presenza di occupanti e di apparecchiature elettriche).

Dal diagramma riportato in figura 10, gli apporti termici interni, funzione dell'indice di presenza e soprattutto del carico delle apparecchiature elettriche presenti nell'edificio, risultano predominanti rispetto a quelli solari.

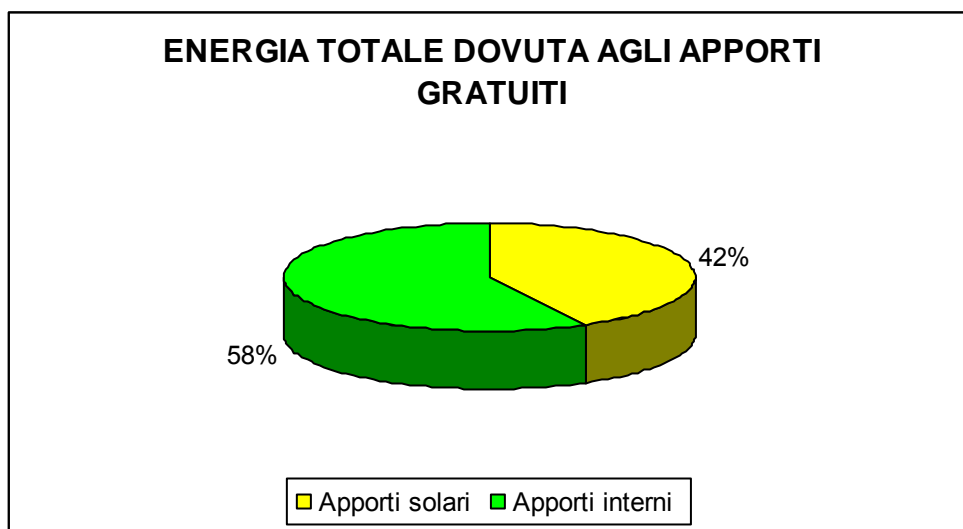


Figura 10

Nel grafico proposto in figura 11 è rappresentata la composizione del fabbisogno termico in termini di MWh annui.

Ai fini del calcolo del fabbisogno complessivo, alle dispersioni termiche vanno sottratti i contributi relativi agli apporti solari ed interni, ovvero la quota parte di apporti che contribuisce effettivamente alla riduzione del fabbisogno. In termini quantitativi tale riduzione rappresenta circa il 25% del totale delle dispersioni.

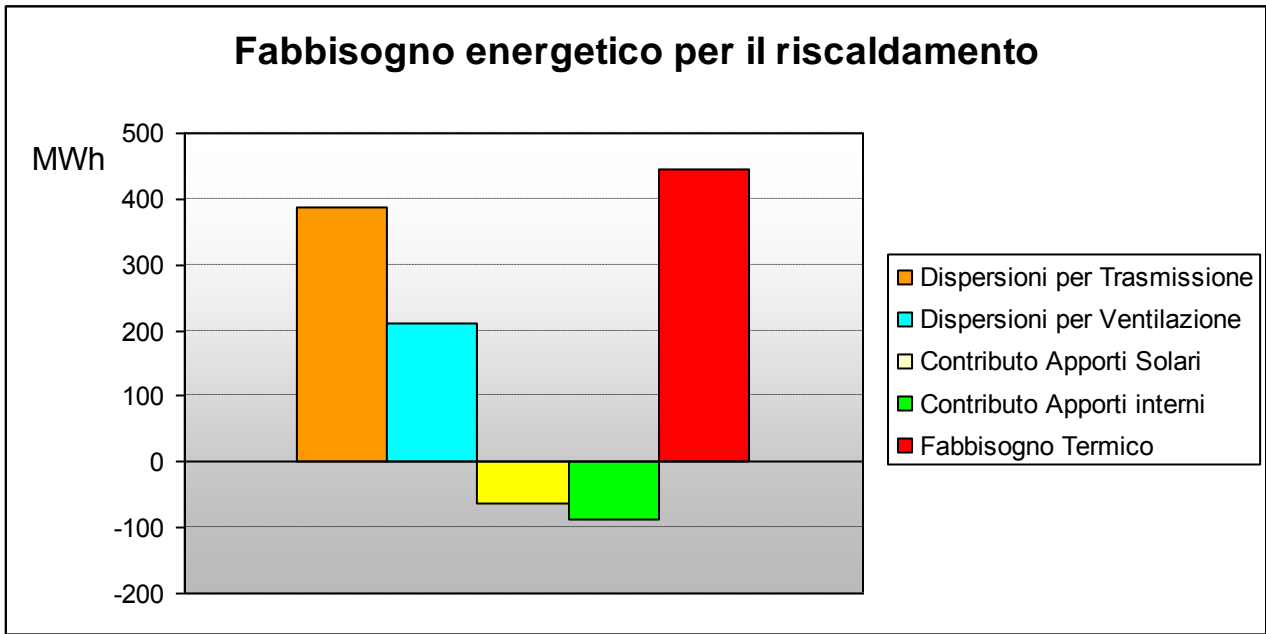


Figura 11

#### 5.2.4. Valutazione di incremento performance energetica: scenari di intervento

Si propongono di seguito alcuni possibili interventi di riqualificazione energetica del sistema edificio-impianti che sono stati presi in considerazione.

Vengono riportate le descrizioni sintetiche delle ipotesi di intervento e valutate le percentuali di riduzione del fabbisogno energetico da esse derivanti.

#### Variante 1: Sostituzione infissi Piano Terra Prospetto Ovest

I serramenti della sala lettura del piano terra con giacitura fronte Ovest, attualmente esistenti consistono in porte-finestre con telaio in ferro con vetro singolo le cui caratteristiche geometriche e termo-fisiche sono riportate nell'Abaco delle strutture trasparenti.

Questa tipologia di serramento non è sicuramente idonea a rispondere agli standard correnti di contenimento dei consumi energetici.

Si è dunque ipotizzato un intervento di sostituzione dell'intero infisso con un serramento con telaio in alluminio a taglio termico e con un doppio vetro con rivestimento basso-emissivo.

#### Impatto dell'intervento proposto: Risultati

La variante in oggetto riguarda esclusivamente la sostituzione dei serramenti descritta.

L'adozione di rivestimenti basso-emissivi consente di ridurre drasticamente gli scambi termici per irraggiamento.

Gli scambi per conduzione e convezione saranno ridotti prevedendo l'utilizzo di argon (gas a conduttività termica inferiore rispetto all'aria) all'interno dell'intercapedine tra i due vetri.

La sostituzione della parte trasparente del serramento non comporta una riduzione degli apporti gratuiti di energia.

L'abbattimento della trasmittanza termica degli infissi ha avuto anche motivazioni di comfort indoor: infatti, nella stagione invernale si determineranno temperature superficiali della vetrata interna sicuramente più elevate riducendo l'effetto attuale di "parete fredda". Si ridurrà, inoltre, la possibilità di formazione di condensa superficiale e saranno rese più confortevoli le postazioni di lavoro nei pressi delle superfici vetrate.

#### Riepilogo intervento:

VARIANTE 1 (Infissi PT)      Stato di fatto    Intervento proposto

$U_{value}$                       [W/m<sup>2</sup>K]                                      5,13                                      2,3

L'esito del calcolo effettuato con il codice EPA-NR ha fornito i risultati riportati in tabella 19; il risparmio conseguibile in termini di energia primaria è stato valutato pari a circa il 2,3% come evidenziato in figura 12.

Tabella 19

	Energia primaria		ΔEnergia primaria	Emissioni di CO <sub>2</sub>	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitate
	(kWh/anno)	(kWh/m <sup>3</sup> anno)	(%)	(t/anno)	(t/anno)
STATO ATTUALE	827.281	83,31	-	203,18	-
INFISSI PT	808.411	81,41	-2,3%	198,80	-4,38

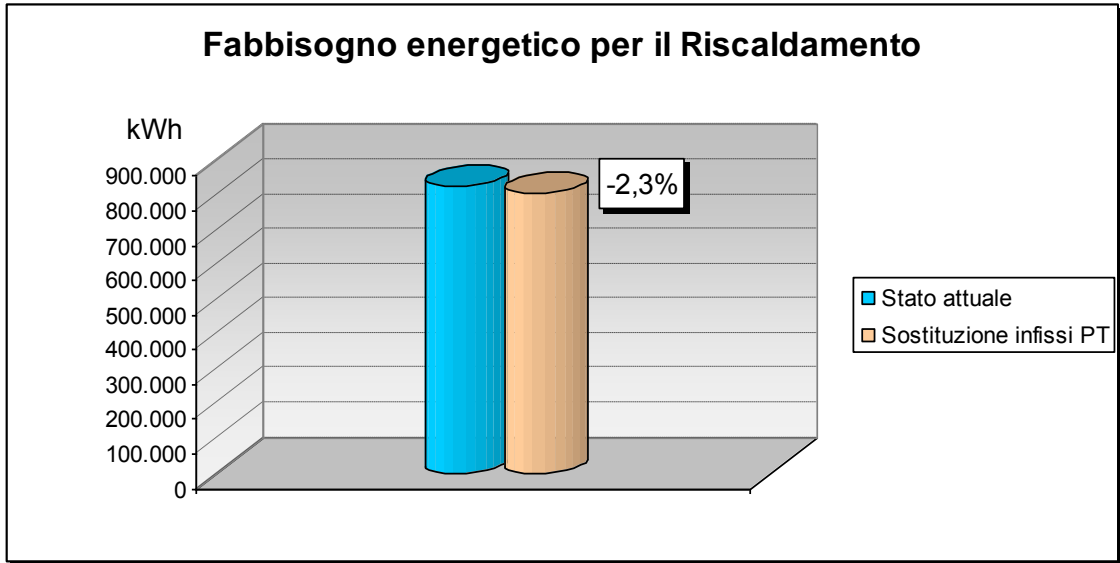


Figura 12

## Variante 2: Sostituzione di tutti gli infissi

In questa ipotesi, oltre alle considerazioni fatte per la Variante 1, si è ritenuto opportuno valutare anche la sostituzione della parte trasparente dei serramenti del resto della Biblioteca.

Questo scenario di intervento è giustificato dal fatto che anche tali infissi sono caratterizzati da valori di trasmittanza termica che sicuramente potrebbe essere ridotta riconducendola a valori più congrui da un punto di vista di performance energetica.

In dettaglio si è previsto l'adozione di doppi vetri con rivestimento basso-emissivo (per cui valgono le considerazioni fatte nella variante 1).

### Impatto dell'intervento proposto: Risultati

La variante in oggetto riguarda la sostituzione di tutti i serramenti sia quelli relativi alla Variante 1 che al resto della Biblioteca.

Il fattore solare g corrisponde a 0,6 nella nuova ipotesi.

### Riepilogo intervento:

VARIANTE 2 (Infissi)	Stato di fatto	Intervento proposto
$U_{value}$ media [ $W/m^2K$ ]	3,13	1.9

L'esito del calcolo effettuato con il codice EPA-NR ha fornito i risultati riportati in Tabella 20; il risparmio conseguibile in termini di energia primaria è stato valutato pari a circa il 5,4% come evidenziato in Figura 13.

Tabella 20

	Energia primaria		$\Delta$ Energia primaria (%)	Emissioni di CO <sub>2</sub> (t/anno)	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitate (t/anno)
	(kWh/anno)	(kWh/m <sup>3</sup> anno)			
STATO ATTUALE	827.281	83,31	-	203,18	-
INFISSI	782.683	78,82	-5,4%	192,35	-10,83

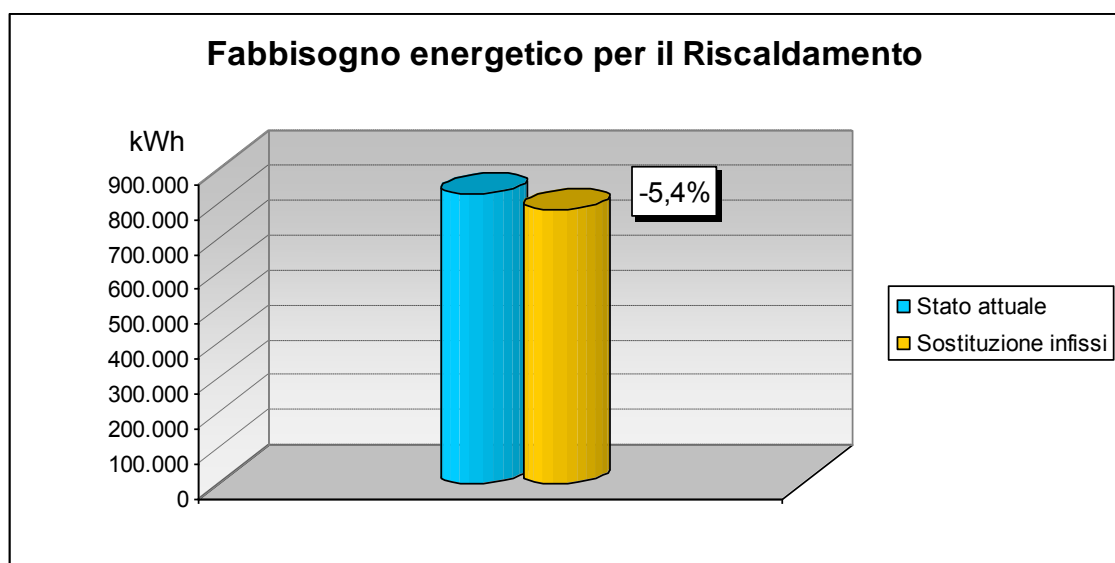


Figura 13

### Variante 3: Isolamento termico del solaio confinante col sottotetto

In questa variante è stato previsto l'incremento dell'isolamento del solaio confinante con il sottotetto non climatizzato. L'intervento ha avuto come obiettivo la riduzione della trasmittanza termica della struttura di copertura orizzontale prendendo come riferimento il valore limite definito dal DLgs 311/2006 e s.m.i.; tale valore può essere ottenuto con l'aggiunta di uno strato di isolante posto all'estradosso del solaio con limitati oneri di posa in opera.

#### Impatto dell'intervento proposto: Risultati

L'opzione proposta riduce la trasmittanza termica del solaio di circa 6 volte.

#### Riepilogo intervento:

VARIANTE 3 (Sottotetto)	Stato di fatto	Intervento proposto
$U_{value}$ [W/m <sup>2</sup> K]	1,98	0,3

L'esito del calcolo effettuato con il codice EPA-NR ha fornito i risultati riportati in Tabella 21; il risparmio conseguibile in termini di energia primaria è stato valutato pari a circa il 9,0% come evidenziato in Figura 14.

Tabella 21

	Energia primaria		ΔEnergia primaria	Emissioni di CO <sub>2</sub>	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitate
	(kWh/anno)	(kWh/m <sup>3</sup> anno)	(%)	(t/anno)	(t/anno)
STATO ATTUALE	827.281	83,31	-	203,18	-
COPERTURA	753.409	75,87	-8,9%	185,04	-18,14

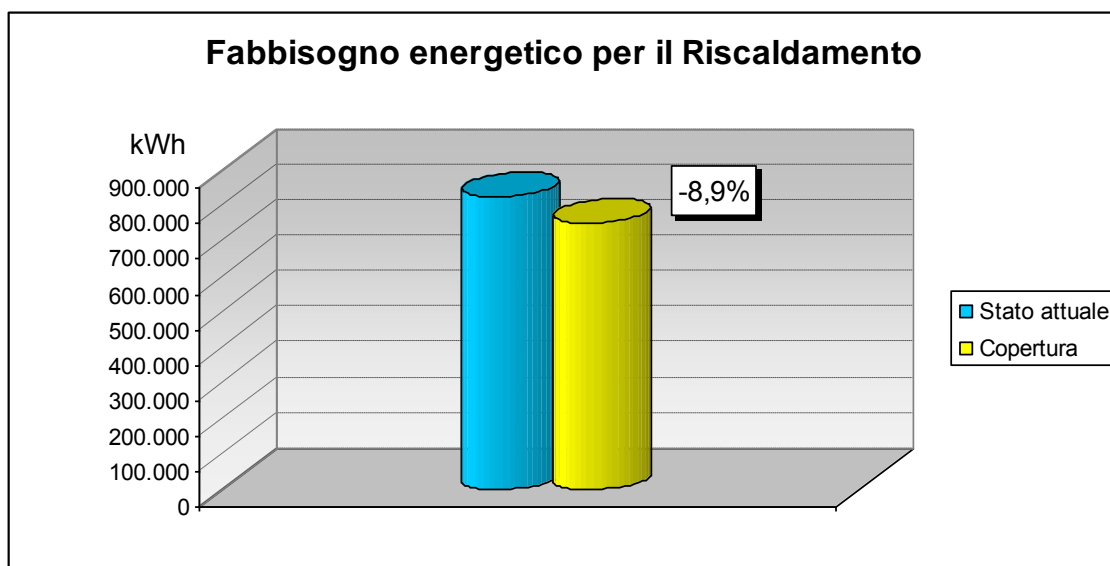


Figura 14

### Variante 4: Adeguamento sistema di regolazione

Questa variante riguarda l'adozione di un sistema di regolazione che prevede, oltre ad un controllo climatico in centrale con sonda esterna, anche una regolazione ambiente con di tipo modulante (con banda proporzionale).

Questo tipo di regolazione era stata prevista in fase di progetto impiantistico, ma, dalle informazioni ricevute, attualmente non è operante.

L'ipotesi di variante è mirata, dunque, a confrontare le attuali condizioni di esercizio degli impianti con quelle che, ipoteticamente, in futuro potranno essere ripristinate quando il sistema di controllo verrà messo in funzione.

L'intervento è stato valutato modificando il rendimento del sistema di regolazione in funzione della tipologia adottata.

#### Impatto dell'intervento proposto: Risultati

#### Riepilogo intervento:

VARIANTE 4 (Regolazione)	Stato di fatto	Intervento proposto
h	0,85	0,99

L'esito del calcolo effettuato con il codice EPA-NR ha fornito i risultati riportati in Tabella.22; il risparmio conseguibile in termini di energia primaria è stato valutato pari a circa l'11,7% come evidenziato in Figura 15.

Tabella 22

	Energia primaria		ΔEnergia primaria	Emissioni di CO <sub>2</sub>	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitate
	(kWh/anno)	(kWh/m <sup>3</sup> anno)	(%)	(t/anno)	(t/anno)
STATO ATTUALE	827.281	83,31	-	203,18	-
REGOLAZIONE	730.495	73,56	-11,7%	179,42	-23,75

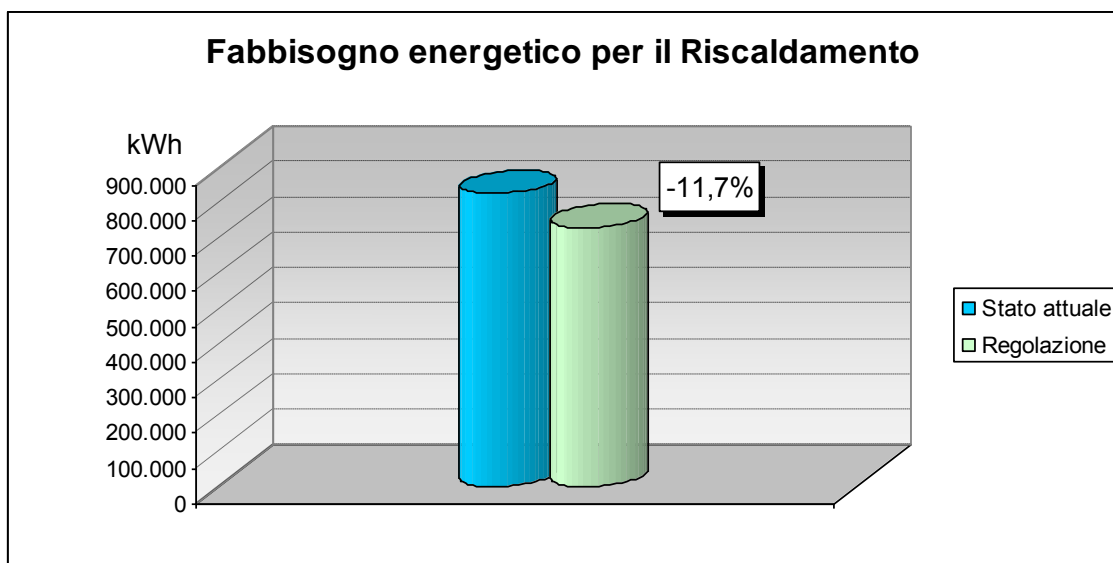


Figura 15

## Variante 5: Miglioramento isolamento termico

Questa variante ha previsto l'incremento dell'isolamento termico sia del solaio confinante con il sottotetto non climatizzato (già previsto dalla variante 3), sia di tutte le strutture opache verticali disperdenti.

L'intervento ha avuto come obiettivo la riduzione della trasmittanza termica di tutta la struttura opaca perimetrale e della copertura orizzontale prendendo come riferimento i valori limite tratti dal DLgs 311/2006 e s.m.i..

Il miglioramento della performance energetica dell'involucro edilizio, nel caso delle strutture opache verticali può essere raggiunto per mezzo della posa in opera di uno strato isolante all'esterno della struttura esistente ("cappotto") o all'interno della stessa.

Il "cappotto" esterno costituisce uno dei sistemi di isolamento più efficaci per interventi sull'esistente (anche perché è in grado di correggere i ponti termici ed evitare possibili fenomeni di condensa) e può essere utilizzato per tutti i tipi di strutture ed eviterebbe disagi agli utenti della Biblioteca.

L'applicazione di un isolante all'interno della Biblioteca, a differenza del cappotto esterno, non correggerebbe i ponti termici e non consentirebbe di mantenere le pareti d'ambito a temperatura più elevata, comporterebbe tuttavia un minor investimento economico.

### Impatto dell'intervento proposto: Risultati

#### Riepilogo intervento:

VARIANTE 5 (Copertura+pareti)	Stato di fatto	Intervento proposto
$U_{value}$ copertura [W/m <sup>2</sup> K]	1,98	0,30
$U_{value}$ media pareti verticali [W/m <sup>2</sup> K]	2,15	0,34

L'esito del calcolo effettuato con il codice EPA-NR ha fornito i risultati riportati in Tabella.23; il risparmio conseguibile in termini di energia primaria è stato valutato pari a circa il 39,6% come evidenziato in Fig. 16.

Tabella 23

	Energia primaria		ΔEnergia primaria	Emissioni di CO <sub>2</sub>	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitate
	(kWh/anno)	(kWh/m <sup>3</sup> anno)	(%)	(t/anno)	(t/anno)
STATO ATTUALE	827.281	83,31	-	203,18	-
CAPPOTTO + OPERTURA	499.560	50,31	-39,6%	122,71	-80,47

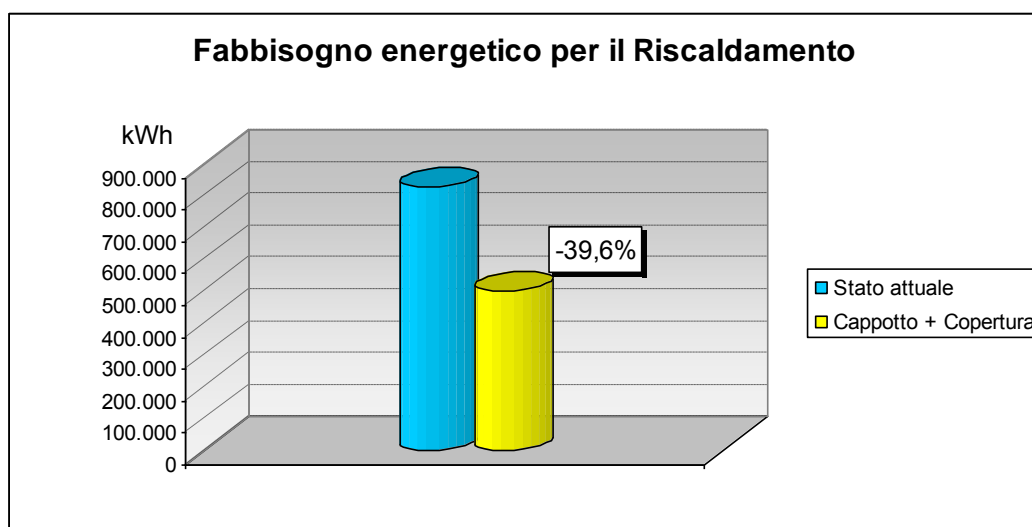


Figura 16

### Variante 6: Ipotesi di miglioramento globale

Questa variante è stata ipotizzata come convergenza e sovrapposizione di tutte le ipotesi precedenti, cercando di valutare quale potrebbe essere l'incremento massimo di efficienza energetica del sistema edificio-impianti della Biblioteca qualora si realizzassero tutti gli interventi finora previsti:

- Sostituzione Infissi Piano Terra Prospetto Ovest
- Sostituzione di tutti gli Infissi
- Isolamento termico del solaio confinante col sottotetto
- Adeguamento sistema di regolazione
- Miglioramento isolamento termico copertura e pareti opache perimetrali disperdenti

#### Impatto dell'intervento proposto: Risultati

##### Riepilogo intervento:

L'opzione proposta si è tradotta nella variazione dei parametri riportati in Tabella 24.

Tabella 24

VARIANTE 6 (Globale)			
Varianti	Parametri	Stato di fatto	Intervento proposto
1	U (Infissi Piano terra Ovest) [W/m <sup>2</sup> K]	5,13	2.3
2	U media (Tutti infissi) [W/m <sup>2</sup> K]	3,16	1.9
3	U value (Copertura) [W/m <sup>2</sup> K]	1,98	0.3
4	h (Regolazione) [-]	0,85	0.99

L'esito del calcolo effettuato con il codice EPA-NR ha fornito i risultati riportati in Tabella.25; il risparmio conseguibile in termini di energia primaria è stato valutato pari a circa il 50,6% come evidenziato in Figura 17.

Tabella 25

	Energia primaria		ΔEnergia primaria	Emissioni di CO <sub>2</sub>	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitate
	(kWh/anno)	(kWh/m <sup>3</sup> anno)	(%)	(t/anno)	(t/anno)
STATO ATTUALE	827.281	83,31	-	203,18	-
BEST	408.383	41,13	-50,6%	100,59	-102,58

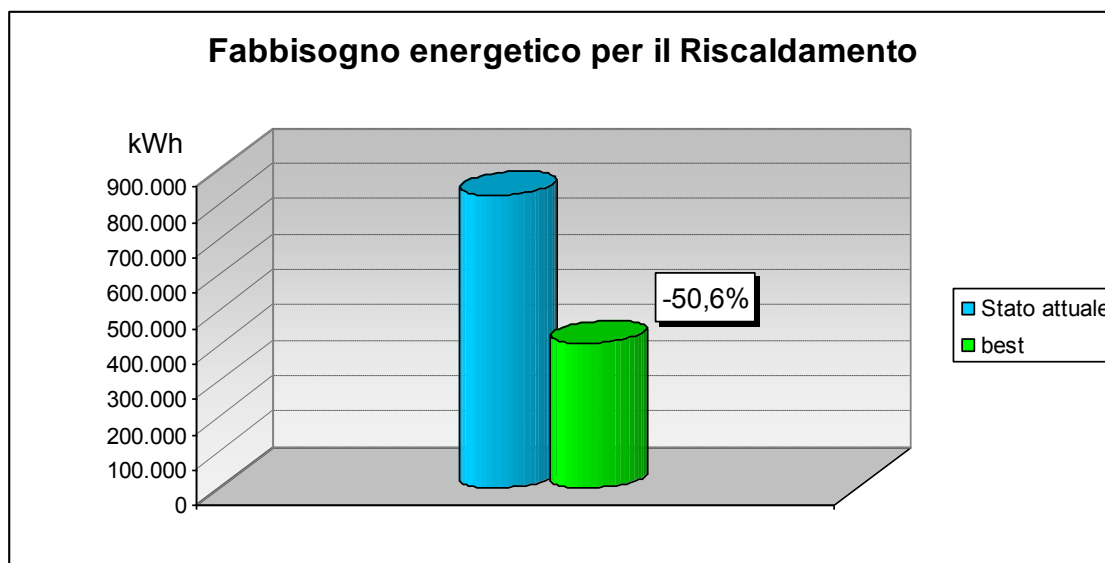


Figura 17

### 5.2.5. Valutazioni finali

Nel grafico di Figura 18 viene proposto un confronto tra il fabbisogno di energia primaria attuale, espresso in MWh, e quelli necessari una volta effettuati gli interventi di riqualificazione energetica ipotizzati. Nella stessa Figura sono evidenziati i possibili risparmi energetici percentuali conseguibili.

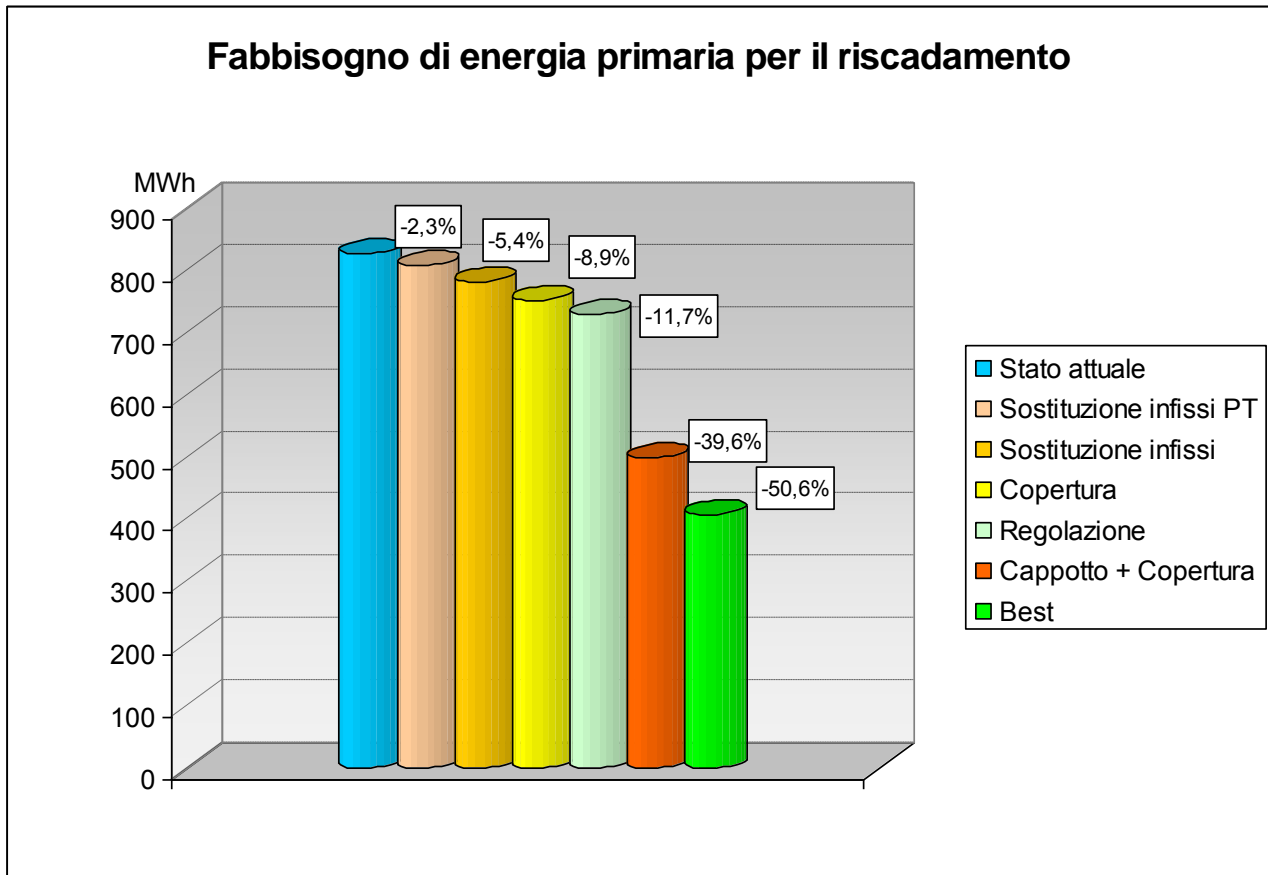


Figura 18

La sostituzione delle porte-finestra a piano terra (prospetto ovest), in aggiunta a quella relativa a tutte le superfici trasparenti dell'edificio comporterebbe un risparmio di energia primaria di circa il 5,4 %.

La sola sostituzione delle porte-finestra tipo PF, che rappresentano, in termini di superficie, circa il 20% del totale dei serramenti, comporterebbe una riduzione di circa il 2,3%.

L'isolamento della copertura permetterebbe di ridurre i consumi energetici di circa il 9%; nella validità delle ipotesi fatte, tale risparmio sarebbe ottenibile con l'aggiunta di uno spessore isolante di poco superiore ai 10 cm.

L'ipotesi di variante relativa al sistema di regolazione è mirata a confrontare le attuali condizioni di esercizio degli impianti con quelle che, ipoteticamente, in futuro potranno essere ripristinate qualora il sistema di controllo venisse reso operativo come da specifiche di progetto.

Lo sfruttamento delle potenzialità di regolazione dell'impianto termico esistente permetterebbe un'importante riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento, quantificabile con l'11,7% di quello attuale.

L'ipotesi di intervento sul sistema cappotto e copertura evidenzia come l'isolamento delle pareti verticali comporterebbe, da solo, una riduzione di poco inferiore al 30%.

L'ultima soluzione, proposta come somma degli interventi precedenti, porterebbe ad una riduzione dei consumi energetici di oltre il 50% del totale, che va comunque vista come un valore limite teorico e non un obiettivo reale perseguibile.

## 5.3 L'ANALISI ENERGETICA DEL COMPLESSO STORICO

### 5.3.1. Rilievo e raccolta dati

Come specificato in precedenza, il Complesso Storico individua l'insieme di edifici dell'Istituto Universitario Europeo distinti dalla Biblioteca.

Nelle foto seguenti viene mostrata, accanto agli edifici universitari, anche la chiesa della Badia Fiesolana, che dà il nome all'intero complesso.



Figura 19

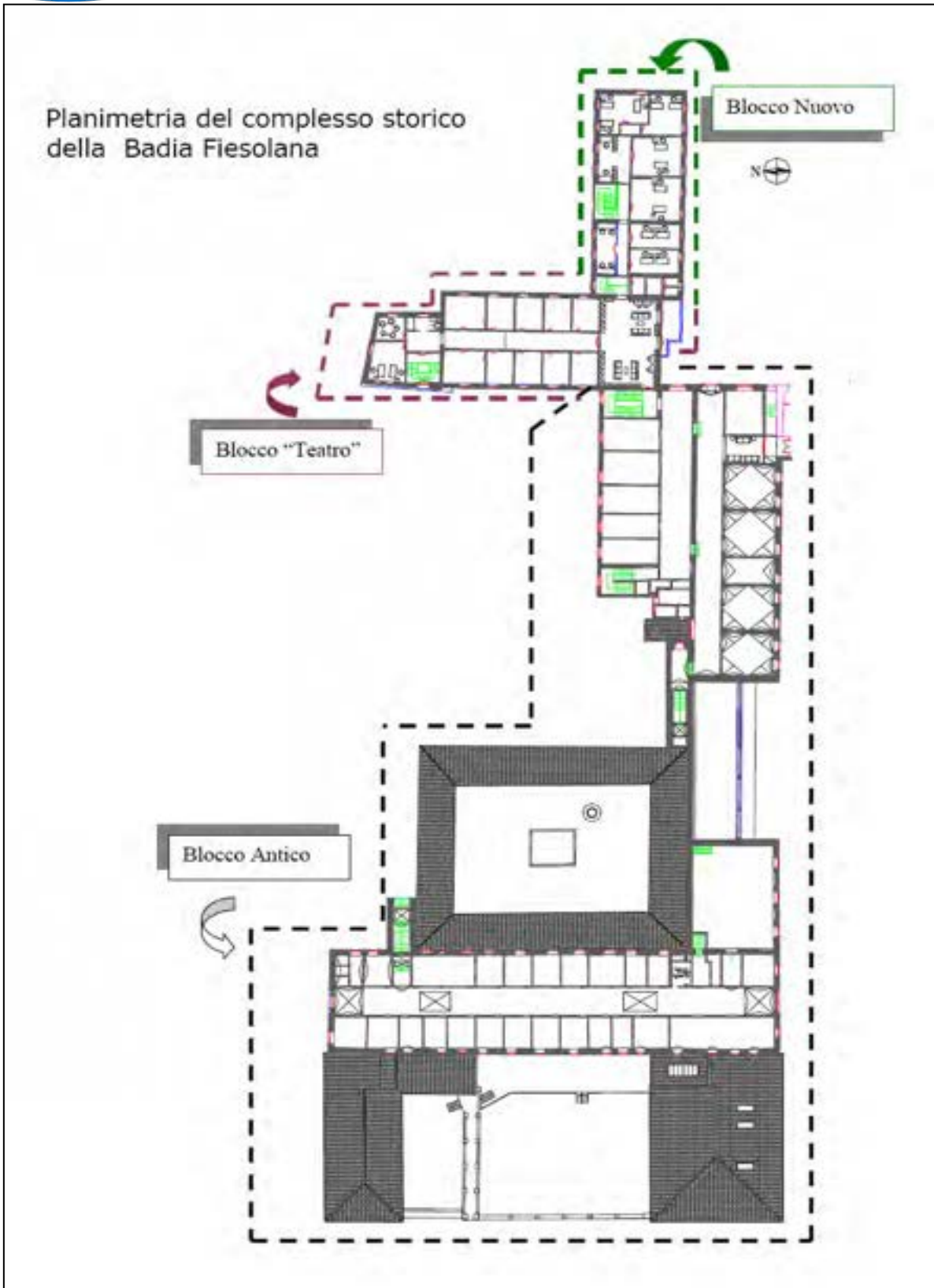


Figura 20

Come per la Biblioteca, anche per il Complesso storico della Badia Fiesolana i dati relativi alla geometria degli edifici ed al comportamento termico dei vari componenti utilizzati, sono stati, in parte, dedotti da planimetrie ed elaborati di progetto ed in parte rilevati in sito.

Le caratteristiche dimensionali dei componenti opachi (pareti verticali, solai, copertura ecc) sono state ricavate dalle planimetrie e dai prospetti.

La notevole variabilità dello spessore delle pareti verticali, dovuta alle diverse epoche costruttive del Complesso storico, ha richiesto una onerosa elaborazione per definire le diverse strutture disperdenti, suddivise per blocchi, per piano e per esposizione.

Successivamente la valutazione della trasmittanza termica è stata condotta considerando le diverse caratteristiche costruttive dei blocchi ipotizzati; per la parte più antica la trasmittanza è stata ricavata attraverso interpolazione, a partire da dati forniti dalla Norma UNI/TS 11300-1; per la restante parte sono state considerate le stesse caratteristiche termofisiche delle analoghe strutture della Biblioteca.

Per quanto riguarda i serramenti, le dimensioni e la tipologia nonché altri particolari costruttivi sono stati dedotti attraverso rilievi ed integrazione con documentazione fotografica.

Altri dati, necessari per la simulazione mediante software, sono stati valutati seguendo le indicazioni delle Norme UNI/TS 11300.

In Tabella 26 sono proposti i dati riepilogativi riguardanti la geometria del Complesso storico.

Tabella 26

Superficie Lorda Disperdente [m <sup>2</sup> ]	Superficie utile Totale [m <sup>2</sup> ]	Volume interno netto [m <sup>3</sup> ]	Volume Lordo [m <sup>3</sup> ]	Rapporto S/V [m <sup>-1</sup> ]
11.070	7.650	20.630	30.500	0,36

Nelle tabelle seguenti sono riportati gli spessori medi delle pareti verticali suddivisi per edificio, piano, tipologia ed esposizione.

Tabella 27

Blocco Antico					
Livello	Tipologia	Spessore medio pareti [m]			
		Nord	Sud	Est	Ovest
1	Esterno	0	1,37	0	1,18
	Non riscaldato	0	0	0	0
	Contro-terra	1,18	1,02	1,0	0,96
2	Esterno	0,97	0,94	0	0,96
	Non riscaldato	0	0,86	1,05	0,3
	Contro-terra	0,98	0	0	0,91
3	Esterno	0,92	0,93	0,94	0,98
	Non riscaldato	0	0	0	0
	Contro-terra	0,89	0	0,89	0,89
4	Esterno	0,78	0,74	0,98	0,89
	Non riscaldato	0	0	0	0
	Contro-terra	0	0	0	0
5	Esterno	0,47	0,63	0,60	0,62
	Non riscaldato	0	0	0	0
	Contro-terra	0	0		0

Tabella 28

Blocco Teatro					
Livello	Tipologia	Spessore medio pareti [m]			
		Nord	Sud	Est	Ovest
4	Esterno	0,63	0,56	0,45	0,63
	Non riscaldato	0	0	0	0
	Contro-terra	0	0	0	0
5	Esterno	0,56	0,46	0,48	0,48
	Non riscaldato	0	0	0	0
	Contro-terra	0	0		0

Tabella 29

Blocco Nuovo					
Livello	Tipologia	Spessore medio pareti [m]			
		Nord	Sud	Est	Ovest
4	Esterno	0,55	0,55	0,55	0,00
	Non riscaldato	0	0	0	0
	Contro-terra	0	0	0	0
5	Esterno	0,48	0,48	0,50	0,00
	Non riscaldato	0	0	0	0
	Contro-terra	0	0		0

A partire dallo spessore medio si sono valutati i valori di trasmittanza termica distinguendo il Blocco Nuovo dal resto del complesso.

Per il Blocco Nuovo le stratigrafie delle strutture opache sono state dedotte mediante assunzioni analoghe a quelle viste per la Biblioteca, considerando i due blocchi all'incirca coevi. Questo ha portato a ipotizzare pareti verticali in muratura in pietra naturale intonacata sulle due facce.

Per la restante parte del Complesso antico, i valori di trasmittanza sono stati dedotti a partire dalla Norma UNI/TS 11300-1 attraverso le seguenti assunzioni:

- Muratura in pietrame (solaio contro terra e pareti verticali);
- Tetto in legno o copertura con soletta piana in laterocemento;
- Andamento logaritmico della trasmittanza in funzione dello spessore.

Quest'ultima ipotesi permette di stimare i valori di trasmittanza per gli spessori non previsti dalla Norma UNI/TS 11300-1 (vedi prospetto A.1).

Nel grafico di figura 21 sono riportate le trasmittanze in funzione dello spessore per i valori forniti dalla Norma (U) e per quelli della curva interpolante (U').

Il valore del coefficiente di determinazione  $R^2$  ( $=0,998$ ) mostra che la curva logaritmica ipotizzata approssima molto bene l'andamento dei valori di U. È lecito pertanto ipotizzare, per gli spessori non previsti dalla Norma, i valori di trasmittanza ricavati dalla curva interpolante U'.

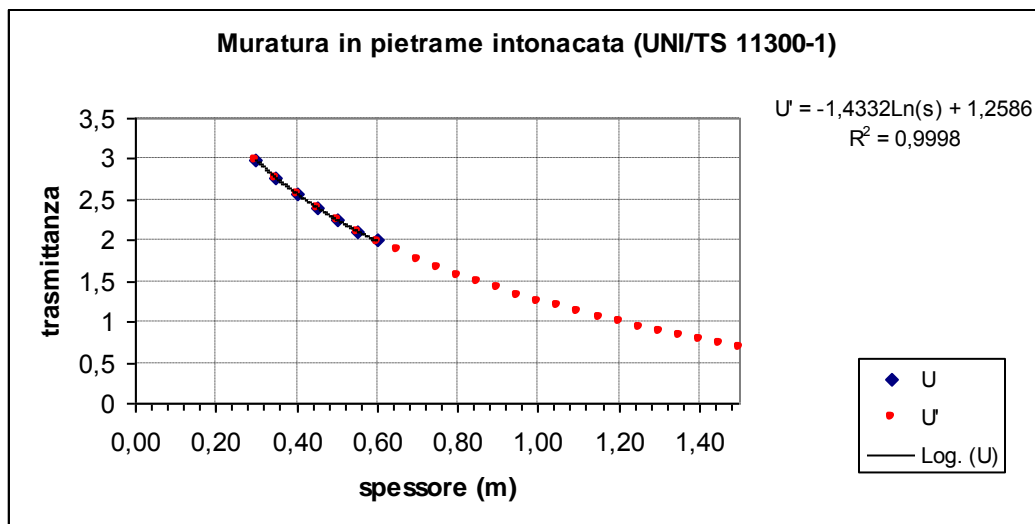


Figura 21

Nella tabella seguente sono riportati i valori di trasmittanza per ciascuna tipologia di struttura opaca, suddivisi in funzione delle superfici e dell'esposizione, e comprensivi dei fattori di correzione dello scambio termico verso ambienti non climatizzati.

## ABACO DELLE STRUTTURE OPACHE

Tabella 30

Tipologia	Superficie [m <sup>2</sup> ]						Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]
	Nord	Sud	Est	Ovest	Totale		
Struttura opaca verticale esterna	-	55,3	106,7	-	1,5%	162,0	2,4
	182	-	119,3	132,5	4,1%	433,8	2,3
	55,6	70,4	-	-	1,0%	126,0	2,1
	-	-	193,3	-	1,8%	193,3	2,0
	148,2	237	35	333,2	7,1%	753,4	1,9
	61,7	340,5	35	-	4,1%	437,2	1,7
	290,7	-	-	-	2,0%	290,7	1,6
	162,7	237,9	-	270,8	6,4%	671,4	1,4
	166,3	-	132	166,8	4,4%	465,1	1,3
	-	158,6	-	-	1,5%	158,6	1,2
	-	-	-	126,5	1,2%	126,5	1,0
	-	83,2	-	-	0,8%	83,2	0,8
	-	-	249,4	-	2,4%	249,4	0,6
Struttura opaca verticale Contro-terra	122,6	-	127,4	-	2,4%	250,0	1,4
	54,6	-	206,3	80	3,2%	340,9	1,3
	-	79,5	-	-	0,8%	79,5	1,2
	161	-	-	-	1,5%	161,0	1,0
Copertura	2603,1				24,7%	2603,1	1,8
Pavimento	2967,0				28,1%	2967,0	1,2

Le strutture trasparenti presenti nel Complesso storico rappresentano poco meno del 10% delle chiusure verticali e sono caratterizzate da un'ampia varietà di forme e dimensioni. Presentano tuttavia un'evidente omogeneità dal punto di vista tipologico, essendo tutte in legno duro e, nella maggioranza dei casi, a doppio vetro (circa il 94% del totale).

Ritenuta costante per tutti gli infissi la percentuale dell'area di telaio rispetto all'area dell'intera finestra, si è scelto di considerare un unico valore di trasmittanza 3,4 W/m<sup>2</sup>K, ricavato attraverso una media pesata comprensiva della quota parte di strutture a vetro singolo (circa il 6% del totale).

## ABACO DELLE STRUTTURE TRASPARENTI

Tabella 31

Tipologia	Superficie [m <sup>2</sup> ]					Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]
	Nord	Sud	Est	Ovest	Totale	
Infisso	107,6	124,6	93,3	203,5	529,0	3,4
	20,3%	23,6%	17,6%	38,5%	100,0%	

### 5.3.2. Caratterizzazione del sistema edificio-impianto

Il Complesso storico, come descritto in precedenza nel paragrafo 2, consiste in tre diversi blocchi:

1. *Blocco Antico*
2. *Blocco Teatro*
3. *Blocco Nuovo*

Il Blocco Antico, il maggiore dei tre, ha esposizione principalmente sui lati Ovest e Sud, dove è collegato con l'edificio della Biblioteca; il Blocco Teatro ed il Blocco Nuovo, di minore volumetria, sono disposti ortogonalmente e adiacenti al lato est del complesso Antico. Sul lato Nord, a ridosso del chiostro rinascimentale del Blocco Antico, si trova la chiesa consacrata nell'anno 1025 e non considerata ai fini della diagnosi energetica.

L'ombreggiamento più rilevante si riscontra sul lato Sud del Blocco Antico per l'effetto schermante dovuto alla presenza della Biblioteca.



Figura 22

### Dati generali riepilogativi

Superficie lorda in pianta:  $S_p = 9.810 \text{ m}^2$   
Volume lordo riscaldato:  $V = 40.430 \text{ m}^3$   
Superficie esterna disperdente:  $S = 13.760 \text{ m}^2$   
Rapporto Superficie-Volume  $S/V = 0,36$

### Caratteristiche degli involucri del Complesso

Gli involucri degli edifici che compongono il Complesso Storico sono costituiti da muratura portante priva di isolamento termico; lo spessore delle mura perimetrali, e quindi la trasmittanza, varia in funzione del blocco e del piano di riferimento. I serramenti, nella maggioranza dei casi, sono costituiti da telai in legno e doppi vetri.

Si riportano di seguito, i principali dati di input, utilizzati dal codice EPA, per la caratterizzazione delle strutture opache e trasparenti.

### Strutture Opache

I dati inseriti in questo modulo del codice riguardano la descrizione geometrico-dimensionale delle strutture opache verticali del Complesso Storico suddivise per esposizione e per tipologia e caratterizzate dai rispettivi parametri termo-fisici (trasmittanza termica, coefficienti di assorbimento delle superfici esterne ed emissività).

Tabella 32: Caratteristiche termofisiche Caratteristiche termofisiche delle strutture opache verticali

	Strutture opache	Area [m <sup>2</sup> ]	Orientamento	Tilt	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	a	R <sub>se</sub> [m <sup>2</sup> K /W]	E
Blocco Antico	M2.3 5N	182,0	0	90	2,3	0,3	0,04	0,9
	M2.0 5E	193,3	90	90	2	0,3	0,04	0,9
	M1.9 5S	165,5	180	90	1,9	0,3	0,04	0,9
	M1.9 5O	393,3	270	90	1,9	0,3	0,04	0,9
	M1.7 4S	277,6	180	90	1,7	0,3	0,04	0,9
	M1.6 4N	290,7	0	90	1,6	0,3	0,04	0,9
	M1.4 4O	270,4	270	90	1,4	0,3	0,04	0,9
	M1.4 3S	237,9	180	90	1,4	0,3	0,04	0,9
	M1.4 3N	162,7	0	90	1,4	0,3	0,04	0,9
	M1.4 3E	38,3	90	90	1,4	0,3	0,04	0,9
	M1.3 4E	93,7	90	90	1,3	0,3	0,04	0,9
	M1.3 3O	166,8	270	90	1,3	0,3	0,04	0,9
	M1.3 2N	166,3	0	90	1,3	0,3	0,04	0,9
	M1.2 2S	158,6	180	90	1,2	0,3	0,04	0,9
	M1.0 1O	126,5	270	90	1	0,3	0,04	0,9
	M0.8 1S	83,2	180	90	0,8	0,3	0,04	0,9
Blocco Teatro	M1.9 4N	73,1	0	90	1,9	0,3	0,04	0,9
	M2.4 5S	55,3	180	90	2,4	0,3	0,04	0,9
	M2.4 4E	106,7	90	90	2,4	0,3	0,04	0,9
	M2.3 5O	132,5	270	90	2,3	0,3	0,04	0,9
	M2.3 5E	119,3	90	90	2,3	0,3	0,04	0,9
	M2.1 5N	55,6	0	90	2,1	0,3	0,04	0,9
	M2.1 4S	70,4	180	90	2,1	0,3	0,04	0,9
	M1.9 4O	105,4	270	90	1,9	0,3	0,04	0,9
Blocco Nuovo	M1.7 4N	61,7	0	90	1,7	0,3	0,04	0,9
	M1.9 5S	71,5	180	90	1,9	0,3	0,04	0,9
	M1.9 5N	75,1	0	90	1,9	0,3	0,04	0,9
	M1.9 5E	35	90	90	1,9	0,3	0,04	0,9
	M1.7 4S	62,9	180	90	1,7	0,3	0,04	0,9
	M1.7 4E	35	90	90	1,7	0,3	0,04	0,9

Tabella 33: Caratteristiche termofisiche delle strutture opache verticali contro-terra

	Strutture opache	Area [m <sup>2</sup> ]	Orientamento	Tilt	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	a	R <sub>se</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	E
Blocco Antico	CT M1.4 3N	122,6	0	90	1,4	-	0,05	-
	CT M1.4 2E	127,4	90	90	1,4	-	0,05	-
	CT M1.3 2N	54,6	0	90	1,3	-	0,05	-
	CT M1.3 1E	206,3	90	90	1,3	-	0,05	-
	CT M1.3 1O	80,0	270	90	1,3	-	0,05	-
	CT M1.2 1S	79,5	180	90	1,2	-	0,05	-
	CT M1.0 1N	161,0	0	90	1	-	0,05	-
	CT M0.6 2E	249,4	90	90	0,6	-	0,05	-

Nota: tutti i fattori di schermatura per le strutture opache sono stati posti pari a 1  
I codici delle strutture si riferiscono all'Abaco Strutture Opache

Orientamento: angolo (Nord = 0°)

Tilt: Inclinazione della superficie

U<sub>value</sub>: Trasmittanza termica del componente

a: Coefficiente di assorbimento della radiazione solare riferito alla superficie esterna del componente

R<sub>se</sub>: Coefficiente di resistenza termica liminare delle superfici esterne dei componenti

E: emissività

### Strutture di basamento

Sono state considerate a parte per poter tener conto degli scambi termici verso il terreno.

Tabella 34

	Strutture opache	Area [m <sup>2</sup> ]	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
Blocco Antico	Solaio CT S1.2 3Hor	2323	1,2
Blocco Teatro	Solaio CT S1.2 4Hor	439	1,2
Blocco Nuovo	Solaio CT S1.2 4Hor	205	1,2

U<sub>value</sub>: Trasmittanza termica del solaio

### Copertura esterna

Tabella 35

	Strutture opache	Area [m <sup>2</sup> ]	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
Blocco Antico	Cop1,8 Hor	1081,0	1,8
	Solaio CFalde S1.8 5Hor	657,0	1,8
	Cop Chiostro1.8 4	303,6	1,8

U<sub>value</sub>: Trasmittanza termica della copertura

**Ambiente non riscaldato: Sottotetto**

Tabella 36

	Strutture opache	Area [m <sup>2</sup> ]	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
Blocco Teatro	Cfalde S1.8 5Hor	324,4	1,8
Blocco Nuovo	Cfalde S1,8 5Hor	237,0	1,8

Uvalue: Trasmittanza termica del solaio

**Strutture Trasparenti**

I dati qui riportati riguardano la descrizione geometrico-dimensionale delle strutture trasparenti suddivise per blocco e per esposizione, e caratterizzate dai parametri termo-fisici (trasmittanza termica, trasmittanza termica comprensiva dei dispositivi di schermatura, fattore solare). Sono stati inoltre descritti, i dispositivi di schermatura verticali: la riduzione della radiazione solare incidente è stata calcolata per mezzo di opportuni fattori di ombreggiamento (funzione della geometria ed esposizione relativamente alle superfici su cui proiettano l'ombra).

Tabella 37: Caratteristiche termofisiche involucro trasparente

	Strutture Trasparenti	Area [m <sup>2</sup> ]	Orientamento	Tilt	U <sub>value</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>s</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	G <sub>g</sub>	F <sub>f</sub>
Blocco Antico	F1 N	85,2	0	90	3,4	2,11	0,70	1
	F1 O	182,8	270	90	3,4	2,11	0,70	0,71
	F1 S	101,3	180	90	3,4	2,11	0,70	0,52
	F1 E	71,0	90	90	3,4	2,11	0,70	0,66
Blocco Teatro	F1 N	4,4	0	90	3,4	2,11	0,70	1
	F1 O	20,7	270	90	3,4	2,11	0,70	1
	F1 S	3,0	180	90	3,4	2,11	0,70	1
	F1 E	22,2	90	90	3,4	2,11	0,70	1
Blocco Nuovo	F1 N	18,0	0	90	3,4	2,11	0,70	1
	F1 S	20,4	180	90	3,4	2,11	0,70	1

Nota: I codici delle strutture si riferiscono all'Abaco Strutture Trasparenti

Orientamento: angolo (Nord = 0°)

Tilt: Inclinazione della superficie

U<sub>value</sub>: Trasmittanza termica del serramento

U<sub>s</sub>: Trasmittanza termica del serramento comprensivo di dispositivi di schermatura

G<sub>g</sub> Fattore solare

F<sub>f</sub>: Fattori di ombreggiatura dovuto a schermi verticali

## Caratteristiche principali degli impianti dell'edificio

I componenti principali relativi agli impianti di climatizzazione installati sono stati descritti precedentemente. Nel proseguo si riportano le caratteristiche principali dei sistemi di regolazione, distribuzione ed emissione utilizzate dal codice EPA.

### Zone termiche individuate

Pur avendo suddiviso il complesso storico in tre blocchi distinti, per considerare le diverse caratteristiche costruttive dei vari edifici, esso è stato considerato tuttavia, ai fini del Fabbisogno energetico, come un'unica zona termica in quanto caratterizzato dalle stesse temperature di progetto e servito, da un unico impianto di generazione.

Tabella 38

ZONA 1: Destinazione d'uso: Istituto Universitario	Cat.: E(7)
CLIMATIZZAZIONE INVERNALE	
Temperatura di <i>set point</i> di riscaldamento nel periodo di occupazione	20,0 °C

La capacità termica interna specifica è stata stimata secondo quanto previsto dal prospetto 16 della UNI/TS 11300-1 in funzione delle caratteristiche costruttive dei componenti edilizi e del numero dei piani dei blocchi analizzati.

Tabella 39

	Blocco Antico	Blocco Teatro	Blocco Nuovo
Capacità termica [kJ/m <sup>2</sup> K]	165	155	125

### Determinazione Apporti termici interni

La normativa di riferimento individua dei dati convenzionali in funzione della destinazione d'uso dei locali; nel caso in esame si è considerato un valore medio complessivo, viste le diverse di destinazione d'uso.

Apporti termici interni:  $8 \text{ W/m}^2$

### Portata d'aria di rinnovo

I tassi di ricambio d'aria sono stati dedotti dalla norma UNI 10339 in funzione della destinazione d'uso, delle caratteristiche geometriche e degli indici di affollamento, questi ultimi ridotti del 40% così come previsto dalla UNI/TS 11300-1.

In tabella 40 si riportano, per ciascun blocco, il volume netto e il valore medio del numero di ricambi d'aria; tale valore medio è stato valutato considerando le principali destinazioni d'uso presenti nel blocco.

Tabella 40

BLOCCO	Livello	H media livello	Volume Netto	Destinazione d'uso	n	
		m	m <sup>3</sup>		volume/h	m <sup>3</sup> /s
Antico	1	4,16	2.413	BAR	4,60	3,08
	2	4,47	4.953	MENSA e CUCINA	3,27	4,50
	3	3,83	758	AULE	2,40	0,51
		3,83	1.890	AULE	2,40	1,26
	4	3,5	1.415	AULE	2,60	1,02
			2.205	AULE	2,60	1,59
	5	3,5	1.380	AULE	2,60	1,00
			1.685	AULE	2,60	1,22
Totale			16.700		3,06	14,17
Teatro	4	5,5	1.930	TEATRO	2,40	1,29
	5	5,5	1.070	AULE	1,60	0,48
	Totale			3.000		2,11
Nuovo	4	3,5	430	AULE	2,60	0,31
	5	3,5	500	AULE	2,60	0,36
	Totale			930		2,60

Di seguito vengono riassunti alcuni dati di input generali per il software EPA-NR.

Tabella 41

Dati generali		Apporti termici interni	
Superficie lorda in pianta [m <sup>2</sup> ]	9.810	Occupanti [W/m <sup>2</sup> ] + Apparecchiature elettriche [W/m <sup>2</sup> ]	8,0
Temperatura set point riscaldamento [°C]	20,0		
Acqua calda sanitaria	Consumo medio [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> anno]		0,073
	Temp. Boiler [°C]		60
	Temp. Acqua rete [°C]		15

### Sistema di distribuzione

Il rendimento del sistema di distribuzione serve a considerare le dispersioni di calore (ove non sono previsti recuperi termici delle pompe di distribuzione) attraverso tubazioni passanti in locali non climatizzati.

Per la determinazione del rendimento di distribuzione si è fatto riferimento alle indicazioni della UNI/TS 11300-2 che consentono di valutarlo in funzione del grado di isolamento delle condotte e dell'altezza complessiva dei diversi blocchi considerati.

### Sistema di emissione

Il rendimento del sistema di emissione è legato alla tipologia dei terminali utilizzati per la climatizzazione e nel caso in esame, essa varia in base alla destinazione d'uso dei locali considerati; i terminali presenti sono costituiti essenzialmente da diffusori d'aria (in linea o a bocchettoni) nei locali caratterizzati da un maggior indice di affollamento (mensa, bar, teatro) o da radiatori o ventilconvettori negli ambienti destinati ad uso ufficio.

In ogni caso, si è fatto riferimento alle indicazioni della UNI/TS 11300-2, che legano il rendimento al carico termico medio annuo ( $W/m^3$ ), rappresentato dal rapporto tra il fabbisogno annuo di energia termica utile, calcolato secondo la UNI EN ISO 13790, il tempo convenzionale di esercizio dei terminali di emissione e il volume lordo riscaldato della zona.

### Sistema di regolazione

Il rendimento del sistema di regolazione, come in presedenza, è stato ricavato dalle UNI/TS 11300-2 tenendo conto del sistema a bassa inerzia termica caratteristico dell'impianto a tutt'aria e considerando la presenza di una regolazione climatica in centrale termica con sonda esterna. Per ricavare il rendimento di regolazione è stato necessario individuare il fattore di utilizzo degli apporti ed il rapporto apporti/perdite.

Nella tabella seguente sono riassunti i rendimenti dei singoli componenti dell'impianto di climatizzazione e i riferimenti della Norma UNI/TS 11300-2 da cui sono stati tratti.

Tabella 42

	Blocco Antico	Blocco Teatro	Blocco Nuovo	Norma UNI/TS 11300-2
$\eta_{emissione}$	0,920	0,920	0,920	prospetti 17 e 18
$\eta_{regolazione}$	0,866	0,866	0,866	prospetto 20
$\eta_{distribuzione}$	0,947	0,925	0,925	prospetto 21(e)
$\eta_{generazione}$	0,860	0,860	0,860	-

### 5.3.3. Presentazione e valutazione dei risultati

#### Fabbisogno di Energia Primaria

Tabella 43

	Riscaldamento	Totale (*)
Fabbisogno di energia primaria [kWh/anno]	3.306.202	3.328.450
Fabbisogno di energia primaria [kWh/m <sup>3</sup> anno]	108,40	109,11
Emissioni di CO <sub>2</sub> [t]	811,10	816,53

(\*) Nel Totale è compresa anche il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS

In tabella 43 è riportato il valore dell'energia primaria, espressa sia in termini assoluti che riferiti all'unità di volume, necessaria alla climatizzazione invernale dell'edificio, in base a quanto emerso dal calcolo del fabbisogno energetico effettuato.

Tale valore tiene conto delle caratteristiche termofisiche dell'edificio, nonché della tipologia degli impianti di climatizzazione installati.

E' stata inoltre stimata la quantità di CO<sub>2</sub> emessa, prendendo in considerazione sia l'energia termica utilizzata sia l'energia elettrica prelevata dalla rete.

## Climatizzazione invernale: fabbisogno termico ed energia primaria

Tabella 44

	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Totale Periodo
DISPERSIONI (kWh)	184.164	318.116	439.244	467.594	391.580	337.196	219.390	2.357.284
Dispersioni per Trasmissione	88.992	153.728	212.283	225.956	189.263	162.920	105.987	1.139.129
Dispersioni per Ventilazione	95.172	164.388	226.961	241.638	202.395	174.276	113.403	1.218.233
APPORTI (kWh)	87.911	63.036	58.015	61.491	66.744	92.777	110.854	540.827
Apporti solari	41.947	18.540	11.974	15.527	25.261	46.736	66.358	226.343
Apporti interni	45.964	44.496	45.964	45.964	41.561	45.964	44.496	314.408
Contributo degli Apporti Termici (kWh)	71.379	59.251	56.006	59.483	63.422	83.894	88.683	482.117
Fabbisogno termico (kWh)	112.785	258.865	383.237	408.112	328.158	253.303	130.707	1.875.167
Fabbisogno termico (kWh/m <sup>3</sup> )	3,70	8,49	12,57	13,38	10,76	8,31	4,29	61,48
Fabbisogno elettrico sistemi ausiliari (kWh)	21.862	21.167	21.862	21.862	19.699	21.862	21.167	149.479
Energia primaria (kWh)	233.594	457.903	652.211	690.759	561.081	451.130	259.525	3.306.202
Indice di prestazione energetica (kWh/m <sup>3</sup> )	7,66	15,01	21,38	22,65	18,40	14,79	8,51	108,40
Fabbisogno di energia primaria Risc+ACS (kWh)	236.838	461.070	655.456	694.004	564.017	454.374	262.692	3.328.450
Fabbisogno di energia primaria Risc+ACS (kWh/m <sup>3</sup> )	7,77	15,12	21,49	22,75	18,49	14,90	8,61	109,13
Emissioni di CO <sub>2</sub> (t)	57,94	112,79	160,68	170,72	138,28	112,01	64,12	816,53

In tabella 44 sono stati riportati i valori mensili (riferiti alla sola stagione di riscaldamento) ed i totali del fabbisogno termico e dell'energia primaria, nonché la quantità di CO<sub>2</sub> emessa.

Sono state, inoltre, evidenziate le dispersioni termiche dovute alla trasmissione attraverso l'involucro edilizio e quelle legate alla ventilazione degli ambienti, che nel loro complesso costituiscono l'energia totale dispersa.

Come si può notare dal diagramma, di seguito proposto, la quota parte dovuta alle perdite per ventilazione rappresenta il 52% del totale.

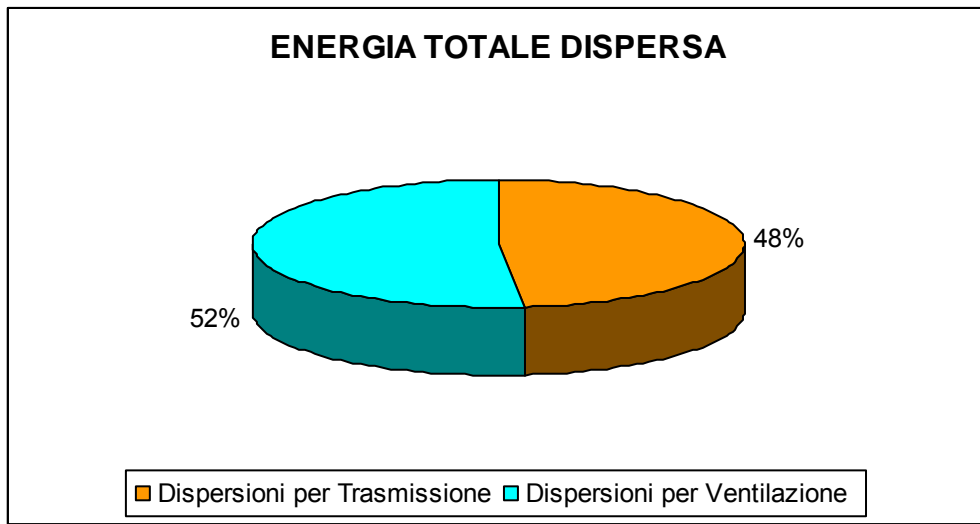


Figura 23

Oltre alle dispersioni sono stati anche considerati gli apporti termici gratuiti suddivisi in:

- componente relativa alla radiazione solare incidente sull'involucro;
- componente relativa ai carichi interni (dovuti alla presenza di occupanti e di apparecchiature elettriche).

Dal diagramma riportato in Figura 24, gli apporti termici interni, funzione dell'indice di presenza e soprattutto del carico delle apparecchiature elettriche presenti nell'edificio, risultano predominanti rispetto a quelli solari.

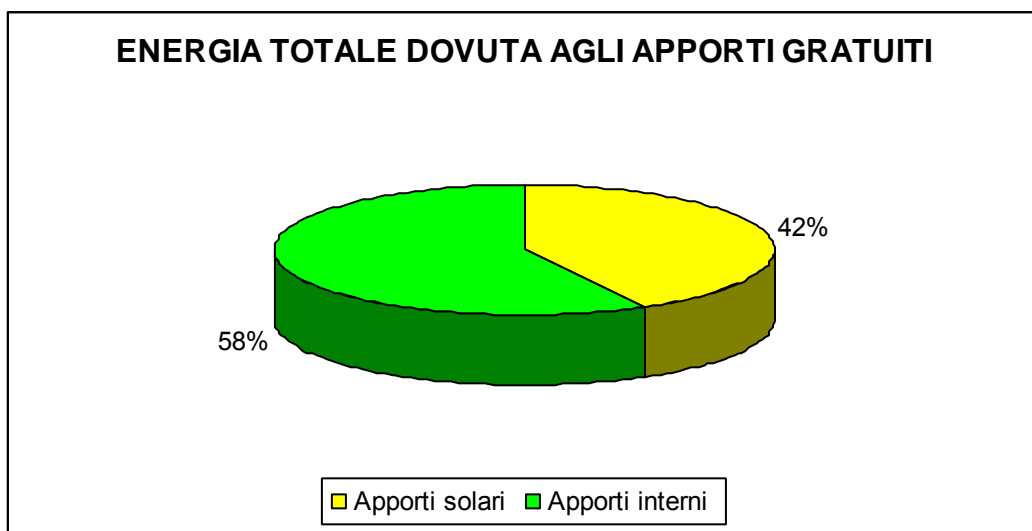


Figura 24

Nel grafico proposto in Figura 25 è rappresentata la composizione del fabbisogno termico in termini di MWh annui.

Ai fini del calcolo del fabbisogno complessivo, alle dispersioni termiche vanno sottratti i contributi relativi agli apporti solari ed interni, ovvero la quota parte di apporti che contribuisce effettivamente alla riduzione del fabbisogno. In termini quantitativi tale riduzione rappresenta circa il 20% del totale delle dispersioni.

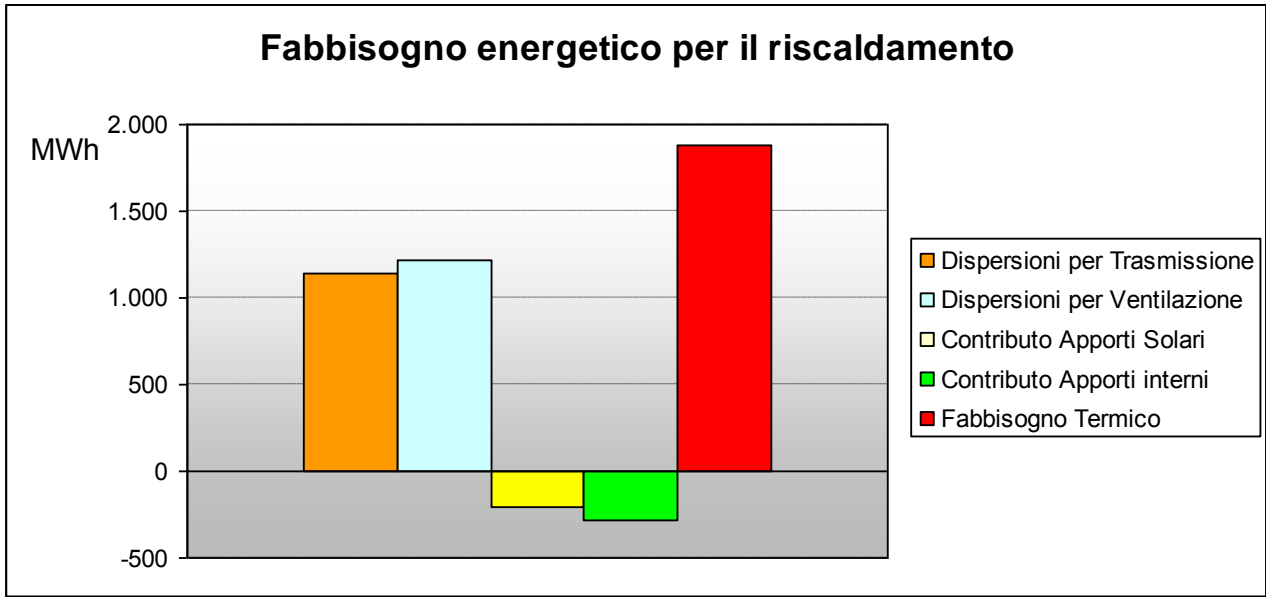


Figura 25

### 5.3.4. Valutazione di incremento performance energetica: scenario di intervento

#### Sostituzione degli infissi

L'ipotesi presa in considerazione riguarda la sostituzione della parte trasparente di tutti i serramenti del Complesso storico.

Questo scenario di intervento è giustificato dal fatto che gli infissi sono caratterizzati da valori di trasmittanza termica che sicuramente potrebbe essere ridotta riconducendola a valori più congrui da un punto di vista di performance energetica.

Come visto in precedenza, l'abbattimento della trasmittanza termica determina, nella stagione invernale, temperature superficiali della vetrata interna più elevate, riducendo l'effetto di "parete fredda" e la possibilità di formazione di condensa superficiale.

#### Impatto dell'intervento proposto: Risultati

Sostituzione della parte trasparente di tutti i serramenti del Complesso storico.

Il fattore solare g corrisponde a 0,6 nella nuova ipotesi.

#### Riepilogo intervento:

Sostituzione Infissi	Stato di fatto	Intervento proposto
$U_{value}$ media [ $W/m^2K$ ]	3,40	1.9

L'esito del calcolo effettuato ha fornito i risultati riportati in tabella 43; il risparmio conseguibile in termini di energia primaria è stato valutato pari a poco meno del 2%.

Tabella 43

	Energia primaria		$\Delta$ Energia primaria (%)	Emissioni di CO <sub>2</sub> (t/anno)	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitate (t/anno)
	(kWh/anno)	(kWh/m <sup>3</sup> anno)			
STATO ATTUALE	3.306.202	108,40	-	811,10	-
INFISSI	3.244.016	106,36	-1,9%	795,65	15,45

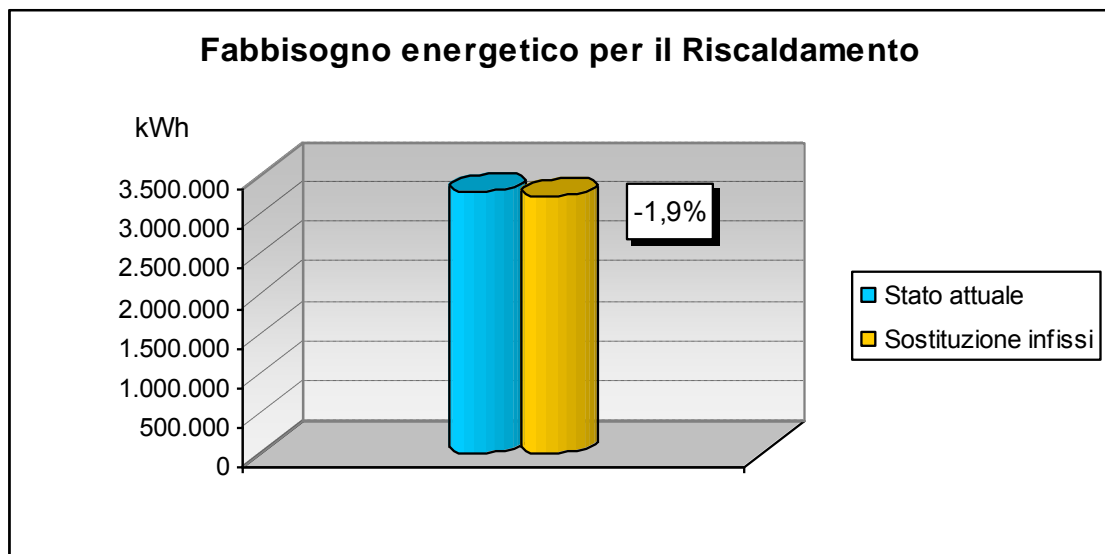


Figura 26

## 5.4 L'ANALISI ENERGETICA DEL COMPLESSO EDILIZIO DELL'ISTITUTO UNIVERSITARIO EUROPEO DI BADIA FIESOLANA

### 5.4.1. Presentazione e valutazione dei risultati

In tabella 44 sono proposti i dati riepilogativi riguardanti la geometria dell'Istituto Universitario Europeo.

Tabella 44

Superficie Lorda Disperdente [m <sup>2</sup> ]	Superficie utile Totale [m <sup>2</sup> ]	Volume interno netto [m <sup>3</sup> ]	Volume Lordo [m <sup>3</sup> ]	Rapporto S/V [m <sup>-1</sup> ]
13.760	9.810	28.282	40.430	0,34

### Fabbisogno di Energia Primaria

Tabella 45

	Riscaldamento	Totale (*)
Fabbisogno di energia primaria [kWh/anno]	4.133.483	4.161.735
Fabbisogno di energia primaria [kWh/m <sup>3</sup> anno]	102,24	102,94
Emissioni di CO <sub>2</sub> [t]	1.014,28	1.021,20

(\*) Nel Totale è compresa anche il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS

In tabella 45 è riportato il valore dell'energia primaria, espressa sia in termini assoluti che riferiti all'unità di volume, necessaria alla climatizzazione invernale dell'edificio, in base a quanto emerso dal calcolo del fabbisogno energetico effettuato.

Tale valore tiene conto delle caratteristiche termofisiche dell'edificio, nonché della tipologia degli impianti di climatizzazione installati.

E' stata inoltre stimata la quantità di CO<sub>2</sub> emessa, prendendo in considerazione sia l'energia termica utilizzata sia l'energia elettrica prelevata dalla rete.

**Climatizzazione invernale: fabbisogno termico ed energia primaria**

Tabella 46

	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Totale Periodo
DISPERSIONI (kWh)	230.805	398.659	550.437	585.981	490.722	422.577	274.934	2.954.115
Dispersioni per Trasmissione	119.225	205.936	284.382	302.705	253.543	218.277	141.995	1.526.063
Dispersioni per Ventilazione	117.101	192.702	266.054	283.255	237.256	204.300	132.939	1.428.067
APPORTI (kWh)	117.101	84.595	78.385	82.550	88.908	123.031	146.945	721.513
Apporti solari	55.979	25.004	16.206	20.969	33.726	62.186	88.375	302.445
Apporti interni	61.101	59.591	62.102	61.601	55.259	60.767	58.591	419.012
Contributo degli Apporti Termici (kWh)	92.729	78.558	75.042	79.248	83.709	109.706	114.746	633.738
Fabbisogno termico (kWh)	138.076	320.101	475.394	506.732	407.013	312.871	160.189	2.320.377
Fabbisogno termico (kWh/m <sup>3</sup> )	3,42	7,92	11,76	12,53	10,07	7,74	3,96	57,39
Fabbisogno elettrico sistemi ausiliari (kWh)	27.762	26.879	27.762	27.762	25.016	27.762	26.879	189.824
Energia primaria (kWh)	290.324	572.151	816.819	865.834	702.657	563.175	322.524	4.133.483
Indice di prestazione energetica (kWh/m <sup>3</sup> )	7,18	14,15	20,20	21,42	17,38	13,93	7,98	102,24
Fabbisogno di energia primaria Risc+ACS (kWh)	294.444	576.173	820.939	869.954	706.385	567.295	326.546	4.161.735
Fabbisogno di energia primaria Risc+ACS (kWh/m <sup>3</sup> )	7,28	14,25	20,31	21,52	17,47	14,03	8,08	102,94
Emissioni di CO <sub>2</sub> (t)	72,14	140,97	201,34	213,84	173,31	139,78	79,82	1.021,20

In tabella 46 sono stati riportati i valori mensili (riferiti alla sola stagione di riscaldamento) ed i totali del fabbisogno termico e dell'energia primaria, nonché la quantità di CO<sub>2</sub> emessa.

Sono state, inoltre, evidenziate le dispersioni termiche dovute alla trasmissione attraverso l'involucro edilizio e quelle legate alla ventilazione degli ambienti, che nel loro complesso costituiscono l'energia totale dispersa. Come si può notare dal diagramma, di seguito proposto, la quota parte dovuta alle perdite per ventilazione rappresenta il 48% del totale.

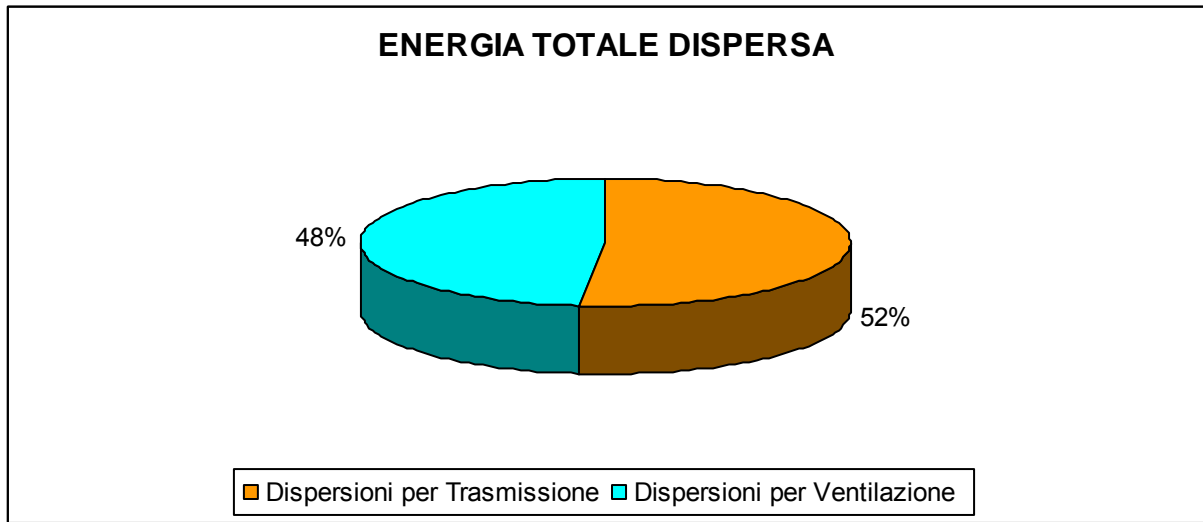


Figura 27

Oltre alle dispersioni sono stati anche considerati gli apporti termici gratuiti suddivisi in:

- componente relativa alla radiazione solare incidente sull'involucro;
- componente relativa ai carichi interni (dovuti alla presenza di occupanti e di apparecchiature elettriche).

Dal diagramma riportato in Figura 28, gli apporti termici interni, funzione dell'indice di presenza e soprattutto del carico delle apparecchiature elettriche presenti nell'edificio, risultano predominanti rispetto a quelli solari.

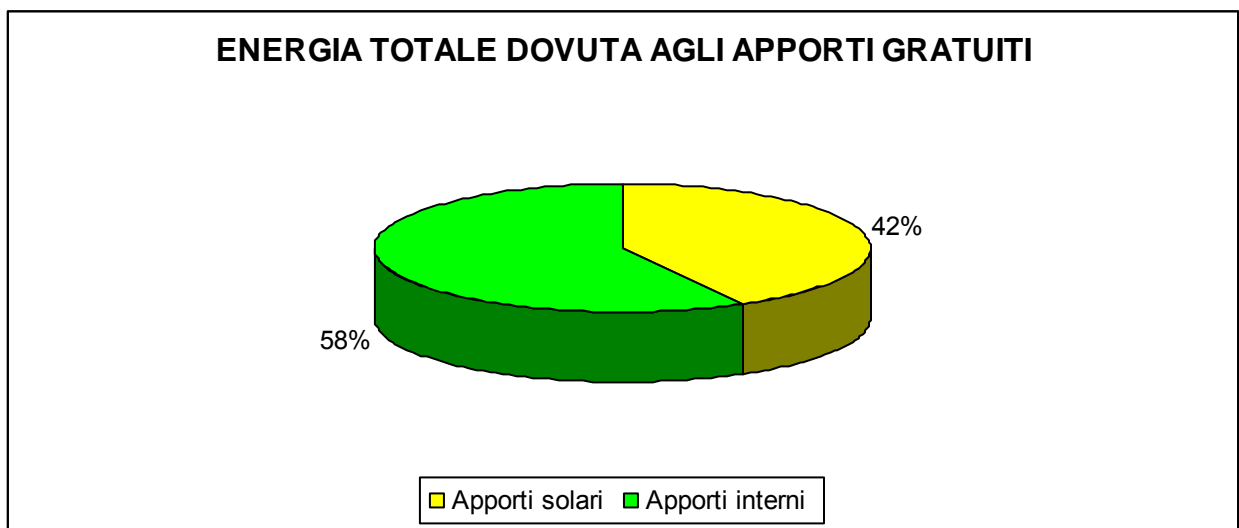


Figura 28

Nel grafico proposto in figura 29 è rappresentata la composizione del fabbisogno termico in termini di MWh annui.

Ai fini del calcolo del fabbisogno complessivo, alle dispersioni termiche vanno sottratti i contributi relativi agli apporti solari ed interni, ovvero la quota parte di apporti che contribuisce effettivamente alla riduzione del fabbisogno. In termini quantitativi tale riduzione rappresenta circa il 21% del totale delle dispersioni.

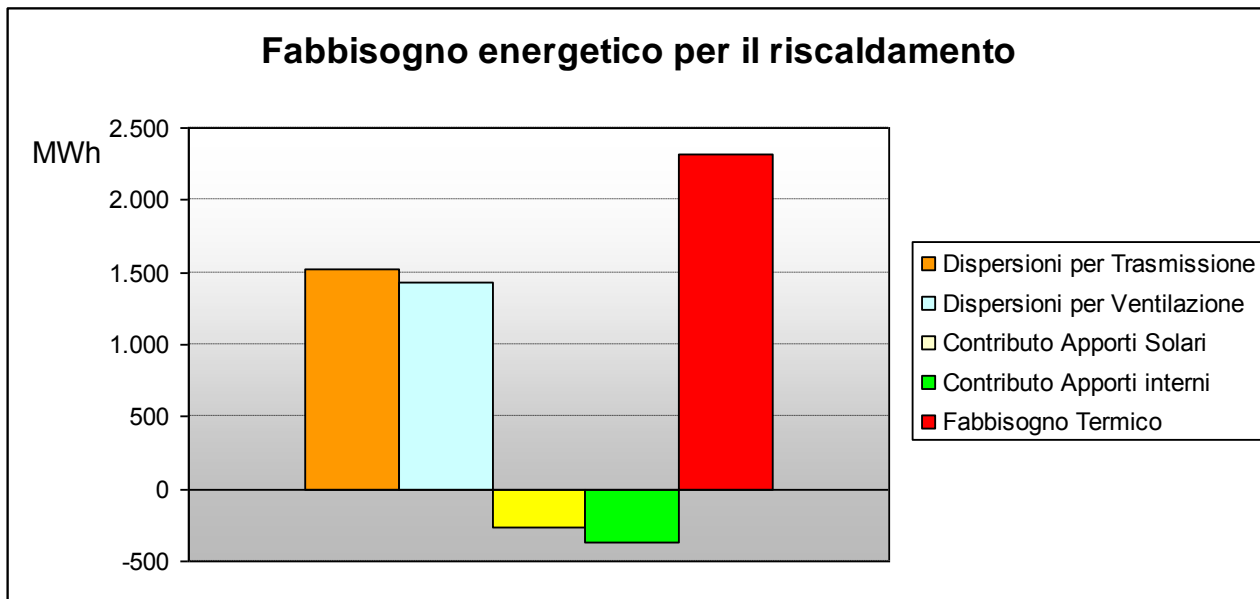


Figura 29

Nella Figura 30 è riportato un confronto tra i rapporti “Indice di prestazione energetica/ valore limite” del Complesso storico, della Biblioteca, dell’Istituto Universitario Europeo nel suo insieme. I valori limiti dell’indice di prestazione energetica sono quelli applicabili dal 1 gennaio 2008 per destinazioni d’uso diverse dal residenziale – Tabella 2.2 Allegato C DLgs 311/2006.

Il valore di questo rapporto dà un’indicazione circa lo scostamento dei fabbisogni energetici rispetto a quelli di un edificio di nuova costruzione, nello stesso sito, con lo stesso rapporto S/V e stessa destinazione d’uso.

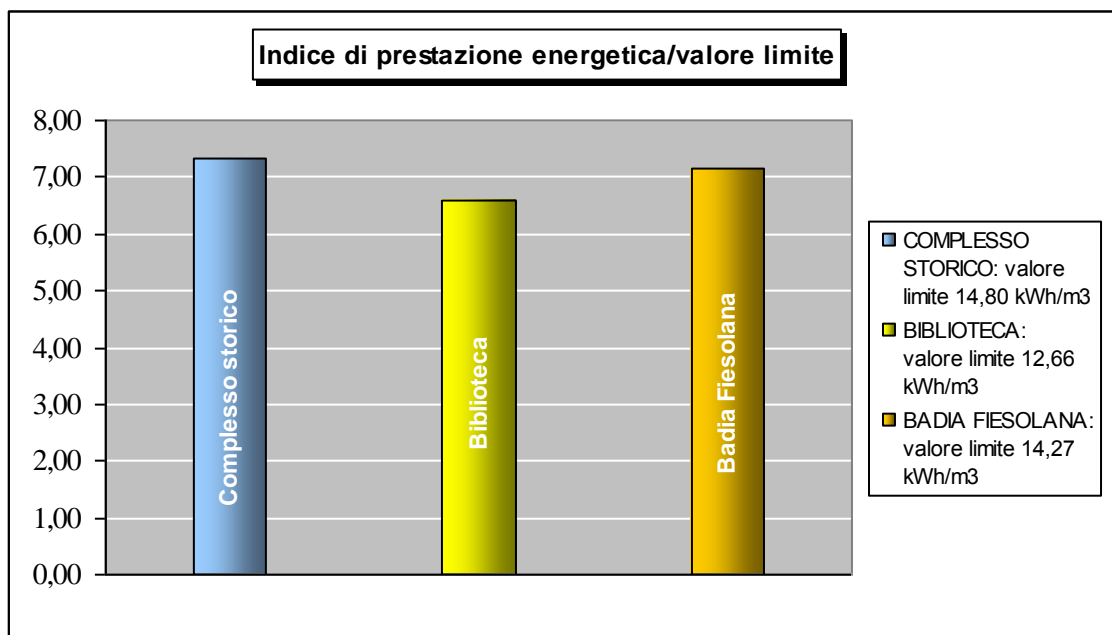


Figura 30

Nella figura seguente, accanto al valore limite dell'indice di prestazione energetica, viene mostrata la ripartizione del fabbisogno energetico per il riscaldamento ( $\text{kWh/m}^3$ ) nelle due componenti, ventilazione e trasmissione.

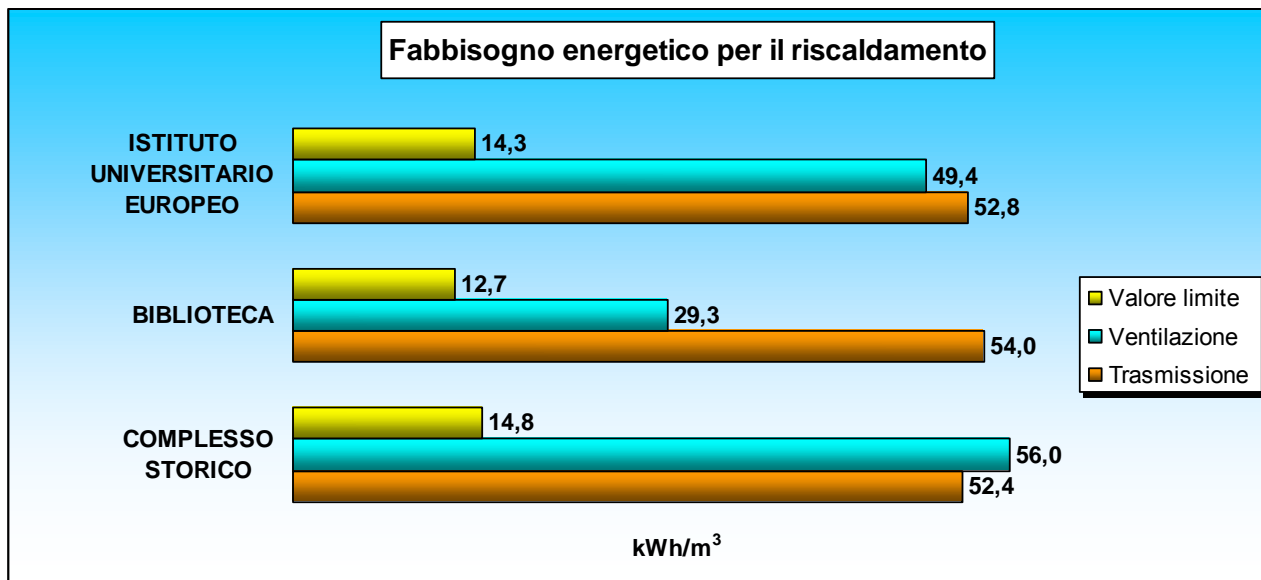


Figura 31

#### 5.4.2. Valutazione di incremento performance energetica

Gli interventi di riqualificazione energetica proposti hanno riguardato azioni sulla Biblioteca e sugli edifici del Complesso storico.

Nella tabella seguente si riporta un quadro riepilogativo dei risultati ottenuti.

Accanto alle variazioni di energia primaria, sono stati evidenziati anche i possibili risparmi ottenibili, in termini di consumo di gas metano e di costi annui. Riteniamo utile sottolineare che tali risparmi si riferiscono esclusivamente al fabbisogno di energia necessario alla climatizzazione dell'edificio, valutato in condizioni standard.

Tabella 47

Biblioteca	Compl. Storico	INTERVENTO	Energia primaria		$\Delta$ Energia primaria (%)	Consumi di metano evitati ( $\text{m}^3/\text{anno}$ )	Risparmi presunti (€/anno)	Emissioni di $\text{CO}_2$ (t/anno)	Emissioni di $\text{CO}_2$ evitate (t/anno)
			(kWh)	( $\text{kWh/m}^3$ )					
•	•	INFISSI	4.026.698	99,58	-2,6%	-11.129	-4.229	988,00	-33,20
•		COPERTURA	4.059.611	100,40	-1,8%	-7.699	-2.926	1.001,57	-19,63
•		REGOLAZIONE	4.036.697	99,83	-2,3%	-10.087	-3.833	995,95	-25,24
•		CAPPOTTO + COPERTURA	3.805.762	94,12	-7,9%	-34.155	-12.979	939,24	-81,95
•	•	BEST	3.652.399	90,33	-11,6%	-50.139	-19.053	896,24	-124,95

È importante rilevare che solo l'intervento sugli infissi riguarda la totalità degli edifici dell'Istituto Universitario Europeo; gli altri sono riferiti esclusivamente alla Biblioteca, con la sola eccezione dell'intervento "Best" che comprende questi ultimi e l'opzione "infissi".

## APPENDICE 2: Analisi e riqualificazione energetica della sede del Ministero dello Sviluppo Economico: Palazzo Piacentini e Palazzo Rosa

## 1. ASPETTI GENERALI

### 1.1 INTRODUZIONE

Il Ministero dello Sviluppo Economico (MSE), nell'ambito della riqualificazione energetica della sede sita in Roma in via Vittorio Veneto, ha intrapreso una serie di azioni finalizzate al contenimento dei consumi energetici.

L'ENEA è stata coinvolta in questo progetto di riqualificazione per fornire un supporto tecnico scientifico mirato a indicare interventi e soluzioni per l'efficienza energetica con particolare riguardo per gli aspetti di innovazione di prodotti e sistemi, che possano concretamente trovare applicazione tenendo conto di quanto gli uffici tecnici del Ministero hanno programmato e del budget finanziario a disposizione.

### 1.2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'EDIFICIO

La sede del Ministero occupa due edifici storici, il Palazzo Piacentini e il cosiddetto Palazzo Rosa.

Da questo momento con il termine edificio si fa riferimento al plesso costituito dai due edifici sopra citati, salvo diversa indicazione.

Palazzo Piacentini è stato realizzato negli anni Trenta e rappresenta un significativo esempio di architettura razionalista, ed è posto sotto il vincolo dei beni architettonici dalla Soprintendenza del Ministero dei Beni Architettonici e Culturali. Palazzo Piacentini è utilizzato per uso uffici, ma contiene destinazioni d'uso particolari come un'ampia sala riunioni, nota anche come Parlamentino, la sala udienze della zona Gabinetto del Ministro, l'area occupata dai locali dal Ministro ed altri locali con geometrie molto particolari. Queste particolarità architettoniche e distributive rendono l'edificio particolarmente complesso nell'attività di riqualificazione energetica.

La struttura è del tipo misto in muratura portante e cemento armato, i solai sono in latero-cemento e la copertura è del tipo piano a lastricato solare.

Il Palazzo Rosa risale alla fine del XIX secolo. La destinazione d'uso di questo corpo di fabbrica è fondamentalmente ad uso ufficio per i piani fuori terra, a parte: i piani al di sotto dal piano terra occupati da sale/locali tecnici (CED, Cabine elettriche, locali impianti ecc.); una porzione del terzo piano che ospita un Asilo Nido (ad uso dei Dipendenti del MSE); l'8° piano dove sono ubicati alloggi di servizio.

I due edifici, sopra citati (Palazzo Piacentini e Palazzo Rosa), fanno parte di un grande isolato urbano a pianta quadrangolare delimitato da via Veneto, via Molise, via di San Basilio e Piazza Barberini, il tutto nel centro della città di Roma. Dello stesso isolato fanno parte la proprietà della Provincia Romana dei Frati Minori (con la Chiesa di S. Maria Immacolata con ingresso da via Veneto) ed un altro edificio privato progettato da Gino Coppedè, avente ingresso all'inizio di via Veneto. Di questo isolato la parte più antica è costituita dalla proprietà dei Cappuccini, mentre gli altri stati edificati tutti fra gli anni '20 e '30 dello scorso secolo.

Data la complessità dello stato di fatto si è deciso, in accordo con i responsabili del MSE, di procedere secondo un criterio che rendesse praticabile, in tempi congrui, le analisi e le valutazioni energetiche del complesso per poter fornire indicazioni, soluzioni e specifiche finalizzate al miglioramento dell'efficienza energetica del complesso.

### 1.3 AZIONI ENEA A SUPPORTO MSE

Le azioni ENEA a supporto della struttura MSE riguardano:

- Analisi e proposte per la riqualificazione dell'involucro edilizio.
- Monitoraggio ed analisi dei consumi elettrici, suddivisi nei vari usi (illuminazione, ascensori, climatizzazione estiva, apparecchiature, ecc.).
- Analisi dei consumi termici ed eventuali proposte migliorative.
- Analisi e valutazione di un progetto di trigenerazione, redatto recentemente e da realizzare sulla base di disponibilità economiche al momento assenti.
- Analisi e valutazione per la sala polivalente, al piano seminterrato del Palazzo Rosa.
- Proposta di efficientamento per i sistemi di informazione e telecomunicazione, con particolare attenzione alla sala CED ed ad un sistema intelligente per la visualizzazione e la gestione dei carichi e dei consumi.

### 1.4 RISULTATI DEI SOPRALLUOGHI

Sono state organizzate riunioni con i tecnici di riferimento di MSE ed effettuati una serie di sopralluoghi, al fine di raccogliere il maggior numero di informazioni relative alla costruzione ed alla gestione dell'edificio.

#### 1.4.1. *Involucro edilizio*

La sede del Ministero occupa e edifici storici, il Palazzo Piacentini e il cosiddetto Palazzo Rosa.

Quest'ultimo risale alla fine del XIX secolo. La struttura in muratura, di notevole spessore e realizzata con pietra vulcanica tufacea con allettamento di malta. I solai sono misti in acciaio e voltini. I serramenti esterni sono di legno verniciati a smalto, principalmente di due colori, avana e marrone, costituiti da vetro singolo da 3-4 mm, dotati di scuri interni e di persiane esterne. L'età dei serramenti è tale per cui sia la tenuta all'aria che all'acqua sia scadente. L'isolamento termico di questo tipo di serramento è inoltre piuttosto scadente.

Palazzo Piacentini risale agli anni Trenta e rappresenta un significativo esempio di architettura razionalista, difatti l'edificio è protetto dalla Soprintendenza. La struttura è del tipo misto in muratura portante e cemento armato, i solai sono in latero-cemento. I serramenti sono realizzati con profili in acciaio con vetro singolo da 3-4mm, sono presenti sistemi di oscuramento con tende da sole esterne di colore chiaro azionabili degli utenti, in molte stanza sono presenti anche tende interne sempre ad azionamento manuale. I serramenti sono mediamente in cattivo stato conservativo e funzionale. Data l'età, i serramenti non risultano adeguati sotto il profilo della tenuta all'aria ed all'acqua, nonché sotto il profilo dell'isolamento termico, acustico e del controllo solare. Anche le protezioni solari esterni risultano datate e non prestazionali a causa della scarsa manutenzione.

Gli elevati spessori della muratura non consentono adeguati livelli di isolamento termico ma assicurano una elevata capacità di accumulo termico da parte della struttura. Questo tipo di prestazione è positiva soprattutto durante la stagione estiva, quando lo sfasamento temporale dell'onda termica, determina il picco dell'apporto termico durante le ore serali, quando l'edificio è ormai quasi vuoto.

Date le caratteristiche ed i vincoli del plesso in esame, non possono essere avanzate proposte di riqualificazione dei componenti opachi dell'involucro, tenendo anche conto che buona parte della copertura è stata ristrutturata prevedendo l'isolamento termico della stessa. Diverso discorso, riguarda i componenti trasparenti degli edifici. MSE ha già previsto un piano di sostituzione dei serramenti, sulla base

di un piano di riqualificazione dell'edificio. Le possibilità di intervento sono in questo caso possibili ed ENEA ha eseguito delle valutazioni di ottimizzazione dei componenti trasparenti al capitolo 2.

#### 1.4.2. Usi finali di gas

Gli usi finali riguardano quasi per intero i consumi per riscaldamento, essendo gli usi per acqua calda sanitaria e per cucina molto limitati e percentualmente poco rilevanti.

Il sistema prevede una generazione in centrale in copertura con caldaia a condensazione, con due caldaie convenzionali ad integrazione in caso di carico termico più elevato. La caldaia a condensazione ha una potenza di 900 kilowatt, così come le caldaie di integrazione poste al piano interrato. La caldaia è di recente installazione dunque non sono ancora noti i benefici in termini di risparmio energetico ed economico.

Il sistema di distribuzione dell'acqua calda è interno all'edificio, in parte interna ed in parte all'interno delle murature. Le tubazioni non sono isolate. Il sistema è a colonne montanti, anche se nel corso degli anni sono stati realizzati degli stacchi in corrispondenza di alcuni piani, con distribuzione all'interno delle intercapedini orizzontali che si trovano in presenza dei solai di alcuni piani. Alcune informazioni sono state raccolte da rilievi preesistenti.

Il sistema di emissione è realizzato con radiatori in ghisa, quasi sempre a ridosso delle tamponature interne, quindi senza perdite termiche, tipiche di radiatori addossati a tamponature esterne. Appare opportuno notare che molte stanze sono equipaggiate con ventilconvettori a pompa di calore, installati per la climatizzazione estiva ma operanti anche durante l'inverno. Stime interne a MSE indicano una percentuale di circa il 30% di unità operanti anche durante la stagione invernale a supporto del sistema tradizionale. Questi aspetti dovranno essere opportunamente indagati durante la prossima stagione invernale, al fine di valutare il reale consumo dell'edificio per la climatizzazione invernale.

Il sistema di controllo prevede, infine, un controllo climatico in caldaia con sonda di temperatura esterna. Non è implementato alcun controllo locale, di ambiente o di zona. Questa situazione rende inutili anche eventuali ipotesi di riqualificazione dell'involucro edilizio al fine del contenimento dei consumi invernali, senza la possibilità di conseguire dei reali risparmi energetici ed economici. Le macchine funzionano, infatti, solo con regolazione della temperatura esterna, tra l'altro in modo non corretto secondo quanto evidenziato in sede di sopralluogo, e non possono quindi tenere conto delle ridotte dispersioni, almeno fino al massimo raggiungimento del pieno carico del generatore ad assorbimento.

#### 1.4.3. Usi finali di energia elettrica

Gli edifici ad uso non residenziale fanno largo uso di energia elettrica per svariate applicazioni. Nell'analisi dell'edificio è stata posta attenzione a diverse tipologie di consumo che riguardano:

- Usi elettrici per la climatizzazione estiva
- Usi elettrici per l'illuminazione artificiale
- Usi elettrici per la movimentazione di beni e persone (ascensori e montacarichi)
- Usi elettrici per apparecchiature

La prima fase del sopralluogo ha consentito di verificare l'assenza di un sistema centralizzato di raffrescamento. Una piccola macchina frigorifera alimenta le unità di trattamento dell'aria nella zona del ministro e dei direttori generali e la sala conferenze, nota anche come *parlamentino*. Il consumo di energia per queste zone rappresenta una piccola percentuale dei consumi elettrici. Quasi tutta la potenza di raffrescamento è garantita da macchine split individuali ed installate praticamente in tutte le stanze dell'edificio. Il parco macchine è quanto mai variegato in termini di: potenza della macchina, anno di produzione ed installazione, profilo di funzionamento.

Il dato mancante di maggiore rilievo è poi il set-point fissato dagli utenti, generalmente alcuni gradi più basso dei valori consigliati da norma (26°C). La differenza fondamentale rispetto all'impianto di riscaldamento è che, essendo il controllo realizzato localmente, le eventuali azioni di riqualificazione dell'involucro hanno un impatto diretto sugli usi energetici dell'edificio. Da questo punto di vista alcuni

accorgimenti alle strategie poste in atto a livello di gestione energetica dell'edificio possono essere suggeriti.

L'impianto di illuminazione artificiale è costituito quasi interamente da tubi fluorescenti, quindi con una buona resa energetica. Alcune zone dell'edificio sono state ristrutturare, cosa che ha permesso di realizzare dei sistemi di controllo dell'illuminazione artificiale, essenzialmente durante le ore notturne, quando il personale è assente. Non esistono invece controlli locali per l'ottimizzazione dell'illuminazione artificiale (sensori di presenza e daylighting), tantomeno sistemi di dimmerizzazione delle lampade installate.

Non esistono dati di consumo relativi ad ascensori e montacarichi e neanche quelli relativi alle apparecchiature elettriche. Per cercare di ottenere il maggior numero di informazioni sono state implementate delle campagne di monitoraggio sui consumi elettrici, i cui risultati sono presentati al capitolo 3. Il dettaglio sui consumi legati agli ascensori è invece riportato al capitolo 4.

#### 1.4.4. *Comportamento dell'utenza*

I risultati dei sopralluoghi evidenziano come l'utenza sia poco informata sui comportamenti legati all'ottimizzazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Questa ipotesi è confermata da un utilizzo eccessivo dell'illuminazione artificiale, così come da un utilizzo non consono delle schermature solari. Gli utenti, inoltre, sembrano gestire in modo differenziato il proprio comfort termico: utilizzo della ventilazione naturale con le finestre aperte, utilizzo delle macchine di raffrescamento con diversi set-point di temperatura (alcuni decisamente al di sotto dei 26°C), utilizzo delle macchine split con finestra parzialmente aperta.

Appare necessario prevedere la diretta responsabilizzazione del personale per un utilizzo più cosciente delle risorse energetiche dell'edificio, come una delle principali azioni da porre in essere nel prossimo futuro. Azioni di questo tipo implicano un impegno economico praticamente, a fronte di risultati che possono essere decisamente significativi.

## 2. ANALISI DEI BENEFICI DERIVANTI DALL'UTILIZZO DI SISTEMI TRASPARENTI A PIU' ELEVATA EFFICIENZA

### 2.1 *INTRODUZIONE*

Il Ministero dello Sviluppo Economico (da ora MSE) sta ponendo in essere una serie di azioni mirate alla riqualificazione degli edifici di propria competenza, con un'attenzione particolare per la sede di Via Vittorio Veneto a Roma. ENEA UTEE-ERT intende contribuire alle azioni di riqualificazione con una serie di azioni a supporto delle decisioni da parte degli uffici competenti.

Tra le azioni in essere compare la riqualificazione del parco serramenti installato, azione già parzialmente intrapresa e tutt'ora in corso. Questo studio fornisce delle indicazioni sulle migliori soluzioni relative alla scelta dei componenti dell'involucro trasparente, inteso come serramenti con accoppiati eventuali sistemi schermanti interni e esterni.

### 2.2 *COMPONENTI TRASPARENTI: SCELTA ADOTTATA E PROPOSTA ENEA*

L'unità in carico della gestione del Patrimonio e l'Energy Management di MSE stanno realizzando una serie di azioni in tema di efficienza energetica e di miglioramento delle condizioni di comfort termico all'interno dell'edificio. Una di queste azioni è la sostituzione dei serramenti esistenti, obsoleti e poco performanti

come indicato nel paragrafo precedente. La scelta di MSE è caduta su un componente avente le seguenti caratteristiche:

- Telaio metallico senza taglio termico con guarnizioni per migliorare la tenuta all'aria. Questo componente è scadente in termini di isolamento termico, ma la scelta non presentava alternative, in quanto era l'unica soluzione considerata accettabile dalla Soprintendenza ai Beni Culturali. I nuovi serramenti riducono comunque le esfiltrazioni d'aria e garantiscono una rinnovata sicurezza strutturale. L'analisi dei prodotti disponibili sul mercato ed i vincoli imposti all'edificio, confermano la validità di questa ipotesi e la correttezza di perseguirla. Rimane da comprendere il grado di libertà che MSE avrà di modificare il telaio delle finestre del Palazzo Rosa. Il vincolo architettonico è, in questo caso, meno stringente e potrebbero quindi essere installati serramenti più performanti, sia che si utilizzi il legno, sia si intenda scegliere il PVC.
- Vetrocamera basso emissivo con rivestimento in faccia tre. Il vetrocamera ha una intercapedine di 16 mm riempita con gas argon, con maggiori proprietà isolanti rispetto all'aria. Le caratteristiche dei componenti trasparenti adottati sono:
  - *Trasmittanza termica*  $U = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - *Fattore solare*  $g = 0.61$
  - *Trasmittanza luminosa*  $T_v > 0.6$  (dato stimato ma non disponibile)

Si tratta di un componente ad elevato isolamento termico, con buon fattore solare (ovvero apporti solari medio/elevati e buona trasmissione luminosa, cosa che garantisce in linea teorica uno sfruttamento adeguato della luce naturale.

Appare opportuno notare, a questo punto, come i nuovi e più efficienti serramenti andranno ad impattare sui consumi *reali* dell'edificio. Il maggiore isolamento termico garantito dall'installazione di nuovi componenti avrà un effettivo riscontro sulle prestazioni energetiche dell'edificio soltanto nel caso in cui sia riqualificato anche il sistema di riscaldamento, come indicato al paragrafo precedente. La mancanza di controllo locale dei livelli di temperatura non consentirà di sentire la minore richiesta di calore dovuta al maggiore isolamento termico. L'impatto diretto si potrebbe ottenere limitando l'erogazione di potenza al generatore in virtù delle nuove prestazioni di involucro, tuttavia questo sistema non garantisce le condizioni minime di comfort in ambiente e non è, quindi, perseguibile. Da questo punto di vista non si riscontra la necessità di esplorare nuove e più efficienti soluzioni in quanto: a) le soluzioni scelte sono molto performanti in relazione alle condizioni climatiche; b) il sistema edificio-impianto non si muoverebbe verso livelli di efficienza energetica più elevati.

Esiste, al contrario, la possibilità di migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio durante la stagione estiva. Infatti le macchine split installate ovunque hanno in controllo locale della temperatura e le riduzioni di carico possono essere effettivamente sentite dall'impianto. L'ottimizzazione delle prestazioni estive passano essenzialmente attraverso il controllo della radiazione solare in ingresso, più che attraverso l'isolamento termico. Per questo motivo sono analizzate le prestazioni energetiche dell'edificio, utilizzando delle soluzioni alternative di componente vetrato.

### 2.3 Descrizione della tecnologia a filtro solare

Il vetro è un materiale caratterizzato da bassa riflettanza ed elevata trasparenza nello spettro solare (essenzialmente spettro visibile ed infrarosso vicino); ha inoltre bassa riflettanza ed elevata emittanza nell'infrarosso medio e lontano. Queste proprietà inducono elevati apporti di energia solare e elevate perdite termiche all'infrarosso. Il comportamento è illustrato dalle curve spettrali in figura 1 e 2.

Le linee nere, continua e tratteggiata, in figura 1 rappresentano rispettivamente la trasmittanza e la riflettanza nello spettro solare. La linea nera di figura 2 riporta la riflettanza all'infrarosso

I vetri basso emissivi utilizzano particolari coating metallici (ferro-cadmio, stagno-f, ecc) che aumentano la riflettanza all'infrarosso con contestuale riduzione dell'emittanza. Curve blu in figura 1 e curve rosse in figura 2. Si noti che la curva rossa tratteggiata di figura 2 fanno riferimento a vetri emissivi obsoleti

(remissività fino a 0.15), curva tratteggiata, e recenti (remissività fino a 0.03). I vetri basso emissivi mantengono elevati apporti solari ed elevata trasparenza.

Esiste tuttavia una classe più evoluta di vetri basso emissivi, che utilizza filtri metallici con doppio coating in argento. La caratteristica di questi filtri, curve rosse in figura 1 è di essere molto trasparenti nello spettro visibile e molto riflettenti su tutto lo spettro infrarosso. Questa tipologia di vetri basso emissivi è indicata come vetro a filtro solare o vetro quattro stagioni (poiché ha un comportamento efficiente nella stagione di riscaldamento ed in quella di raffreddamento).

Le vetrate isolanti basso emissive hanno generalmente un fattore solare di circa 0.6-0.7 a fronte di una trasmittanza luminosa intorno a 70-75%. I vetri a filtro solare uniscono un'elevata trasmissione luminosa (intorno al 70%) ad un basso fattore solare, generalmente intorno 0.4.

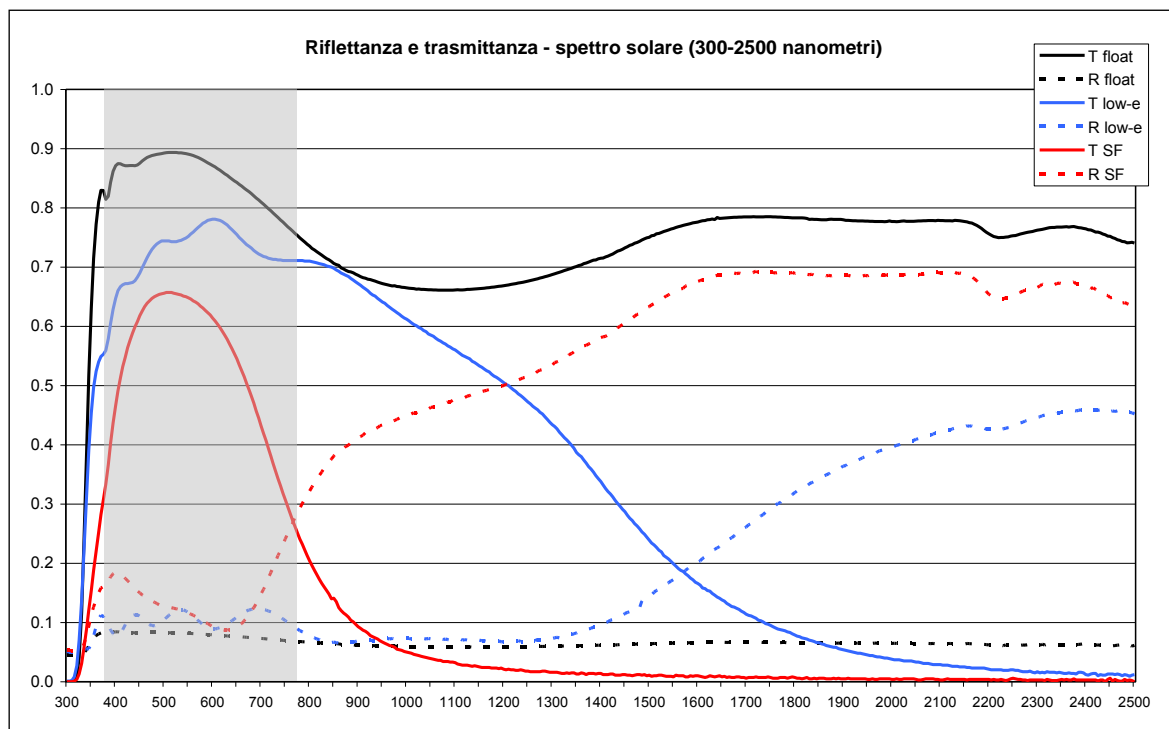


Figura 1 Curve spettrali di diversi tipi di vetro nello spettro solare

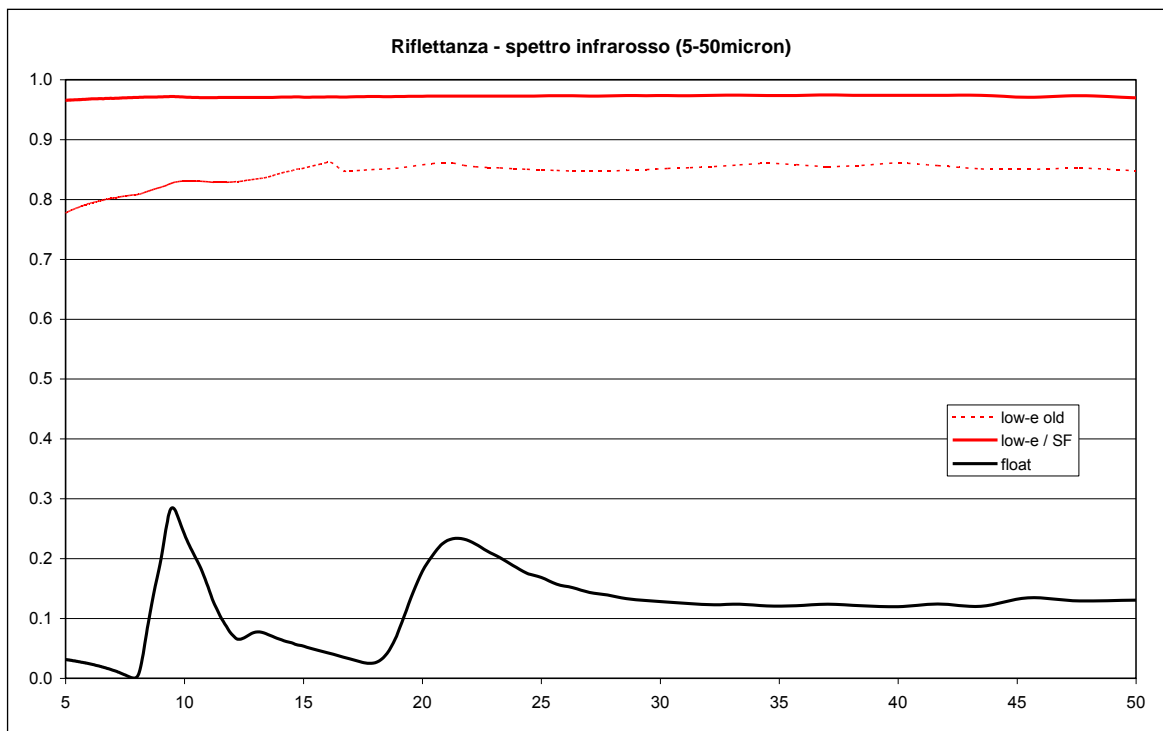


Figura 2 Curve spettrali di diversi tipi di vetro nello spettro infrarosso

## 2.4 ANALISI ENERGETICA PER DIVERSE TIPOLOGIE DI SISTEMA TRASPARENTE

L'impatto delle diverse vetrate è stato valutato attraverso la comparazione dei risultati con le due tipologie in esame. I calcoli sono stati effettuati utilizzando l'interfaccia Design Builder che si appoggia al motore di calcolo EnergyPlus, modello riconosciuto a livello internazionale che consente l'analisi dell'edificio in regime orario. L'analisi oraria consente di eseguire il bilancio termico in modo accurato in funzione delle varie modalità di trasferimento del calore. Le caratteristiche dei due sistemi trasparenti sono riportate in tabella 1. Si noti che i due vetri hanno trasmittanza termica 1.2 e non 1.1 [W/m<sup>2</sup>K], essendo la libreria del software non aggiornata agli ultimi prodotti disponibili sul mercato. Questa discrepanza rispetto al prodotto selezionato da MSE non è comunque significativa per due motivi: a) i produttori dichiarano i medesimi valori di trasmittanza termica per vetri basso emissivi e vetri a filtro solare, quindi non esistono differenze prestazionali e di conseguenza sono stati inseriti gli stessi valori di U; b) a questo si aggiunge il fatto che tale parametro ha in estate un peso molto limitato rispetto ad altri e dunque i risparmi relativi non sono influenzati in modo significativo.

Nell'analisi energetica è stato considerato il contributo delle schermature solari (interne o esterne). I valori delle grandezze solari del componente sono stati valutati in base ad una semplice ispezione visiva. Si è fissato un valore di trasmittanza pari al 20% e riflettanza pari al 40%. I profili d'uso sono spiegati nel paragrafo dei risultati.

La trasmittanza termica degli elementi opachi dell'involucro edilizio è stata assegnata sulla base della misura degli spessori della muratura; delle finiture esterne ed interne; dei valori tipici di conducibilità dei materiali utilizzati per la realizzazione dell'edificio e disponibili da relazioni tecniche fornite dai riferimenti MSE.

Tabella 1 Caratteristiche dei tipi di vetro considerati

Tipo di vetro	$\tau_v$ [-]	g [-]	U [W/m <sup>2</sup> K]
Basso emissivo	0.71	0.61	1.2
Filtro solare	0.60	0.43	1.2

#### 2.4.1. Definizione delle zone dell'edificio

Sulla base dell'indagine sul campo si è deciso di investigare diverse zone dell'edificio in cui gli apporti solari giocano un ruolo significativo sul bilancio termico. Sono stati individuate una serie di stanze tipo sulle quali sono stati eseguiti i calcoli. Le stanze sono:

- 1 Esposizione sud-est, Palazzo Piacentini via di San Basilio
- 2 Esposizione sud-est, Palazzo Rosa via di San Basilio
- 3 Esposizione sud-ovest, Palazzo Piacentini fronte opposto rispetto a via Molise
- 4 Esposizione ovest/nord-ovest, Palazzo Piacentini via Veneto

Per ognuna delle stanze sono stati ipotizzati dei profili d'uso e dei carichi termici in relazione all'occupazione ed alle attrezzature presenti. Il contributo per l'illuminazione artificiale è calcolato dal software in relazione al reale fabbisogno in funzione delle lampade installate, la cui potenza è stata inserita come input ricavato dal sopralluogo, e ad un livello di illuminamento minimo parti a 500 lux. Nella tabella 2 sono riassunte le caratteristiche dimensionali delle stanze e dei relativi serramenti, si noti che i rapporti superficie trasparente – superficie calpestabile variano notevolmente e, questo, determina diversi profili di carico termico estivo.

Tabella 2 Dati geometrici delle stanze selezionate

Stanza	Superficie netta [m <sup>2</sup> ]	Area serramenti [m <sup>2</sup> ]	Rapporto aeroilluminante [%]
1	27	2.3	8.5
2	23	2.7	11.7
3	17.5	4.9	28.0
4	30.2	5.6	18.5

## 2.5 Risultati

L'analisi si è basata su una serie di variabili, dalle quali si può evincere il potenziale risparmio energetico in base alle soluzioni adottate. Si ricorda che, come tutte le analisi numeriche, anche questa si basa su una serie di assunzioni, che non necessariamente si applicano nell'edificio reale. I risultati danno comunque informazioni su come determinate scelte di materiali o di comportamenti vanno potenzialmente ad impattare il comportamento dell'edificio.

### 2.5.1. Energia netta per raffrescamento

I risultati si riferiscono alla sola energia netta per raffrescamento, ovvero al netto dei rendimenti di impianto. La scelta ha due motivazioni: a) lo studio è mirato al confronto tra due soluzioni alternative di involucro trasparente, operanti con la medesima tipologia di impianto; b) le macchine split installate sono diversificate per età, dimensioni, profili di utilizzo, e sarebbe dunque poco significativo definire un solo rendimento.

I risultati fanno riferimento al confronto delle prestazioni energetiche conseguibili con un vetrocamera basso emissivo convenzionale ed uno basso emissivo a filtro solare. I serramenti sono corredati da protezioni solari interne ed esterne ad azionamento manuale, per questo motivo si è deciso di eseguire le simulazioni ipotizzando tre condizioni:

- 1 Tenda interna azionata per ottimizzare il comfort visivo (essenzialmente protezione dall'abbagliamento).
- 2 Tenda esterna azionata per ottimizzare il comfort visivo (essenzialmente protezione dall'abbagliamento)
- 3 Tenda esterna azionata evitare il surriscaldamento (essenzialmente protezione dall'abbagliamento)

Nei primi due casi la tenda è azionata quando sono raggiunte le condizioni di discomfort visivo, fissate pari al valore 22 del DGI (Daylight Glare Index – Indice di Abbagliamento da luce naturale), definito in funzione della posizione dell'utente, delle superfici vetrate e delle superfici opache dell'ambiente. Nel terzo caso si ipotizza l'utilizzo delle schermature ad una temperatura di 25°C, ovvero un grado più basso rispetto al valore che provoca l'accensione dell'impianto di climatizzazione. Ovviamente si tratta di approssimazioni, anche notevoli, in quanto si cerca di sistematizzare delle operazioni comportamentali, che variano da utente ad utente.

Tabella 3 Risultati delle simulazioni per diversi tipi di vetro, esposizione e protezione solare

Configurazione	Energia netta [kWh/m2 anno]			
	S-O	NO	S-E	SE p. rosa
Low-e comfort vis int	48.5	20.7	19.1	24.7
Low-e comfort vis est	23.6	13.2	14.3	17.1
Low-e comfort termico est	23.8	11.5	14.0	16.7
SF comfort vis int	39.5	17.4	17.3	22.0
SF comfort vis est	22.0	12.2	13.8	16.7
SF comfort termico est	22.1	10.9	13.5	16.3
	Risparmio percentuale			
SF comfort vis int	18.5	16.0	9.4	10.8
SF comfort vis est	6.6	7.6	3.4	2.6
SF comfort termico est	6.9	5.6	3.8	2.8

La tabella 3 riporta il carico di energia netta di raffrescamento ed il risparmio conseguibile utilizzando un vetro emissivo a filtro solare per le 4 stanze selezionate. La figura 3 riporta la riduzione percentuale del carico di raffrescamento. Emergono alcuni risultati che necessitano un approfondimento. Innanzitutto il notevole carico per l'esposizione sud-ovest, ovvero il fronte opposto rispetto a Via Molise, è legato alle modeste dimensioni della stanza, con carichi interni normalizzati evidentemente più alti, ed alle grandi superfici vetrate con esposizione critica per la stagione estiva. Le altre tre stanze hanno un fabbisogno di energia netta piuttosto simile, mentre la stanza con esposizione sud ovest arriva ad averlo più che raddoppiato rispetto alla media delle tre precedenti in alcune configurazioni.

Un'altra notevole differenza è legata alla posizione della protezione solare. Nel caso di tenda esterna infatti i consumi assoluti subiscono una drastica riduzione stimabile mediamente tra il 30 ed il 50%, indipendentemente dal tipo di vetro e dalla tipologia di controllo della protezione solare. La posizione dello schemro in questa configurazione fa sì che il contributo aggiuntivo fornito dal vetro a protezione solare assuma un'importanza secondaria. Importanza non trascurabile tuttavia per le esposizioni verso ovest (incluse le stanze con affaccio su via Veneto), visto che la riduzione si assesta intorno al 6-7%. Valori intorno al 3% sono invece riscontrati per le esposizioni sud-est sulle stanze affacciate su via di San Basilio.

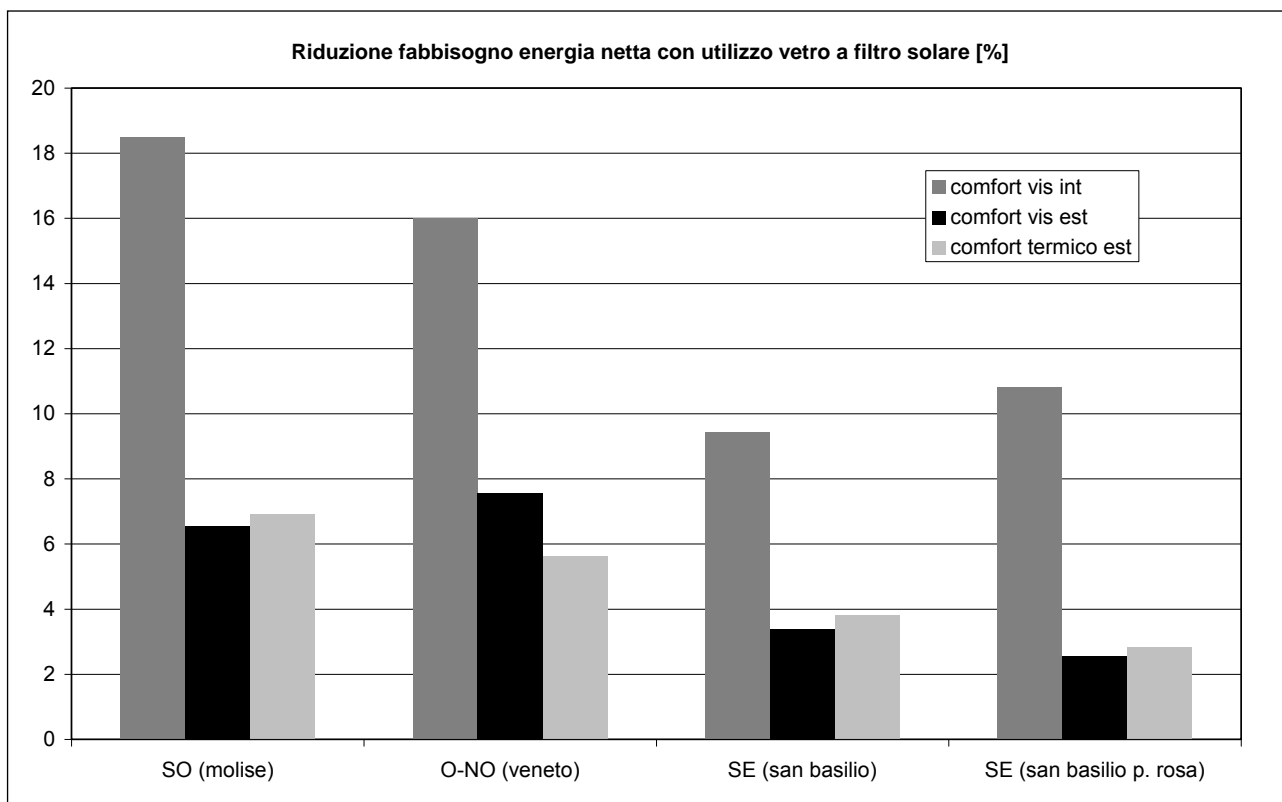


Figura 3 Riduzione del fabbisogno energetico con l'utilizzo di un basso emissivo a filtro solare

### 2.5.2. Apporti solari annuali e nella stagione di raffrescamento

La modellazione degli edifici negli strumenti di calcolo segue inevitabilmente una serie di approssimazioni. I dati disaggregati hanno mostrato il contributo prevalente degli apporti termici interni, dovuti all'illuminazione artificiale, alla presenza degli utenti e, soprattutto, ai notevoli carichi interni legati alla strumentazione di lavoro, che include: personal computer, stampanti, monitor ed altri accessori che producono inevitabilmente calore. Appare tuttavia opportuno notare l'impatto di questo tipo sul fabbisogno di energia netta per raffrescamento. I risultati sono presentati nella figura 4, in cui si riportano le riduzioni percentuali degli apporti solari all'interno delle 4 stanze selezionate. Si noti come la riduzione di circa il 30% del fattore solare con l'utilizzo di un vetro a filtro solare porta una riduzione percentuale maggiore degli apporti solari all'interno dell'edificio, su base annuale. Le riduzioni percentuali variano tra un minimo del 35 ed un massimo del 45% rispetto ad una configurazione omologa. I risultati non sono dissimili se si fa riferimento alla sola stagione di raffrescamento, escludendo così gli apporti solari di cui l'edificio dispone durante la stagione invernale. Facendo infatti riferimento alla stanza affacciata su via di San Basilio, la riduzione degli apporti solari in estate è circa il 39% per il vetro a filtro solare accoppiato ad una tenda esterna con controllo sulla temperatura ed una tenda interna con controllo di abbagliamento. Tale riduzione scende al 32% per una tenda esterna con controllo di abbagliamento. Questi risultati sono di grande interesse nel momento in cui sarà possibile modulare ed ottimizzare gli apporti termici interni, con un'utenza più informata su un comportamento più consapevole sul risparmio energetico.

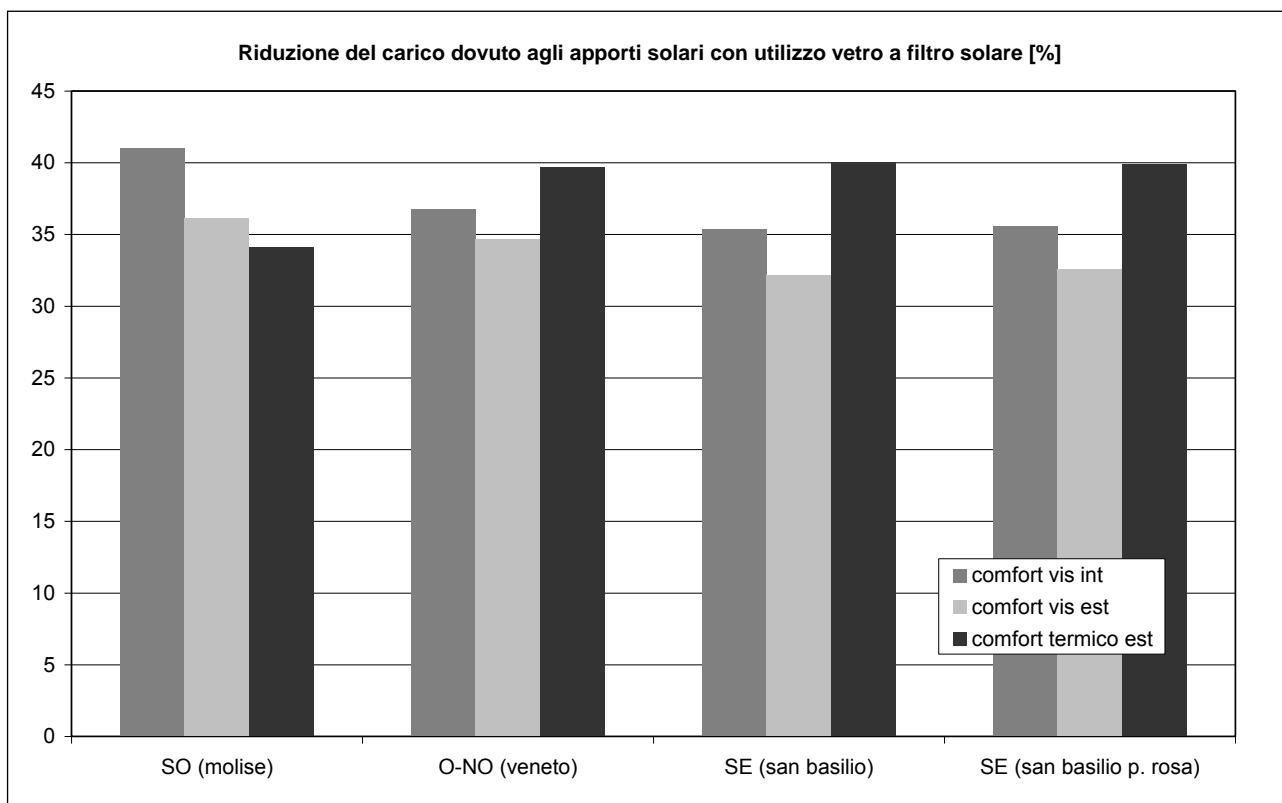


Figura 4 Riduzione degli apporti solari con vetro a filtro solare

### 2.5.3. Impatto del set-point locale di temperatura

L'utilizzo di macchine split gestibili direttamente dall'utente consente di garantire le condizioni di comfort percepito dall'utente stesso ma, allo stesso tempo, può avere un notevole impatto sui consumi energetici dell'edificio e sulle domanda di picco, particolarmente critica durante la stagione estiva. In questa sede si ritiene soltanto fare un esempio sulle conseguenze energetiche di un comportamento non consapevole da parte degli utenti dell'edificio. La figura 5 mostra la variazione di energia netta per raffreddamento in funzione di una temperatura di set-point dell'impianto decrescente, da 26 a 23°C. L'ambiente di riferimento è quello dell'edificio Piacentini affacciato su via di San Basilio. Gli istogrammi rappresentano i consumi stimati per le due tipologie di vetro, il basso emissivo e quello a filtro solare. Le due curve rappresentano l'incremento percentuale dell'energia netta in funzione delle temperature impostate. L'impatto è significativo, dal momento che un solo grado implica un aumento del 10%, valore che sale a poco meno del 50% e addirittura ad oltre il 70% per riduzione del set-point di 2 o 3 gradi, rispetto ai 26°C fissati dalla normativa vigente.

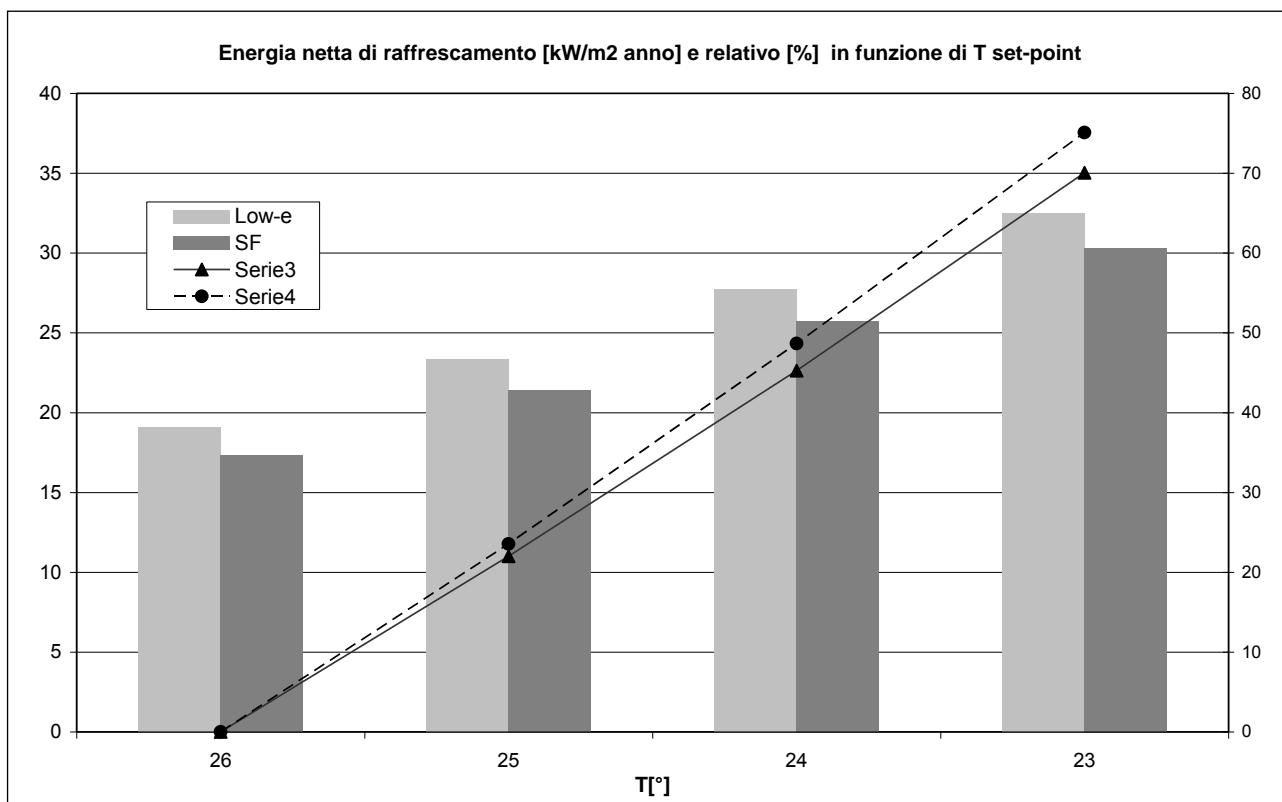


Figura 5 Impatto del set-point di temperatura interno sulle prestazioni energetiche dell'edificio

## 2.6 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

L'impatto delle diverse vetrature è stato valutato attraverso la comparazione dei risultati con le due tipologie in esame. I calcoli sono stati effettuati utilizzando l'interfaccia Design Builder che si appoggia al motore di calcolo EnergyPlus, modello riconosciuto a livello internazionale che consente l'analisi dell'edificio in regime orario. Sulla base dei risultati delle simulazioni e dei sopralluoghi finora effettuati si possono riassumere le seguenti conclusioni:

1. Con l'attuale sistema di impianti energetici, il controllo solare appare l'unica strategia di contenimento dei consumi attraverso la riqualificazione dell'involucro edilizio, dal momento che il maggiore isolamento contribuisce in minima parte a tale obiettivo.
2. I vetri a filtro solare, ovvero vetri basso emissivi ma con fattore solare ridotto, consentono significativi risparmi di energia in tutti quei casi in cui gli utenti non azionano gli schermi esterni, ma si proteggono dal surriscaldamento e dall'abbagliamento utilizzando le tende interne. Il fabbisogno netto è ridotto per percentuali tra 10 e 20%. Trattandosi di energia netta, i valori assoluti diventano più elevati passando all'energia primaria di origine elettrica. Questi vetri garantiscono migliori performance anche utilizzando la tenda esterna, ma in questo caso i benefici sono modesti. È importante notare che il delta costo di questi prodotti, si riduce in molti casi a pochi euro in più rispetto al vetro basso emissivo convenzionale. Considerato il costo globale dell'intervento, con serramenti di elevata qualità architettonica, questo delta costo può considerarsi trascurabile (+1-2%). La soluzione del vetro a filtro solare può spingersi verso soluzioni radicalmente più innovative, in questo caso il delta costo è leggermente più significativo (+5-10%). Per l'orientamento e la disponibilità di radiazione solare, l'utilizzo della tecnologia non dà benefici che a partire dal terzo piano dell'edificio. Si noti che questa tipologia di vetrocamera non differisce dal classico vetrocamera o basso emissivo in termini di percezione all'occhio umano ed anche la trasmissione luminosa è molto elevata, al punto di rendere non significativa la differenza di consumi per l'illuminazione artificiale.
3. Questa soluzione è consigliata anche per spazi non climatizzati ma di frequente passaggio, ad esempio le scale a servizio dell'edificio che si trovano presso l'ingresso di via Molise. Le rampe ricevono grandi apporti solari attraverso le ampie superfici trasparenti e il controllo solare garantisce livelli termici più accettabili, senza impattare in modo significativo sulla disponibilità di luce naturale.
4. Appare fondamentale un coinvolgimento dell'utenza per ottimizzare gli usi finali di energia. Ad esempio, l'importanza di schermare i serramenti solo quando è necessario, per ridurre i consumi per raffrescamento, evitando di innalzare inutilmente i costi per l'illuminazione artificiale. Appare altresì fondamentale istruire i lavoratori sui corretti set-point di temperatura, pochissimi gradi in meno determinano un'impennata dei consumi; porte aperte disperdono energia, lo stesso per le finestre fanno socchiuse con impianti in funzione. Un altro aspetto da considerare è l'utilizzo adeguato dello stand-by delle macchine, in modo da ridurre al minimo gli apporti termici da apparecchiature.
5. Il contributo degli schermi è fondamentale. Le simulazioni hanno evidenziato l'importanza dei sistemi di controllo per ottimizzare i costi di esercizio, garantendo le condizioni di comfort. Questi aspetti dovranno essere approfonditi ad hoc, poiché hanno delle implicazioni economiche non indifferenti. In generale si rileva uno stato di deterioramento di molte delle protezioni solari, sia per la parte tessile che per la movimentazione meccanica. Sono da valutare sistemi di movimentazione meccanica azionati automaticamente da sensori posti in prossimità dell'utenza (luxmetri, piranometri, termometri), al fine di garantire le condizioni di comfort in modo puntuale e ridurre i consumi di energia.
6. In fase di ristrutturazione è importante sottolineare l'importanza dei sistemi di controllo locali, non necessariamente gestiti in modo completo da un sistema intelligente, che siano in grado di gestire la presenza dell'utenza sul luogo di lavoro, la disponibilità di luce naturale e l'integrazione elettrica, la movimentazione meccanica dei sistemi di protezione solare.

I punti da 1 a 4 sono perseguibili con limitati impegni economici e seguendo le azioni di riqualificazione secondo i programmi già definiti all'interno di MSE. I punti 5 e 6 implicano degli impegni economici e tecnici decisamente più impegnativi, per i quali ENEA fornisce la disponibilità a collaborare ed il necessario supporto tecnico.

### 3. MONITORAGGIO DEI CONSUMI ELETTRICI

#### 3.1 INTRODUZIONE

Al fine di individuare azioni e/o interventi per contenere i consumi elettrici del palazzo Piacentini, è stata avviata una attività di monitoraggio dei consumi elettrici; le dimensioni considerevoli dell'immobile, la disponibilità limitata degli strumenti di misura (in relazione al numero totale dei quadri elettrici) e la tempistica richiesta per completare i lavori, hanno indirizzato la scelta verso un monitoraggio a campione dei consumi elettrici. Specificatamente il monitoraggio ha interessato solamente alcuni quadri elettrici particolarmente significativi, in grado di consentire valutazioni estendibili anche alle zone non oggetto di monitoraggio.

In particolare la scelta dei quadri campione è avvenuta a valle di un attento studio delle planimetrie e della rete elettrica dell'edificio e di una serie di interviste ai tecnici del ministero che hanno fornito utili informazioni per ricostruire i profili di utilizzo dell'immobile e individuare i quadri più idonei.

#### 3.2 CENNI SULLE GRANDEZZE ELETTRICHE

Al fine di agevolare la lettura della presente relazione si ritiene utile fornire alcune brevi informazioni sulle grandezze elettriche prese in esame nell'attività di monitoraggio.

La fornitura di energia alternata trifase è caratterizzata dalla potenza utilizzata, in base alla quale viene calcolata l'energia consumata e la tariffa da corrispondere. Si definiscono tre tipologie di potenze: attiva, reattiva e apparente:

- potenza attiva (P): rappresenta la quantità di energia trasformata (nell'utilizzatore) dalla forma elettrica ad altra forma (termica, meccanica, luminosa, ecc.) in un determinato intervallo di tempo; si misura in Watt.
- potenza reattiva (Q): riguarda l'energia che viene alternativamente assorbita e restituita dal campo magnetico (circuiti induttivi) o dal campo elettrico (circuiti capacitivi). Si misura in Var (Voltampere reattivi)
- potenza apparente (S): non ha un significato particolare, ma è utile poiché è legata al valore della corrente effettivamente in gioco nel circuito in esame. Si misura in Voltampere (VA).

La tensione (sinusoidale) e la conseguente corrente pur avendo la stessa frequenza possono essere sfasate di un angolo  $\phi$ , detto angolo di sfasamento; tale sfasamento, determinato dalla potenza reattiva richiesta da alcune macchine (motori, compressori, lampade a scarica, etc.) determina un conseguente assorbimento inutile (in quanto non assorbita per generare lavoro, ma ai fini funzionali dell'apparecchiatura) di corrente dalla rete elettrica, con conseguente perdite aggiuntive sulla stessa rete di distribuzione.

La potenza reattiva assorbita è tanto maggiore quanto più grande è lo sfasamento  $\phi$  tra tensione e corrente. Quando l'energia reattiva supera un valore di soglia, l'azienda distributrice applica una penale determinata dal valore assunto dal cosiddetto  $\cos \phi$  o fattore di potenza.

Il fattore di potenza è il rapporto tra la potenza attiva e quella apparente. Questo termine è importante perché l'ente distributore del servizio ha stabilito che:

- se  $\cos \phi < 0,7$  è obbligatorio il rifasamento dell'impianto (ovvero una serie di azione che aumentano il fattore di potenza), pena la cessazione della fornitura;
- se  $0,7 < \cos \phi < 0,9$  viene maggiorato il costo dell'energia;
- se  $\cos \phi > 0,9$  nessun provvedimento.

L'AEEG, con delibera n°5/04, ha regolato i corrispettivi da richiedere al cliente per l'energia reattiva prelevata, come riportato nella tabella che segue:

Tabella 4 Corrispettivi per l'energia reattiva

Tipologia di contratto di cui all'articolo 2, comma 2.2 del Testo integrato	Energia reattiva compresa tra il 50 e il 75% dell'energia attiva (centesimi di euro/kvarh)	Energia reattiva eccedente il 75% dell'energia attiva (centesimi di euro/kvarh)
lettera a) Utenze domestiche in bassa tensione	3,23	4,21
lettera b) Utenze in bassa tensione di illuminazione pubblica	3,23	4,21
lettera c) Altre utenze in bassa tensione	3,23	4,21
lettera d) Utenze in media tensione di illuminazione pubblica	1,51	1,89
lettera e) Altre utenze in media tensione	1,51	1,89
lettera f) Utenze in alta e altissima tensione	0,86	1,10

### 3.3 RILIEVI STRUMENTALI DEI PRELIEVI DI ENERGIA ELETTRICA DI PALAZZO PIACENTINI

Al fine di effettuare una corretta diagnosi degli assorbimenti di energia elettrica, si è provveduto ad un rilievo strumentale del profilo orario dei principali centri di consumo presso Palazzo Piacentini. E' stata inoltre condotta una indagine viva per individuare le potenze elettriche dei corpi illuminati installati nelle relative stanze e corridoi di ciascun piano, nonché la tipologia di ognuna di essi. Le attuali utenze elettriche, installate presso Palazzo Piacentini, sono alimentate da due trasformatori MT/bt, lavoranti in parallelo e installati presso la cabina di consegna della rete ACEA MT, posizionata al piano scantinato. Al piano scantinato è posizionato anche il quadro generale di bassa tensione e gli interruttori per il sezionamento dei montanti di ciascun piano di Palazzo Piacentini. In particolare nella seguente tabella è schematizzata la distribuzione elettrica delle colonne montanti e dei relativi quadri di piano:

Tabella 5 Colonne montanti

Colonna montante	Distribuzione quadri elettrici Palazzo Piacentini								
	Terra	Piani							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
I	QE1PCM1	QE1PCM1	QE1PCM1	QE1PCM1	QE1PCM1	QE1PCM1	QE1PCM1	QE1PCM2	QE1PCM3
II	QE2PCM2	QE2PCM2	QE2PCM2	QE2PCM2	QE2PCM2	QE2PCM2	QE2PCM2	QE2PCM3	QE2PCM4
III	QE3PCM3	QE3PCM3	QE3PCM3	QE3PCM3	QE3PCM3	QE3PCM3	QE3PCM3	QE3PCM4	QE3PCM5
IV	QE3PCM4	QE4PCM4	QE4PCM4	QE4PCM4	QE4PCM4	QE4PCM4	QE4PCM5		

Come si evince dalla precedente tabella la distribuzione dell'energia elettrica per ciascun piano avviene tramite 4 colonne montanti. In particolare le linee appartenenti alle colonne montanti 3 e 4 vengono derivate dai relativi interruttori installati presso il quadro posto subito a valle del quadro generale nel piano scantinato (Figura 6). Le linee appartenenti alla colonna montante 1 e 2 vengono derivate dal quadro elettrico posizionato al piano garage sul lato di via Veneto (Figura 7).

Il quadro elettrico del CED (Centro Elaborazione Dati), posto a piano terra, ha una alimentazione indipendente, derivata dal quadro posto al piano interrato nello stesso locale del quadro generale. Il CED è alimentato da due linee indipendenti poste sotto gruppo di continuità, il quale, come riferito dai tecnici, non garantisce attualmente una adeguata autonomia al centro di calcolo.

La posizione degli strumenti di misura, il periodo di monitoraggio ed in particolare le utenze monitorate, sono di seguito specificate.

Tabella 6 : Strumenti di misura

Strumento	Piano	Linea	Quadro elettrico e Colonna montante	periodo di monitoraggio	Periodo di integrazione	Pinza amperometrica
s1	Edificio	Generale		9 Luglio - 3 Agosto	15 min	3000 A
s2	II Piano	Luce	Q2PCM2	20 Luglio -29 Luglio	15 min	100 A
s3	II Piano	FM	Q2PCM2	9 Luglio - 19 Luglio	15 min	500 A
s4	IV Piano	Luce	Q4PCM4	29 Luglio -03 Agosto	15 min	100 A
s5	IV Piano	FM	4PCM4	29 Luglio -03 Agosto	15 min	500 A
s6	Terra	CED (generale)	CED	29 Luglio -03 Agosto	15 min	500 A
s7	Vano Ascensore	A1	Centrale (vedi relazione ascensori)	21 Luglio- 26 Luglio	15 min	100 A

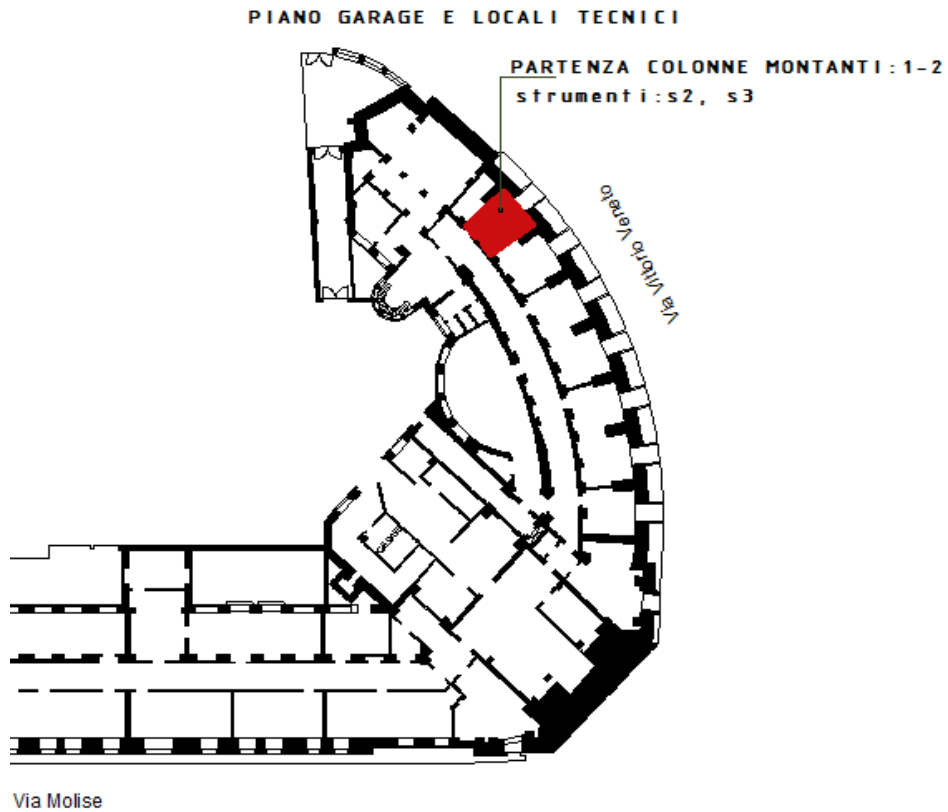


Figura 6 Partenza colonne montanti 1 e 2 piano garage

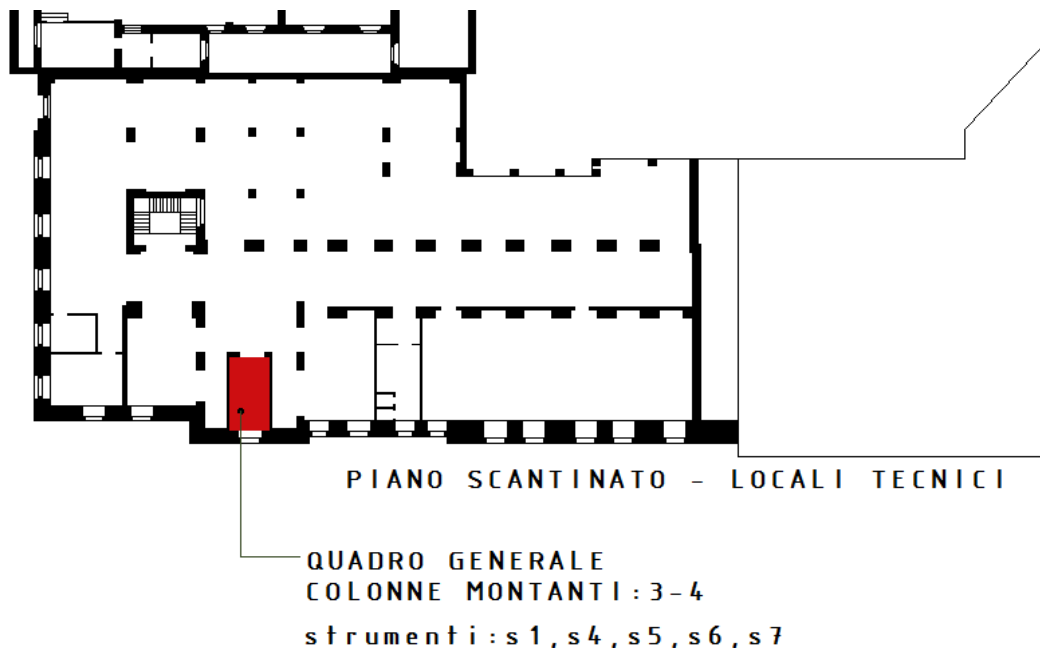


Figura 7 Partenza colonne montanti 3 e 4 piano scantinato

### 3.4 APPARECCHI DI MISURA

Una corretta diagnosi energetica dell'edificio non può prescindere dall'utilizzo di sistemi di misura e di controllo che permettano una analisi dettagliata dei consumi, divisi per reparto, al fine di individuare chi consuma, quanto e perché.

Il risparmio energetico può essere valutato e dimostrato solo se è possibile avere dati coerenti fra di loro o comunque confrontabili nel tempo. Risulterebbe poco accurata una diagnosi i consumi fra le bollette di mesi diversi, poiché è impossibile sapere quali condizioni di funzionamento si sono avute nell'arco del mese; perciò occorre avere dati più dettagliati possibile in modo da risalire dai consumi all'attività che in quel momento si stava svolgendo. In ogni caso, qualunque considerazione sul risparmio deve essere fatta in funzione di quello che l'ente erogatore di energia elettrica (ACEA) fa pagare, quindi in funzione di quanto compare sulla bolletta. I parametri che incidono su quest'ultima sono tre:

- La potenza contrattuale,
- il fattore di potenza;
- il consumo in kWh;
- consumo in kVARh.

Tutte le successive considerazioni terranno ben presente questi quattro precedenti punti.

L'indagine è stata condotta con l'ausilio di "energy meter" installati come riportato di seguito, in corrispondenza dei principali quadri elettrici dell'edificio "Palazzo Piacentini". Lo strumento, consentendo la gestione oraria dei dati misurati in relazione alle fasce tariffarie e all'ora del giorno, permette l'individuazione di profili di consumo anomali rispetto all'attività tipica svolta all'interno dell'edificio e, a seguito di una analisi critica, di possibili interventi per limitare i consumi in eccesso.

Il sistema di monitoraggio è basato su multimetri multifunzione che consentono di misurare tutte le grandezze elettriche relative alla rete monitorata. La connessione dei multimetri alla rete elettrica è stata realizzata attraverso l'ausilio di pinze amperometriche (Trasformatori Amperometrici), le quali consentono l'innesto alla linea senza alcun disservizio per le utenze alimentate (ad eccezione del quadro ascensore, dove non è stato possibile prelevare il segnale di tensione senza l'interruzione dell'alimentazione per qualche minuto, dovuto al fatto che lo stesso quadro si trova sotto manutenzione straordinaria).



Figura 8: strumento di misura e pinza amperometrica

In particolare per la misura in esame sono stati utilizzati 4 “Energy meter” tipo X3M Box trasportabile della Electrex con le seguenti caratteristiche:

- Misure RMS fino alla 31 a armonica.
- Misure su reti trifase squilibrate.
- RAM interna Flash disk da 2 MB; 20 anni di ritenzione dati. Organizzazione dei dati in files di records con indicazione data e ora di creazione e ultima modifica. Accesso al disco tramite funzioni Modbus “Write General File” e “Read General File”.
- Orologio/calendario real time con gestione automatica delle time-zones (GMT + DST). Gestisce inoltre le regole per il passaggio automatico da ora solare (Standard Time) ad ora legale (Daylight Saving Time) e viceversa.
- Classe 1 sull’energia secondo CEI EN 61036.
- Cambio scala automatico sulle correnti.
- Valore sul tempo di integrazione programmabile da 1 a 60 min.
- Registrazione delle curve di carico giornaliera fino a 60 giorni di dati.
- Ingressi di tensione 600 Vac - Ingressi di corrente max 5A (isolati).
- Programmabile per misure in bassa o media o (con TA e TV programmabili) per connessioni stella o triangolo su rete simmetrica o asimmetrica, equilibrata o disequilibrata monofase, bifase, con 1, 2 o 3 TA.
- Contatori interni di energia con misura bidirezionale su quattro quadranti (KWh – KVArh import/export).
- Due uscite digitali per impulsi (Din 43864 27 Vdc 27 mA) 1000 Imp/kWh (è possibile associare a tali uscite allarmi su misure effettuate dallo strumento).

Per la misura oraria della corrente assorbita sono state utilizzate 4 tipologie di pinze amperometriche con diversa portata in funzione dell’entità del carico monitorato:

- 1 set di tre pinze (una per fase) da 100 A,
- 2 set di tre pinze da 500 A
- 1 set di tre pinze da 3000 A

Si riportano di seguito le caratteristiche di targa delle pinze amperometriche da 500 A:

- Range di misura: da 1 A a 500 A
- Rapporto di trasformazione: 500/1
- Classe di precisione: 1%
- Carico: da 0,5 VA a 8 VA

- Errore massimo: 2% (della lettura)
- Range di frequenza: da 40 Hz a 5000 Hz
- Range di temperatura: da -10°C a +50°C
- Tensione di utilizzo: 650 V
- Classe di protezione: Classe II IEC 348
- Tenuta dielettrica: 4 kV 50 Hz 1 min.
- Peso: 0,56 kg.

Lo strumento è in grado di fornire un quadro completo delle grandezze elettriche in tempo reale, nonché report storici dettagliati. Per ciascun punto di misura sono stati monitorati e acquisite le seguenti grandezze:

1. Totale energia attiva consumata su base giornaliera e settimanale
2. Totale energia reattiva consumata su base giornaliera e settimanale
3. Totale energia apparente consumata su base giornaliera e settimanale
4. Tensione di alimentazione del carico (con contenuto armonico )
5. Corrente di carico di ciascuna fase (con contenuto armonico)
6. Potenza attiva media e istantanea
7. Potenza reattiva media e istantanea
8. Potenza apparente media e istantanea
9. Fattore di potenza medio e istantaneo.

Al fine di individuare un possibile squilibrio nell'impianto o un mancato rifasamento, al momento dell'inserzione degli strumenti è stato visualizzato il vettorimetro, che fornisce in tempo reale i vettori di tensioni e correnti per ciascuna fase individuandone i relativi moduli e sfasamenti.

Dall'analisi del vettorimetro è stato possibile individuare lo squilibrio che caratterizza la distribuzione delle utenze elettriche delle tre fasi, generando una corrente sul conduttore di neutro che per reti equilibrate è nulla. L'entità dello squilibrio è tanto maggiore quanto più elevata è la corrente che attraversa il conduttore di neutro.



Figura 9: strumento di misura ed acquisizione in opera

### 3.5 INDIVIDUAZIONE QUADRI PER MONITORAGGIO

Come riferitoci dai tecnici e come verificato durante i sopralluoghi effettuati, parte dell'edificio è stato recentemente oggetto di un intervento sulla rete elettrica che ha interessato il II piano e, attualmente coinvolge il VI; in particolare, per ciascun quadro elettrico in cui è suddiviso ogni piano è stata eseguita l'effettiva separazione della zona di rete elettrica che alimenta i carichi per illuminazione da quella che alimenta le prese, per cui è possibile monitorare separatamente le due tipologie di utenze. La stessa cosa non è fattibile nei rimanenti piani in quanto nel quadro relativo all'illuminazione incidono anche utenze di altro tipo (condizionatori, etc). Per tali piani è già pianificato un intervento di razionalizzazione della linea elettrica.

Per la situazione ora esposta si è deciso di applicare gli strumenti di misura al quadro generale elettrico dell'intero edificio (illuminazione e prese) e alle colonne montanti principali dei piani II e IV, rappresentativi rispettivamente delle zone di edificio già oggetto di intervento e della condizione pre-intervento.

### 3.6 DIAGNOSI ENERGETICA QUADRO GENERALE

Si è provveduto ad analizzare l'andamento dei consumi elettrici del quadro generale per ricostruire l'andamento generale dei carichi elettrici dell'immobile.

Il grafico sottostante visualizza il trend delle potenze attiva media (Pm), reattiva media (Qm) e apparente media (Sm) del quadro generale.

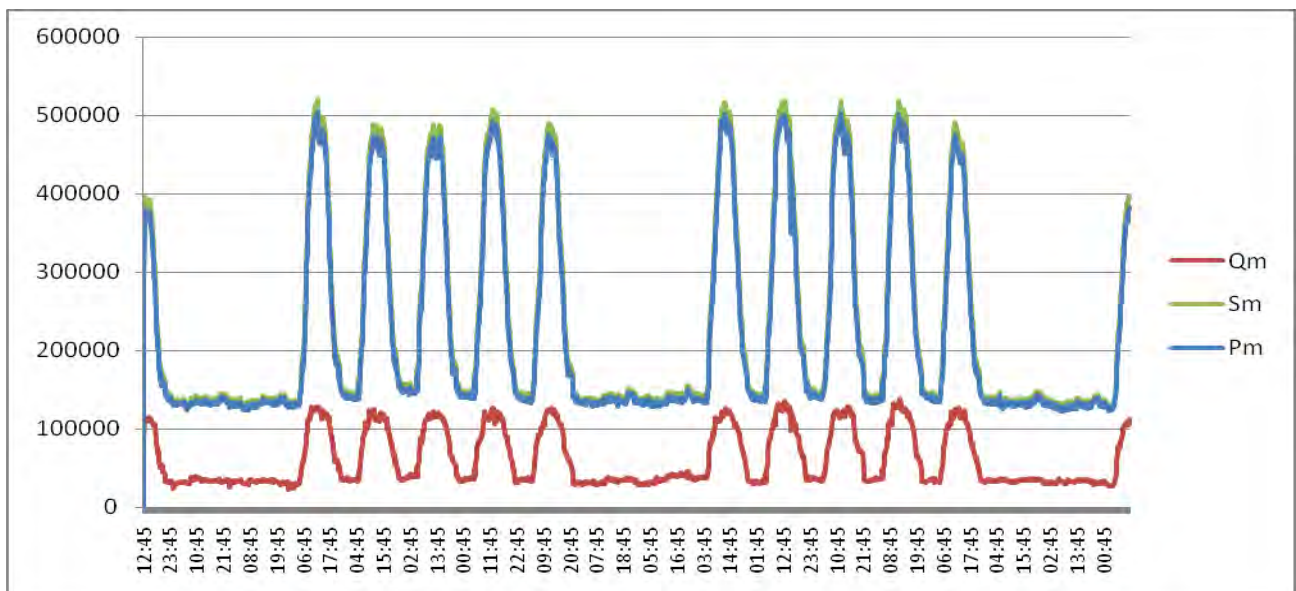


Figura 10 Potenze attiva media (Pm), reattiva media (Qm) e apparente media (Sm) del quadro "generale".

Si evidenzia subito un consumo nelle ore diurne extralavorative e notturne che appare considerevole (circa 120 kW) in rapporto alla potenza massima nelle ore lavorative (circa 500 kW). Per questo motivo sono state avviate una serie di azioni per comprendere la natura di tale "soglia" di consumo, onde poter proporre interventi atti a minimizzarne il valore.

I sopralluoghi e le interviste effettuate con i tecnici del Ministero hanno consentito di formulare alcune ipotesi sulla causa di tale impegno di potenza elettrica che hanno indirizzato i monitoraggi. Sicuramente una quota parte è imputabile ai punti luce di tutte quelle aree che devono rimanere illuminate per ragioni di sicurezza (corridoi, garage, postazioni personale di sorveglianza etc.) e alle apparecchiature che rimangono in standby (fotocopiatrici, stampanti etc). Un'altra parte rilevante è fornita dal Centro Elaborazione Dati (CED), i cui consumi sono stati monitorati e analizzati come di seguito riportato.

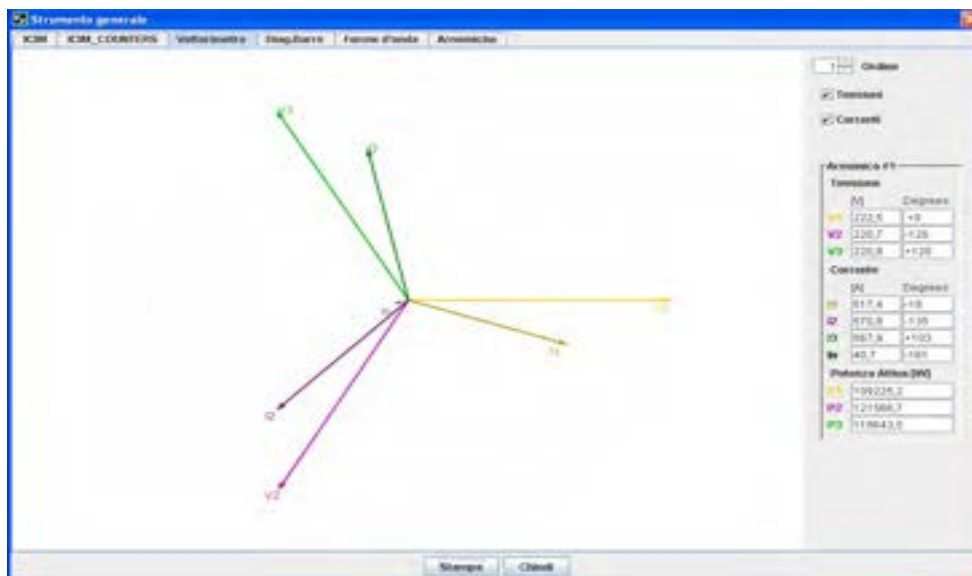


Figura 11 Vettorimetro quadro generale

Dall'analisi del grafico emerge un consumo di energia reattiva che risulta inferiore alla soglia minima (50% della potenza attiva) per cui la Direttiva AEEG 5/04 prevede l'applicazione di un corrispettivo. Non sono, quindi, necessarie azioni per ridurre l'energia reattiva prelevata. Analogamente non si rendono necessari interventi per ottimizzare il fattore di potenza in quanto il suo andamento, di seguito riportato, evidenzia un valore sempre superiore al limite per cui è obbligatorio provvedere al rifasamento e, in ogni caso, tale da giustificare azioni per incrementarne il valore<sup>1</sup>.

Figura 12 Fattore di potenza del quadro "generale".

Analizzando il diagramma in cui sono rappresentati i vettori tensione e corrente, si nota come i carichi distribuiti su ciascuna fase sono squilibrati. Come sarà specificato meglio nel prosieguo, l'inconveniente maggiore di una tale situazione è lo sfruttamento non ottimale della trasmissione della potenza di linea. In ogni caso per meglio comprendere le cause di tale fenomeno vanno analizzati in dettaglio i quadri elettrici di piano.

### 3.7 DIAGNOSI ENERGETICA PIANO SECONDO

Come riportato nei paragrafi precedenti, l'impianto elettrico del secondo piano è stato oggetto di intervento di manutenzione straordinaria, per cui è stato possibile monitorare distintamente il carico elettrico per illuminazione e per prese in quanto le due tipologie di utenze sono servite da linee separate. In particolare, come si evince dalla precedente tabella è stata sottoposta a monitoraggio la parte del secondo piano servita dalla colonna montante 2; si presuppone comunque che le altre due colonne montanti che alimentano le restanti utenze abbiano un comportamento analogo.

Al fine di poter correlare i consumi monitorati con le potenze installate, sono state calcolate le effettive potenze per l'illuminazione del corridoio e degli uffici, appartenenti alla colonna montante monitorata e alla restante parte del secondo piano come riportato nella tabella 7.

Si riporta di seguito la ripartizione delle zone del piano secondo in funzione delle colonne montanti da cui sono derivate le alimentazioni.

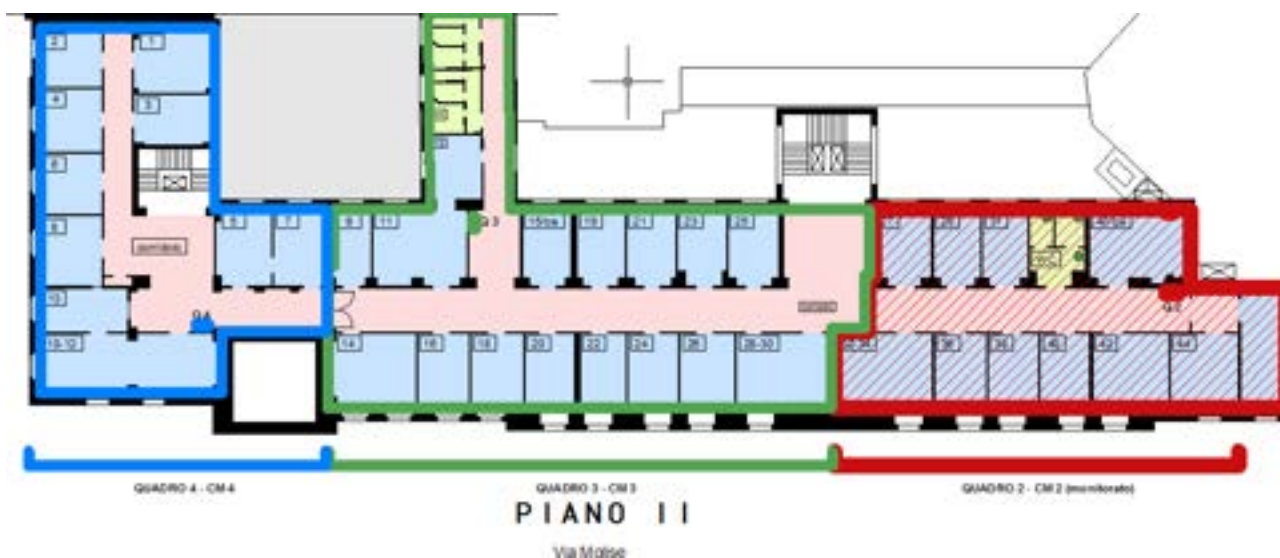


Figura 13: Piano secondo - distinzione zone alimentate dalle tre colonne montanti

Come riferito dai tecnici l'impianto elettrico del secondo piano, oltre ad essere stato oggetto di ristrutturazione, ha subito un intervento migliorativo da un punto di vista della gestione dei consumi, in particolare :

- l'illuminazione del corridoio viene dimezzata dalle 22:00 alle 06:00 del giorno dopo (rimane accesa una lampada ogni 2).
- l'illuminazione dei bagni è azionata da un sensore di presenza

Il monitoraggio delle utenze del secondo piano ha permesso di individuare, oltre alla presenza di carichi elettrici anomali, anche uno squilibrio nella distribuzione dei carichi elettrici nelle tre fasi. Tale squilibrio determina una corrente sul conduttore di neutro, dalla cui entità dipende la variazione della tensione di alimentazione delle singole utenze e il conseguente eventuale malfunzionamento.

Tabella 7 Potenze installate per illuminazione II piano

	AREA MONITORATA (Q2,CM2)			AREA RIMANENTE (Q3,CM3; Q4,CM4)			TOTALE (Q2,CM2; Q3,CM3; Q4,CM4)		
	Superficie	Potenza installat	Potenza installat	Superfici e	Potenza installat	Potenza installat	Superfici e	Potenza installat	Potenza installat
	m <sup>2</sup>	W	w/ m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	W	w/ m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	W	w/ m <sup>2</sup>
Uffici	267,12	2344	8,78	56,76	3744	6,58	835,88	6088	7,30
Corridoi	81.52	864	10	205,8	1476	7,7	287,	2340	8,42
Servizi igienici	19.68	54	2,4	31,4	3744	3,8	50,2	162	3,94
Totale	368.32	3262	8,86	805,68	5328	6,61	1174	8590	7,32

### 3.7.1 Analisi energetica

#### Illuminazione

Nel seguente diagramma si riporta l'andamento orario della potenza attiva (W) totale assorbita dalla linea luce monitorata.

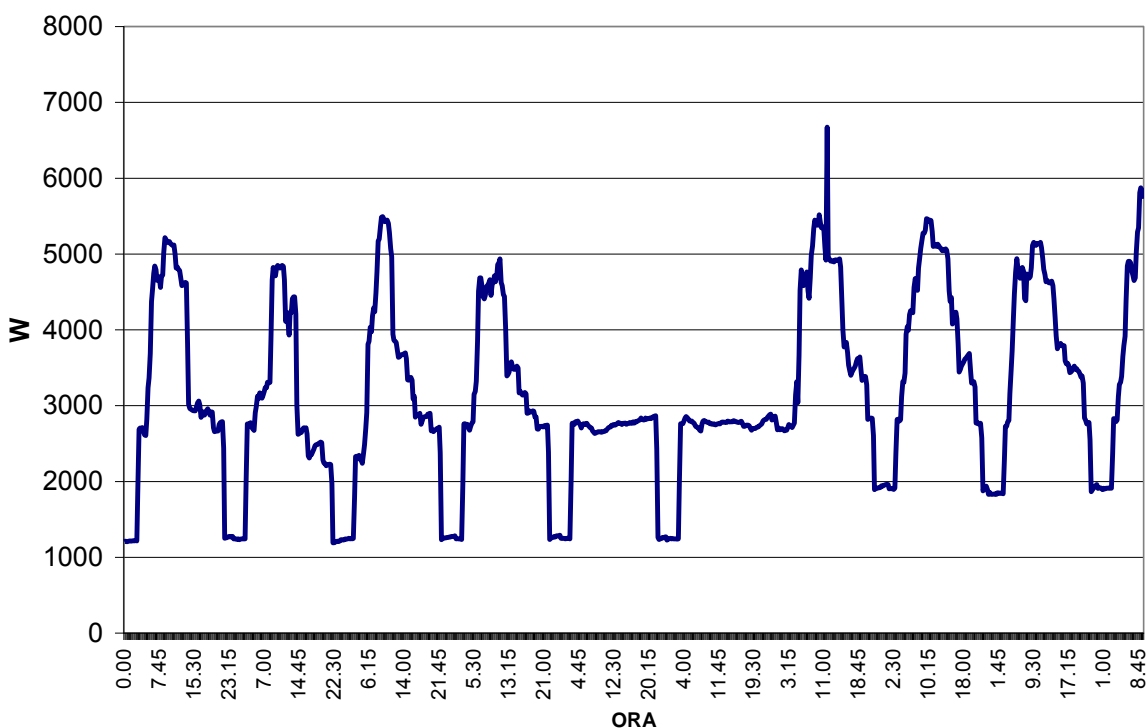


Figura 14: Monitoraggio linea luce – Totale potenza attiva : secondo piano colonna montante 2: 20 Luglio – 29 Luglio 2010

Il carico elettrico per illuminazione presenta una base nelle ore notturne non inferiore a 1,2 kW e una base nel fine settimana di circa 2,8 kW. La potenza di picco assorbita è di circa 5,5 kW.

Da una prima analisi dei consumi orari emerge un assorbimento di energia elettrica anomalo sia nelle ore diurne che nelle ore notturne non spiegabili sulla base delle attuali conoscenze sulla tipologia di utenza.

Da un rilievo visivo, infatti, la potenza installata per illuminazione dell'area monitorata è di circa 3,26 kW (come riportato nella precedente tabella), mentre dal diagramma orario settimanale la potenze assorbita per solo illuminamento, nelle ore di massima attività, è circa 5 kW con punte di prelievo di circa 5,5 kW. Inoltre, dall'analisi dei corpi illuminanti installati nella porzione di corridoio afferente al quadro monitorato (24 lampade a fluorescenza da 36 W, stima visiva), la potenza installata non dovrebbe superare 0,88kW che risulta essere ben al di sotto del "base load" monitorato:

- notturno circa 1,2 kW
- diurno sabato e domenica circa 2,8 kW .

Come riferito dai tecnici, l'interruttore orario del quadro di piano parzializza l'illuminazione del corridoio dalle ore 22:00 alle 06:00 del mattino (spegnendo il 50% degli apparecchi illuminanti). Il consumo energetico notturno per illuminazione non può essere imputato alla sola illuminazione del corridoio in quanto, oltre ad essere superiore alla reale potenza installata, presenta un assorbimento variabile in funzione dei giorni della settimana monitorata. Le cause delle anomalie evidenziate possono essere individuate solo a seguito di una accurata e capillare campagna di misura che potrà essere oggetto di una seconda fase di studio.

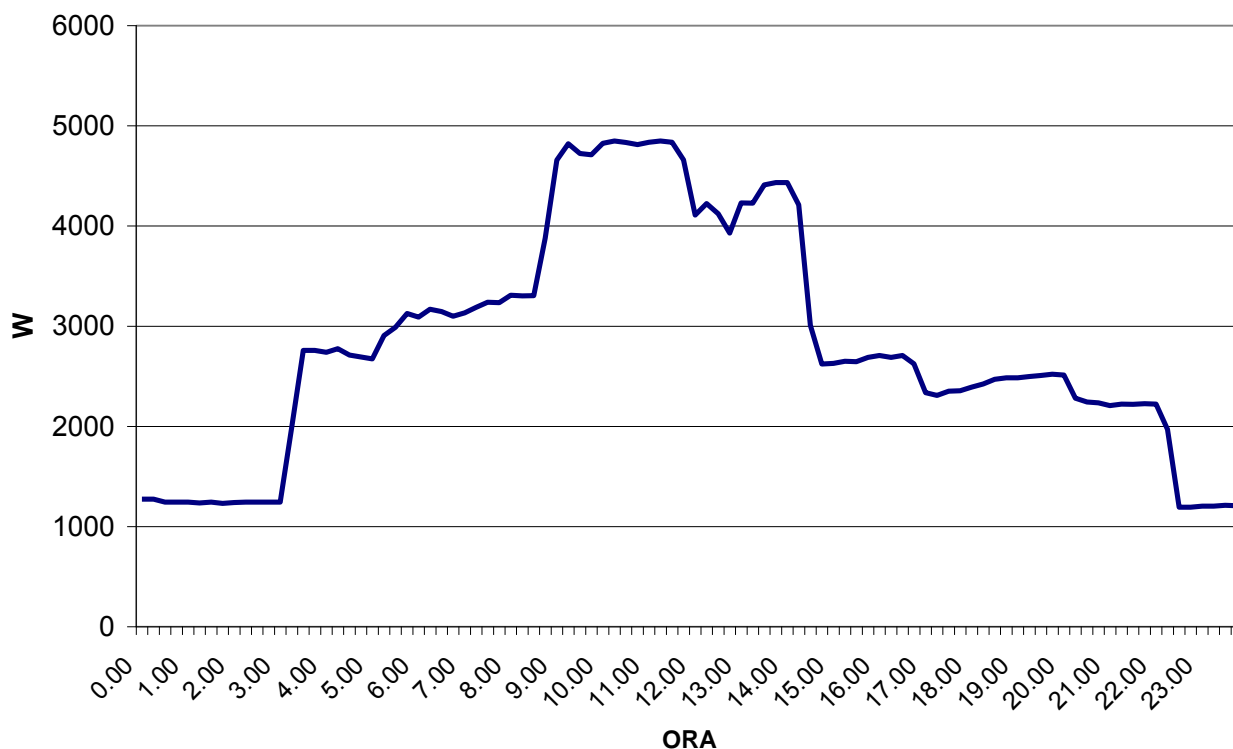


Figura 15: profilo giornaliero carico elettrico illuminazione - 21 Luglio 2010 - Illuminazione II Piano CM2

Analizzando nel dettaglio il diagramma di carico giornaliero (figura 15) si evince un andamento del profilo orario dei consumi tipico del settore terziario. Il primo scalino di potenza di circa 1,5 kW si manifesta circa alle ore 5:00 in corrispondenza dell'inizio attività di pulizia degli uffici, raggiungendo circa 3,3 kW assorbiti circa alle ore 9:00 quando, in corrispondenza del massimo afflusso di personale, si raggiunge il picco del carico per illuminazione, mantenendosi circa costante fino alle ore 16:00 (a meno di una leggera inflessione durante le ore di pausa pranzo di appena il 16% rispetto alla massima richiesta, probabilmente dovuto alla non contemporaneità delle attività svolte nei singoli uffici).

Dall'andamento del diagramma giornaliero si evince un elevato carico elettrico per illuminazione degli uffici in corrispondenza delle ore di maggiore illuminamento naturale.

E' stata effettuata una stima qualitativa dell'illuminamento naturale degli uffici con diversa esposizione, verificando in prima istanza uno scarso illuminamento naturale nei vani esposti verso via Molise (circa 30 Lux inferiori ai valori limiti previsti dalla normativa) e invece un adeguato illuminamento naturale per gli uffici esposti verso via San Basilio (circa 500 Lux). E' comunque necessaria una indagine più accurata per correlare l'elevato carico elettrico per illuminazione con l'effettivo apporto di luce naturale al variare dell'esposizione e del piano.

### Altre utenze fisse

Nel seguente diagramma si riporta l'andamento della potenza attiva totale (W) assorbita dalla linea "prese" colonna montante 2 del secondo piano.

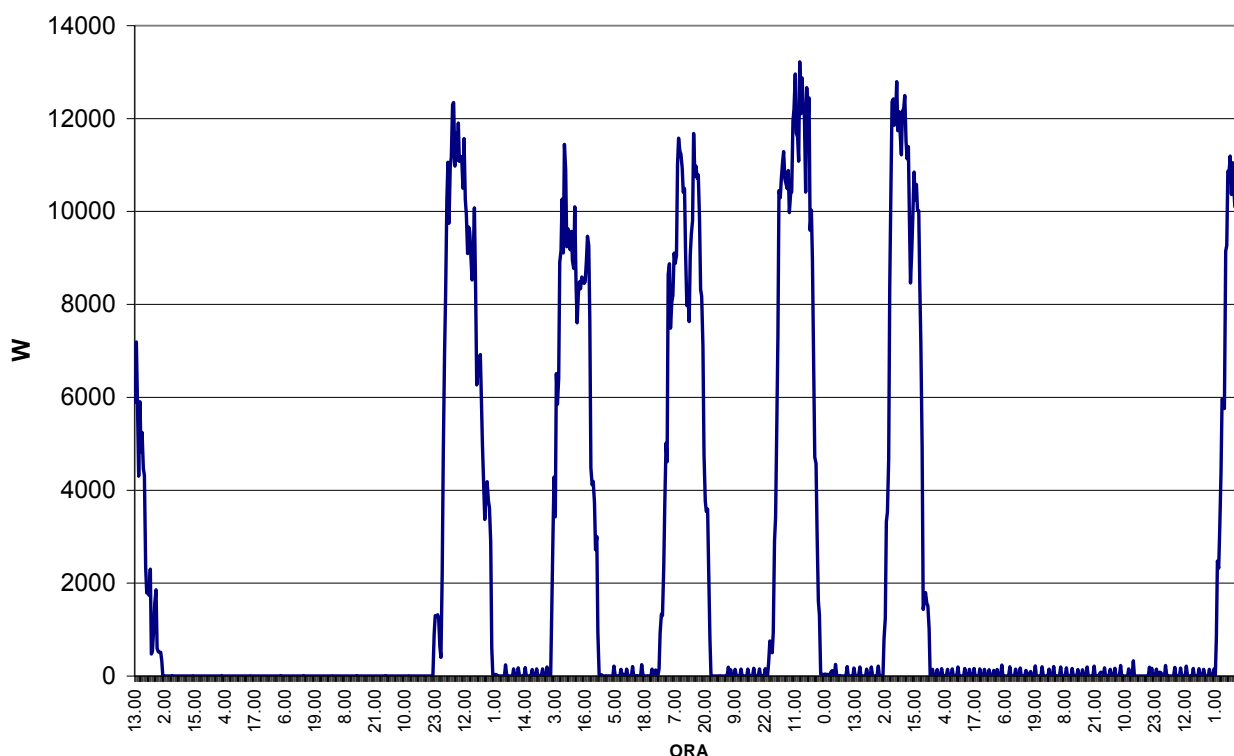


Figura 16: Monitoraggio linea prese- totale potenza attiva : secondo piano colonna montante 2: 9 Luglio – 19luglio 2010

Dall'andamento settimanale del profilo orario non si evincono anomalie del carico elettrico in quanto questo si annulla nelle ore serali e nei fine settimana. I maggiori prelievi della linea prese sono dovuti alle pompe di calore, del tipo mono split, installate in corrispondenza di ciascuno dei 10 uffici monitorati. Le pompe di calore hanno una potenza nominale elettrica di circa 900 W per una totale potenza installata di circa 9 kW coerente con le punte di richiesta elettrica monitorate.

Dal diagramma giornaliero si evince un utilizzo corretto delle utenze alimentate da presa (pompe di calore, computer, stampanti ecc), in quanto le stesse vengono spente durante le ore serali di non utilizzo e durante i fine settimana. Dal diagramma orario si evince anche uno spegnimento delle apparecchiature fisse durante la pausa pranzo con una riduzione del carico elettrico di circa il 33 %. La sostituzione del sistema di climatizzazione monosplit con un sistema centralizzato multisplit, consentirebbe una riduzione dei picchi di assorbimento.

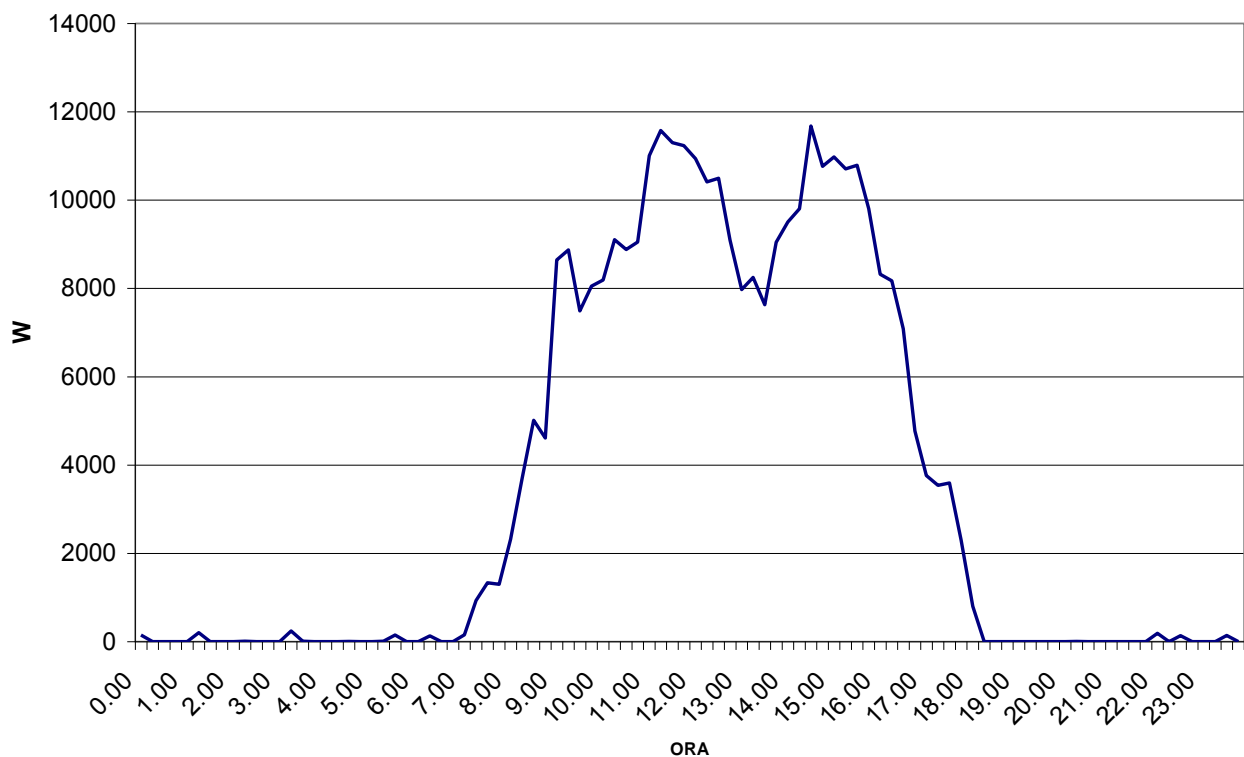


Figura 17: profilo giornaliero carico elettrico illuminazione - 21 Luglio 2010 - Illuminazione II Piano CM2

### Power Quality

L'analisi del vettorimetro evidenzia un notevole squilibrio delle utenze che incidono su ciascuna fase, che produce una corrente considerevole sul neutro. In particolare, come si evince dal grafico seguente, le tre fasi vengono caricate diversamente durante le 24 ore. In particolare la fase 2 sembra alimentare esclusivamente i corpi illuminanti di alcuni uffici in quanto è attraversata da una corrente diversa da zero solo dalle ore 08:00 alle ore 13:30 circa.

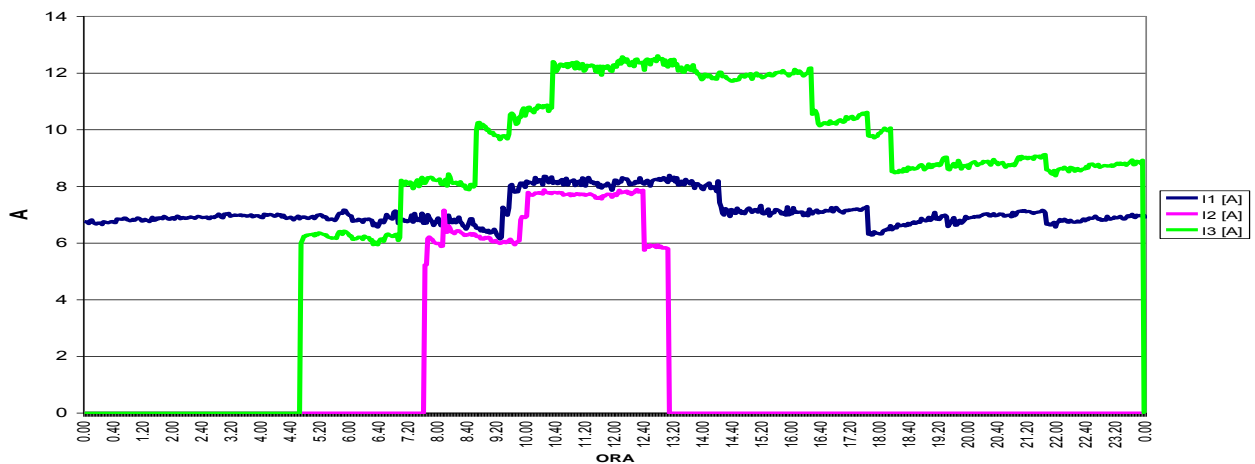


Figura 18 Linea Luce corridoio II piano: diagramma giornaliero della corrente di ciascuna fase – 22 Luglio 2010

Quando il carico è squilibrato, la corrente di squilibrio transita nel conduttore di neutro. Se lo squilibrio è forte esso può, assumere rispetto a terra, tensioni significative per la caduta provocata dalla corrente di squilibrio, la quale può anche sovraccaricarlo, soprattutto se si tiene conto del fatto che la sua sezione è generalmente la metà della sezione dei conduttori di fase, quando quest'ultima supera i 35 mm<sup>2</sup>.

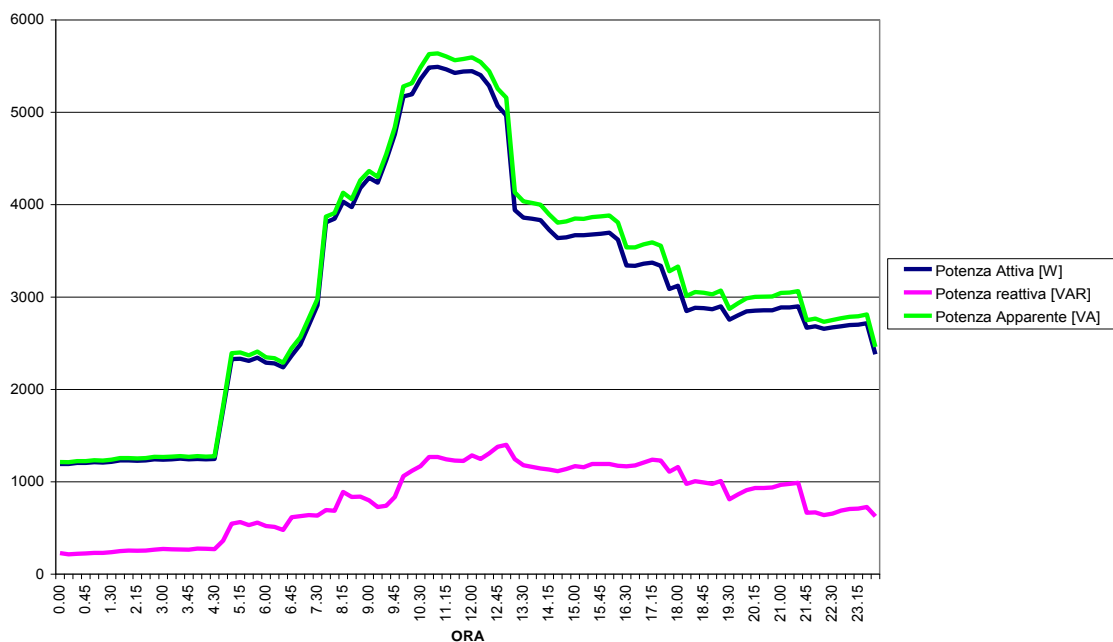


Figura 19: Linea Luce corridoio II piano: diagramma giornaliero della potenza attiva, reattiva e apparente – 22 Luglio 2010

La potenza assorbita dai corpi illuminanti risulta essere quasi totalmente attiva, presupponendo un corretto funzionamento del rifasamento puntuale delle lampade a scarica (fluorescenti lineari 36 W) installate negli uffici e nel corridoio, confermato anche dall'elevato valore registrato del fattore di potenza variabile tra 0,94 e 0,98.

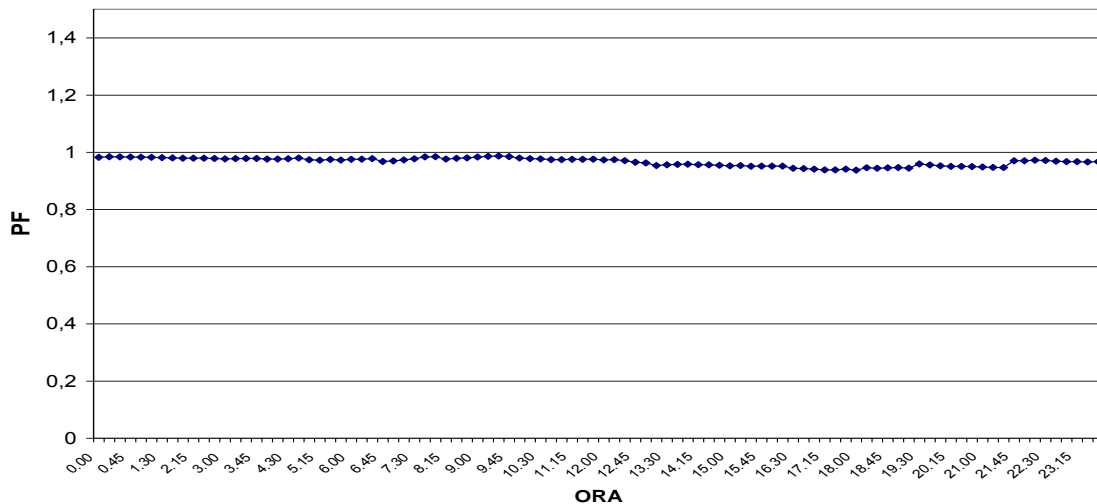


Figura 20: Linea Luce corridoio II piano: diagramma giornaliero del fattore di potenza (PF)– 22 Luglio 2010

### 3.8 DIAGNOSI ENERGETICA IV PIANO

Come già specificato, i due quadri elettrici (luce e forza motrice) della colonna montante 4 non consentono di monitorare il consumo per la sola illuminazione in quanto il quadro illuminazione alimenta anche una serie di apparecchi elettrici (condizionatori, etc) numericamente non definiti. Per questo motivo il dato più significativo da analizzare è la potenza complessiva dei due quadri, di seguito riportata (insieme agli andamenti delle potenze medie di ciascun quadro), vedi figura 21.

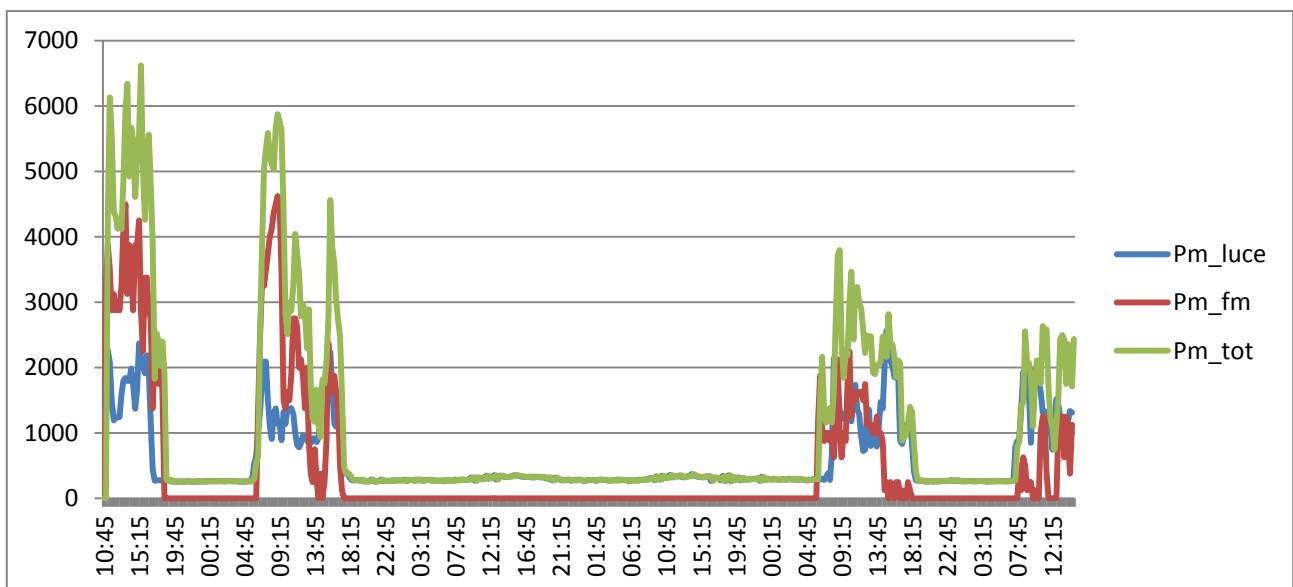


Figura 21 Potenza media dei quadri “luce”, “forza motrice” e totale del quadro 4 del 4° piano

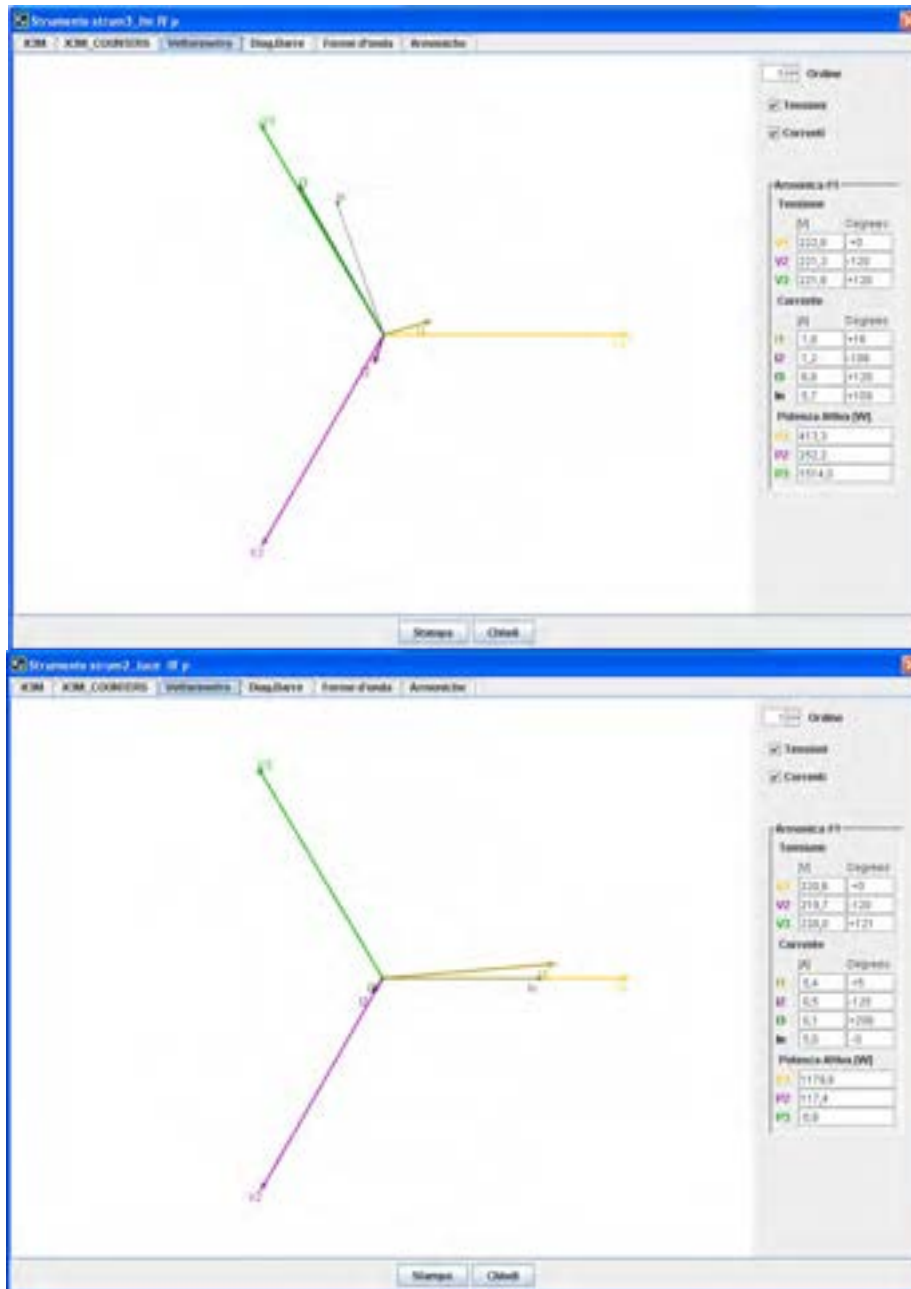


Figura 22 Vettorimetri dei quadri "luce" e "forza motrice" del quadro 4 del 4° piano

Questo evidenzia un andamento ottimale durante le ore extralavorative, in cui la potenza media impegnata è di poco meno di 300W.

Il fattore di potenza risulta molto elevato, mediamente pari a 0,99 per la linea illuminazione e 0,97 per la forza motrice.

L'esame del diagramma dei vettori metri, figura 22, evidenzia per entrambi i quadri uno squilibrio notevole fra le tre fasi, con le conseguenze già illustrate nei paragrafi precedenti.

## 4. ANALISI DEI CONSUMI ELETTRICI DEGLI ASCENSORI

### 4.1 INTRODUZIONE

Il Ministero dello Sviluppo Economico (da ora MSE) sta ponendo in essere una serie di azioni mirate alla riqualificazione degli edifici di propria competenza, con un'attenzione particolare per la sede di Via Vittorio Veneto a Roma. ENEA UTEE-ERT intende contribuire alle azioni di riqualificazione con una serie di azioni a supporto delle decisioni da parte degli uffici competenti.

Tra le possibili azioni, alcune riguardano interventi sugli ascensori presenti. Questo studio preliminare fornisce delle indicazioni sulle possibili opzioni disponibili per migliorarne l'efficienza energetica.

### 4.2 RISULTATI DEL SOPRALLUOGO

Le considerazioni seguenti fanno riferimento ai risultati dei vari sopralluoghi finalizzati ad una proposta di efficientamento energetico del parco ascensori.

La sede del Ministero dello Sviluppo Economico, che occupa da due distinti edifici storici, il Palazzo Rosa (fine del XIX secolo) e il Palazzo Piacentini (1931- già Palazzo delle Corporazioni), è servita da 6 ascensori, di cui uno con la funzione di montacarichi. In figura 1 è riportata la pianta del piano terra del Ministero con la disposizione degli ascensori presenti.



Figura 23. Pianta piano terra MSE: individuazione degli ascensori presenti

Ricordiamo che per ascensore si intende un apparecchio elevatore con installazione fissa che serve piani definiti mediante una cabina che si sposta lungo guide rigide e la cui inclinazione sull'orizzontale è superiore a 15 gradi, destinato al trasporto di persone e di cose.

Gli ascensori presenti sono di tipo tradizionale con locale macchina, ognuno costituito da una cabina con contrappeso movimentata da un motore elettrico. Nella tabella seguente sono riassunti, per ciascun ascensore, i piani serviti e la collocazione dei locali macchina (LM).

Tabella 8. Ascensori MSE: piani serviti e ubicazione dei locali macchina

piano		A1	A2	B3	C4	D5	E6
Riferimento		centrale	centrale	montac.	P. Rosa	Direttori	Ministro
cabina acea	S-2			LM	LM		
garage	S-1			◊	◊	LM	◊ / LM
ingresso	PT	◊	◊	◊	◊	◊	◊
	1	◊	◊	◊	◊	◊	◊
	2	◊	◊	◊	◊	◊	◊
gab. ministro	3	◊	◊	◊	◊	◊	◊
	4	◊	◊	◊	◊	◊	
	5	◊	◊	◊	◊	◊	
	6	◊	◊	◊	◊	◊	
	7	◊	◊	◊		◊	
	8	◊	◊	◊			
		LM	LM	◊			
N°. Piani serviti		9	9	11	8	8	5

LM locale macchina

◊ piano servito

Per gli ascensori centrali (A1 e A2), i gruppi trazione (motore-argano-freno) sono posti in alto in un apposito locale al di sopra del vano di scorrimento della cabina, nel piano di copertura del palazzo Piacentini, mentre per gli altri ascensori i gruppi trazione sono ubicati in basso.

In particolare, il montacarichi (B3) e l'elevatore C4 in locali del piano secondo interrato (S-2), al di sotto del vano di scorrimento, gli ascensore D5 e E6 (quello del ministro) in locali a fianco del vano corsa nel piano primo interrato (S-1). Questi ascensori, con il gruppo di trazione ubicato in basso, sono dotati di pulegge di rinvio alla sommità del vano corsa, necessarie a rimandare le funi alla cabina e al contrappeso.

Negli ascensori presenti (macchine tipo geared) la cabina è agganciata a funi di acciaio (o a cinghie) avvolte intorno ad una puleggia azionata da un motore asincrono. Il peso della cabina è bilanciato da un contrappeso di massa uguale alla massa della cabina vuota più la metà del carico trasportabile; lo scopo del contrappeso è di realizzare una tensione nel sistema di sospensione tale da assicurare adeguata trazione e ridurre la potenza del motore elettrico.

Sulla parte esterna dell'asse del motore è montato il freno elettromagnetico costituito da due ganasce azionate da un elettromagnete. Quando l'ascensore è fermo le ganasce sono chiuse sul cilindro di appoggio attraverso delle molle opportunamente tarate. Quando si chiude uno dei due contattori del motore, viene alimentato l'elettromagnete del freno che libera il movimento del motore. L'asse del motore viene innestato su un argano costituito da una vite senza fine che ingrana su una ruota dentata. L'argano riduce il numero di giri del motore e quindi la velocità della cabina ottenendo una coppia maggiore all'asse. Sull'asse dell'argano sono presenti due o tre pulegge con le gole inclinate su cui vengono avvolte le funi di acciaio.

Per il montacarichi dove non c'è e necessità di avere elevate velocità ed è generalmente adottata la cosiddetta sospensione a taglia, ovvero la sospensione della cabina e del contrappeso a mezzo di carrucole. Con tale sistema si riescono a sollevare carichi considerevoli con una potenza effettiva di poco superiore

alla metà di quella necessaria nel caso in cui la cabina ed il contrappeso fossero sospesi direttamente senza carrucole.

Diversi interventi negli anni 1999-2005 di ammodernamento (totale o parziale) hanno portato ad un miglioramento delle prestazioni energetiche dovuto soprattutto all'installazione di azionamenti che permettono di variare tensione e frequenza di alimentazione motore VVVF. Il dispositivo VVVF (variante di velocità a frequenza variabile) consente di regolare la velocità dell'ascensore, sia in avviamento sia in frenata, rendendone il movimento dolce e regolare; permette inoltre l'arresto della cabina esattamente in corrispondenza del piano.

Da un punto di vista energetico, la presenza di questi azionamenti comporta una riduzione dei consumi per effetto del contenimento delle correnti di avviamento che si riflette anche in una minor usura del gruppo trazione, dovuta alla ridotta sollecitazione e surriscaldamento a carico del motore.

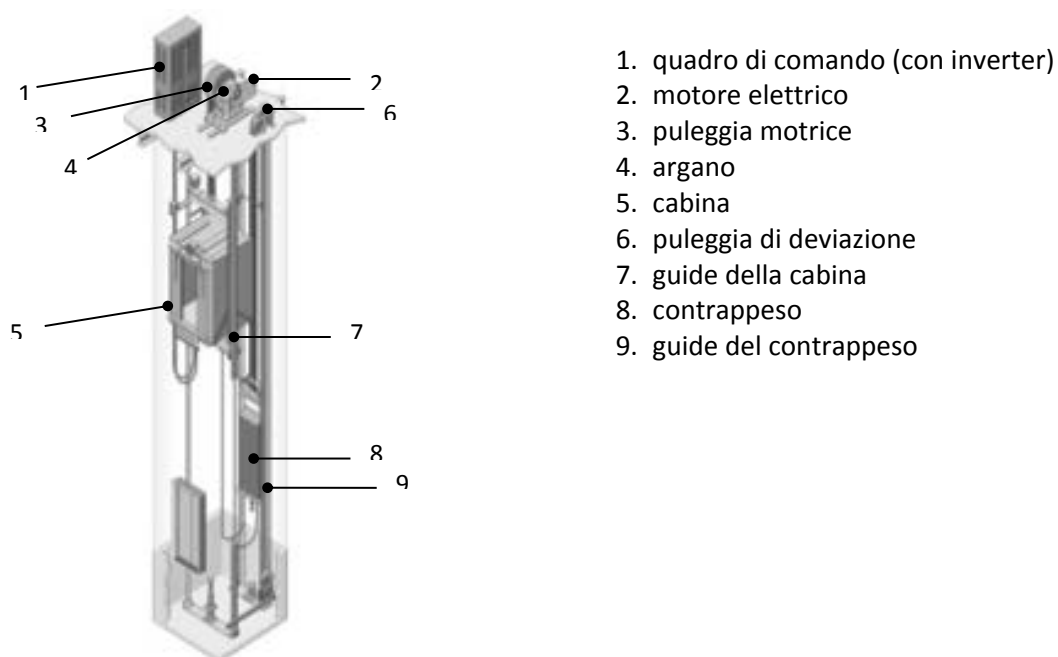


Figura 24. Rappresentazione di un ascensore tipo

Nella figura 24 è riportata una rappresentazione schematica di un ascensore tipo con la individuazione dei suoi componenti principali. Tale tipologia è praticamente la stessa dello ascensore centrale A1 sottoposto a monitoraggio (vedi paragrafo successivo). Nella tabella 9 sono riportati, per ciascun ascensore, le potenze dei motori asincroni (funzione della portata della cabina) e il tipo di azionamento presente.

Tabella 9. Ascensori MSE: Potenza elettrica dei motori e tipo di azionamento

ascensore		Potenza (kW)	azionamento
A1	centrale	9	VVVF
A2	centrale	9	VVVF
B2	montacarichi	5,1	assente
C3	Palazzo Rosa	3,68	VVVF
D4	Direttori	3,25	VVVF
E5	Ministro	5,2	assente

### 4.3 ANALISI E MONITORAGGIO DEI CONSUMI ELETTRICI

L'attività di monitoraggio dei consumi elettrici ha interessato l'ascensore, A1, che risulta essere, insieme ad A2, il più utilizzato. Per quel che riguarda la tipologia e le caratteristiche dello strumento di misura si rimanda al capitolo 3, dove la strumentazione utilizzata è stata dettagliatamente descritta. Le caratteristiche principali del gruppo monitorato sono:

1. Motore elettrico Asincrono trifase ELEMOL
2.  $V_n = 380 \text{ V}$
3.  $P_n = 9 \text{ kW}$
4. giri/min = 1415
5. avviamenti/h = 240
6.  $I_n = 20,5 \text{ A}$
7.  $I_a = 45 \text{ A}$
8. Argano OTIS tipo OM 83

Il monitoraggio è stato eseguito sul motore dell'ascensore per sei giorni dal 21 al 26 luglio.

Nelle figure successive sono riportati i grafici dei dati monitorati relativi agli assorbimenti di potenza apparente ( $\sqrt{3} V I$ ). I valori graficati sono campionati con frequenza di 120 secondi e sono relativi all'evento (utilizzo dell'ascensore) che si verifica all'istante di campionamento. La figura 25 mostra i dati monitorati relativi all'intera giornata (0-24) di venerdì 23 luglio; come si può notare l'intervallo orario 11-13 risulta essere quello a maggior frequenza di utilizzo dello ascensore. Nelle figure da 16 a 28 è riportata la potenza apparente assorbita dall'ascensore A1 nell'intervallo di maggior frequenza di utilizzo per i giorni 21, 22 e 26 luglio. Non sono stati riportati i dati relativi a sabato 24/07 e domenica 25/07 perché l'assorbimento di potenza apparente è risultato nullo (assenza di utilizzo dell'ascensore nel fine settimana).

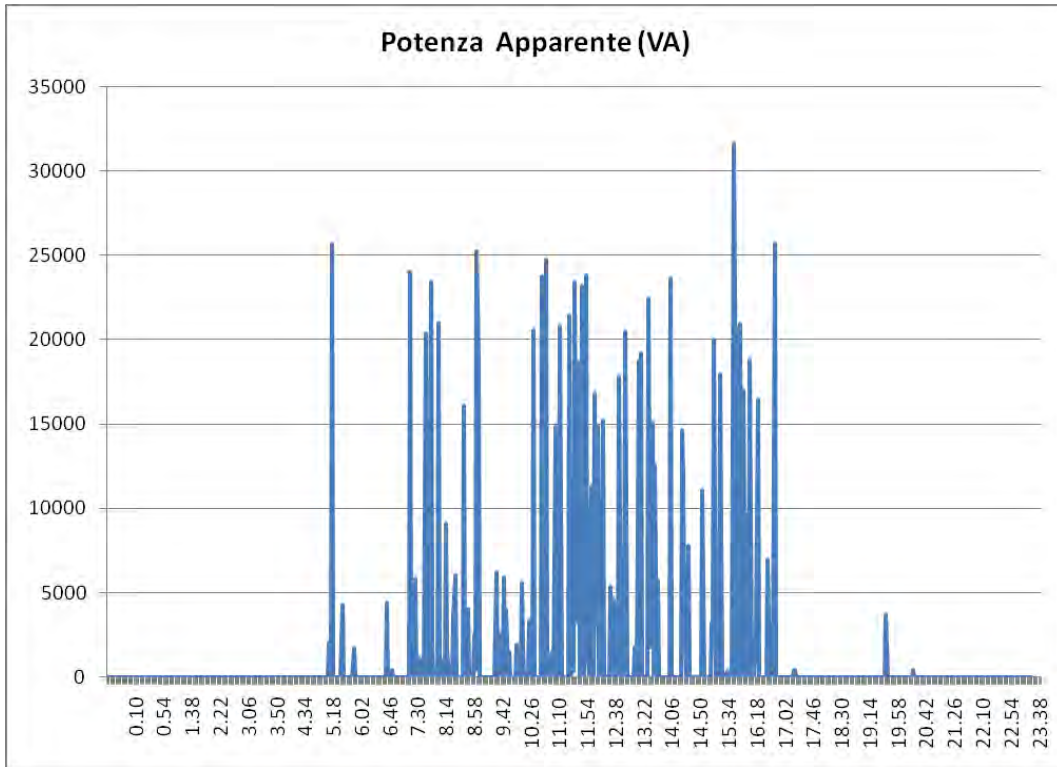


Figura 25. Potenza apparente totale relativa al giorno 23/07/2010

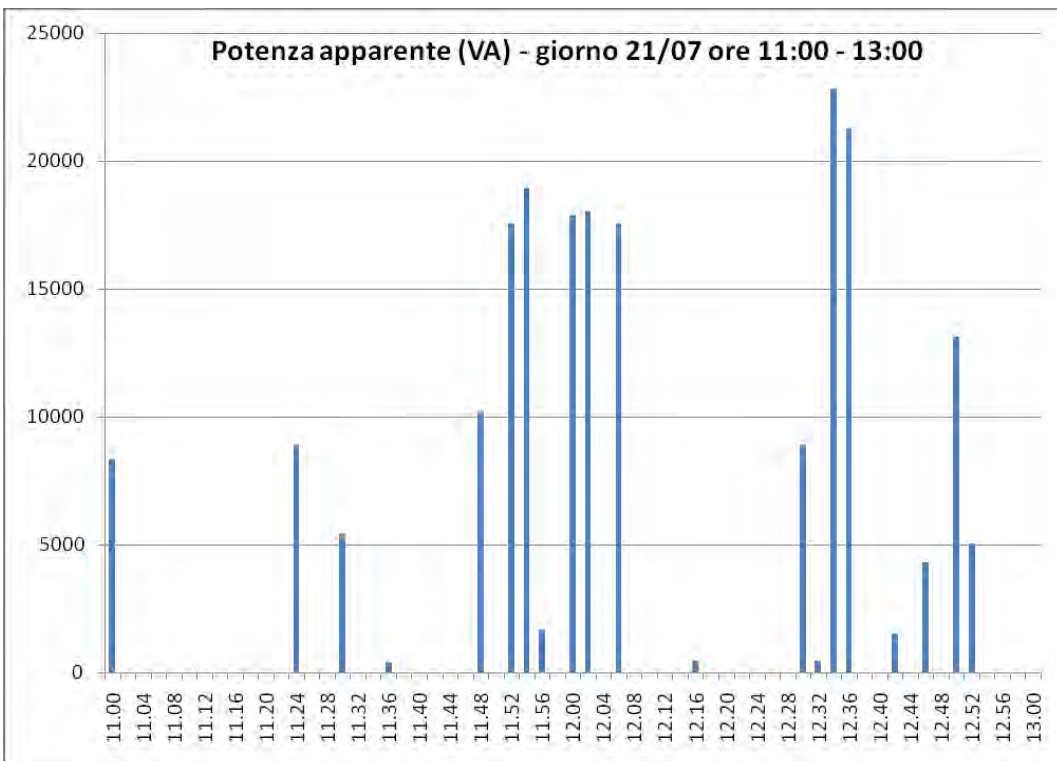


Figura 26. Potenza apparente totale relativa al giorno 21/07/2010

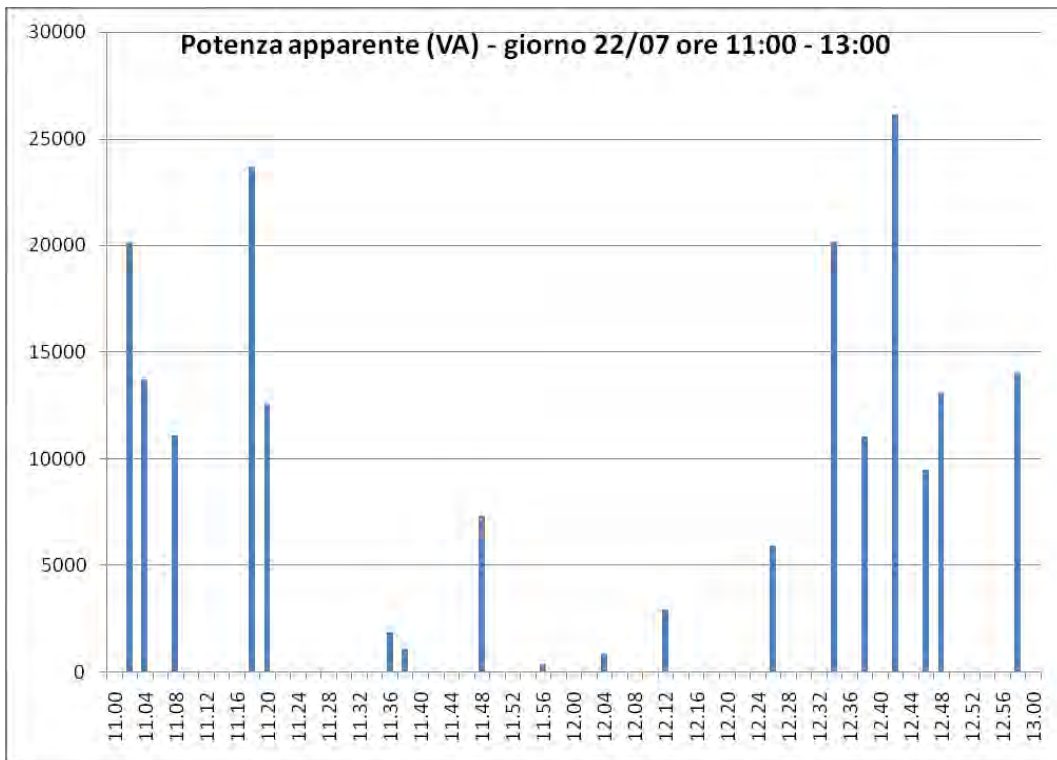


Figura 27. Potenza apparente totale relativa al giorno 22/07/2010

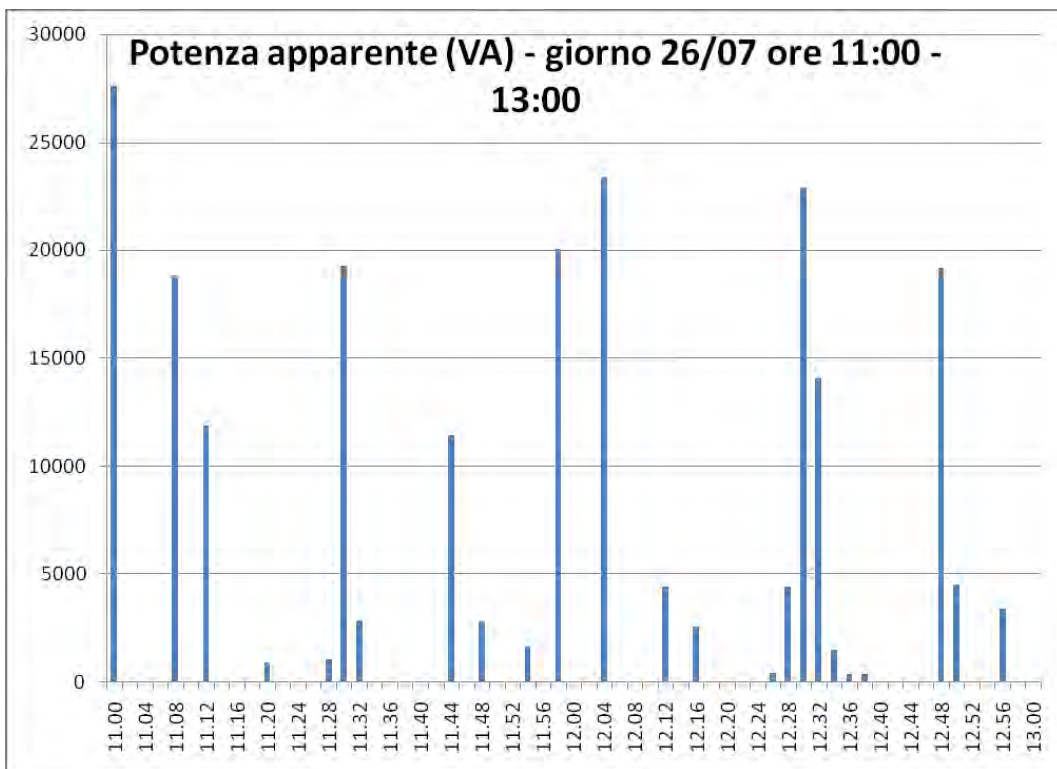


Figura 28. Potenza apparente totale relativa al giorno 26/07/2010

Le caratteristiche principali delle registrazioni effettuate durante il monitoraggio nell'intervallo orario 11-13, sono riassunte nella tabella seguente:

Tabella 10. Caratteristiche delle registrazioni realizzate del periodo di maggior frequenza

Data	n. eventi	n.eventi/n <sub>max.</sub> eventi	A <sub>media</sub> (kVA)
21/07/2010	20	33%	10
22/07/2010	18	30%	11
26/07/2010	20	33%	9

Dalla tabella si deduce che un evento si è presentato in media ogni 3 misure, ovvero, nel periodo di maggior frequenza, è stata registrata una corsa ogni 6 minuti. L'intensità della corrente elettrica assorbita dall'evento medio è pari a circa 15 A. L'analisi ha riguardato i soli consumi del gruppo di trazione perché non è stato possibile monitorare i consumi elettrici delle apparecchiature ausiliarie di cabina.

La cabina dell'ascensore presenta un sistema di ventilazione naturale, disponendo di semplici aperture sulla copertura della stessa, e di un sistema di illuminazione costituito da due lampade fluorescenti da 30 W. Il consumo per la sola illuminazione (considerando un periodo di accensione di 8760 h, cioè di accensione continua), comprensivo dei sistemi di alimentazione, può essere stimato in circa 630 kWh /anno. Gli ascensori centrali sono pressoché identici, pertanto risulta ragionevole estendere i risultati ottenuti anche a quello non monitorato (A2).

Un monitoraggio spot effettuato su tutta la linea elettrica a servizio dell'ascensore ha evidenziato che la linea non serve solo le utenze relative all'ascensore stesso, ma anche i ventilconvettori a servizio della cabina ascensore posta in copertura. Da questo punto di vista, il monitoraggio non ha consentito di fare delle valutazioni dei consumi in stand-by, ovvero a macchina non utilizzata, poiché il carico elettrico assorbito dalla linea era così alto per la presenza delle due macchine frigorifere da coprire le perdite di stand-by.

Le proposte al paragrafo successive, sono dunque solo desunte in funzione delle potenze installate e non ricavate dai risultati del monitoraggio.

#### 4.4 PROPOSTE DI MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

Le diverse opzioni per migliorare l'efficienza energetica degli ascensori riguardano i motori elettrici e le apparecchiature ausiliarie. Studi recenti sul parco ascensori italiano hanno messo in evidenza come i consumi di energia elettrica nella fase di non utilizzazione degli ascensori (stand-by) siano superiori rispetto a quelli che si hanno nella fase di funzionamento (running), come si evince dalla figura 29. Risulta pertanto chiaro che ogni azione indirizzata a migliorare l'efficienza energetica degli ascensori ha come interventi prioritari quelli sulle apparecchiature ausiliarie di cabina che determinano i consumi in condizioni di stand-by.

Nella tabella 11 sono riassunti i principali interventi che vengono realizzati per incrementare le prestazioni energetiche degli ascensori installati in edifici del settore terziario.

Tabella 11. Interventi di miglioramento dell'efficienza energetica degli ascensori

PROBLEMATICHE	INTERVENTI per migliorare l'efficienza energetica
ELEVATI CONSUMI DEI MOTORI ELETTRICI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MOTORI AD ALTA EFFICIENZA (NO VENTILAZIONE FORZATA)</li> <li>• VVVF (INVERTER V/f)</li> <li>• ALIMENTAZIONE DEL DRIVE</li> <li>• RIGENERAZIONE ELETTRICA (recupero energia in discesa)</li> </ul>
ELEVATI CONSUMI IN STAND -BY	SISTEMI DI SPEGNIMENTO LUCI AUSILIARIE E VENTILAZIONE DI CABINA QUANDO L'ASCENSORE NON È UTILIZZATO IMPIEGO DI LED PER TUTTI I SISTEMI DI ILLUMINAZIONE E SEGNALAZIONE
ALTRE AZIONI	ALIMENTAZIONE MOTORE PORTE

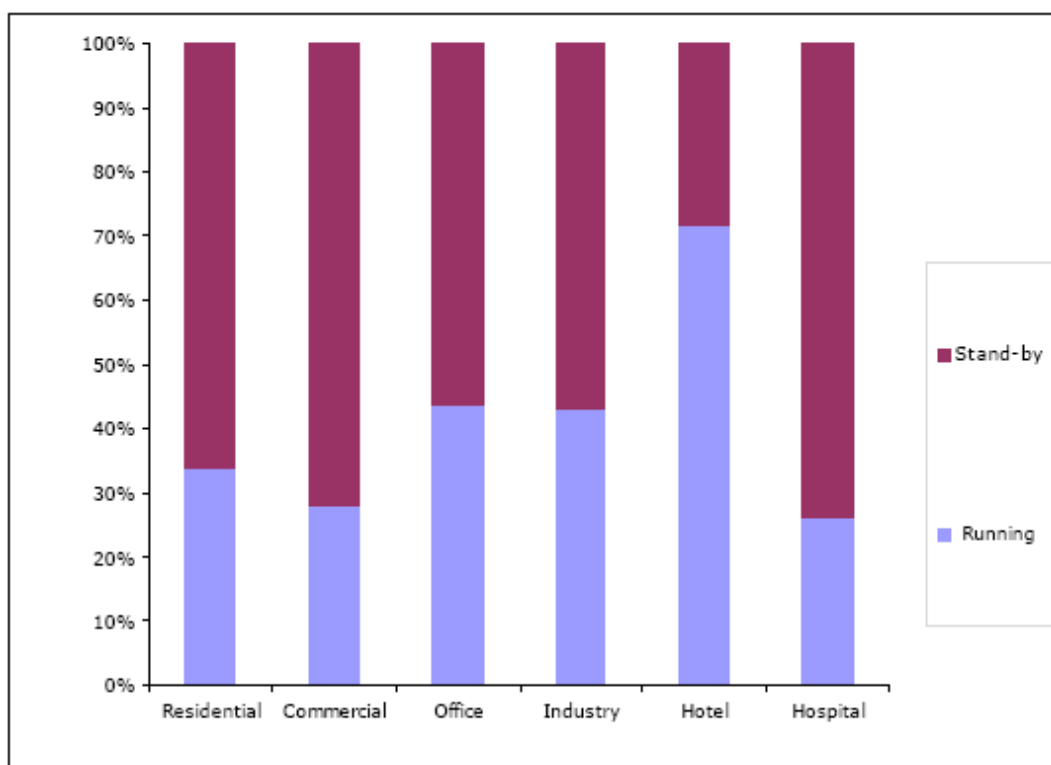


Figura 29. Profilo dei consumi di energia (%) del parco ascensori italiano

#### 4.4.1 Azioni sui motori elettrici

Possibili interventi per migliorare l'efficienza energetica sul gruppo di trazione riguardano:

- Motori elettrici ad alta efficienza e propriamente dimensionati;
- Azionamenti che permettono di variare tensione e frequenza di alimentazione motore (VVVF).

Come già detto in precedenza, il parco ascensori che serve la sede dell'MSE ha subito diversi interventi di ammodernamento negli anni 1999-2005. I principali interventi hanno riguardato l'installazione di nuovi gruppi trazione e di azionamenti elettrici (VVVF) per gli ascensori A1, A2, C3 e D4. Per tale motivo non si

può pensare ad azioni sui motori elettrici in grado di produrre notevoli incrementi dell'efficienza energetica.

Gli interventi più interessanti potrebbero realizzarsi sugli ascensori B2 e E5; per il montacarichi è possibile prevedere azioni di tipo a) e b) (risparmi possibili dell'ordine del 25-35%) mentre per l'ascensore del ministro, vista la scarsa utilizzazione, sono da escludere azioni in questo senso.

Per quanto riguarda i restanti ascensori, in caso di futuri adeguamenti dovrebbe essere presa in considerazione la possibilità di sostituire i motori elettrici esistenti con altri a più alta efficienza (risparmi dell'ordine del 5-8%).

#### 4.4.2 Azioni sulle apparecchiature ausiliare di cabina

Tra le possibili azioni finalizzate ad incrementare l'efficienza energetica delle apparecchiature ausiliare di cabina si possono prevedere i tre seguenti interventi:

- a) Sostituzione lampade;
- b) Modalità di risparmio energetico illuminazione;
- c) Attenuazione dell'intensità luminosa della segnaletica.

Analizzando i tre precedenti punti in dettaglio emerge:

- a) Attraverso la sostituzione, per l'intero parco ascensori, delle lampade fluorescenti tradizionali di tipo T8 con quelle di tipo T5, o con luci a led, è possibile prevedere risparmi energetici per il sistema di illuminazione di cabina dell'ordine del 30%.  
Per quanto visto in precedenza, per gli ascensori centrali, nelle ipotesi di funzionamento continuo, questi risparmi percentuali si traducono in circa 380 kWh/annui.
- b) Accanto alla sostituzione delle lampade di cabina è possibile prevedere l'adozione di sistemi che realizzano la modalità di standby per l'illuminazione; questi consentono lo spegnimento automatico della luce di cabina una volta trascorso un tempo prestabilito dall'ultima chiamata.  
Effettuando una stima cautelativa dei possibili risparmi energetici per l'illuminazione di cabina ottenibili attraverso l'utilizzo della modalità di stand-by, lo spegnimento automatico di 8 h al giorno (es. 21.00-05.00 vedi figura 25) comporterebbe una riduzione di circa il 30% dei consumi.  
Combinando questo tipo di intervento con la sostituzione delle lampade tradizionali con quelle più efficienti, si arriverebbe ad un risparmio complessivo di quasi il 50% dei consumi per illuminazione.  
In riferimento agli ascensori centrali A1 e A2, tale risparmio complessivo si traduce in circa 630 kWh/annui.
- c) Analogamente a quanto visto per l'illuminazione di cabina è possibile prevedere l'adozione di sistemi di attenuazione dell'intensità luminosa della segnaletica; trascorso un tempo prestabilito dall'ultima chiamata, la segnaletica comincia a passare automaticamente alla modalità di standby.  
I risparmi prevedibili di energia legati al consumo della segnaletica, secondo dati di letteratura, possono arrivare anche al 30%.

## 4.5 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

In base a quanto emerso dall'analisi condotta sul parco ascensori a servizio della sede del MSE, è possibile prevedere incrementi dell'efficienza energetica attraverso i seguenti interventi:

1. Installazione di un nuovo gruppo trazione con azionamento elettrico per il montacarichi B2; questo comporterebbe un risparmio stimato dell'ordine del 25-35 % dei consumi elettrici attuali dell'ascensore. Lo stesso intervento non è invece consigliabile per l'ascensore E5 del ministro, vista la scarsa utilizzazione. Sono da escludere azioni in questo senso anche sui restanti ascensori, considerando che sono stati oggetto di interventi in anni relativamente recenti;
2. Sostituzione delle lampade fluorescenti tradizionali di tipo T8 con quelle di tipo T5, o con luci a led e adozione di sistemi che realizzano la modalità di standby per l'illuminazione. Questi interventi comporterebbero risparmi stimati di quasi il 50% dei consumi per illuminazione, che si traducono per i soli ascensori centrali A1 e A2 in circa 630 kWh/annui. Adozione di sistemi di attenuazione dell'intensità luminosa della segnaletica; i risparmi attesi, legati all'energia consumata dalla segnaletica, possono arrivare anche al 30%.
3. Il monitoraggio degli ascensori è stato condotto per una settimana circa e l'analisi dei risultati non ha consentito di verificare le prestazioni dell'ascensore in condizioni di stand-by. L'ascensore ha infatti una sua linea dedicata, ma su una fase della linea è attaccato il ventilconvettore che alimenta la sala ascensori in copertura. L'assorbimento di questa macchina è di circa 6 ampere ed è, praticamente, costante durante le 24 ore. Questo uso della linea elettrica non consente di verificare il carico ed il consumo di stand-by dell'ascensore e, di conseguenza, di verificare le potenzialità di risparmio energetico riducendo le perdite di stand-by.

## 5. CONSIDERAZIONI SULLA SALA POLIVALENTE E MONITORAGGIO AMBIENTALE DEL PIANO INTERRATO

### 5.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Il Palazzo Rosa costituisce parte della sede principale del Ministero dello Sviluppo Economico unitamente a "Palazzo Piacentini", ad esso adiacente e collegato internamente in corrispondenza di quasi tutti i livelli. L'edificio si compone di un piano interrato e nove piani fuori terra. Ha ingresso da via di San Basilio al civico 9, e risulta adiacente ai palazzi circostanti, separato da questi da giunti tecnici visibili in elevazione. In pianta il suo sviluppo è inscrivibile approssimativamente in un rettangolo con lati lunghi circa 40 x 36 metri, all'interno del quale sono presenti quattro chiostre, delle quali: tre di piccole dimensioni, da cielo a terra, confinate dalle facciate degli edifici adiacenti. La quarta, la più grande, in zona centrale, è occupata ai piani interrato e terra da due ampi locali. La copertura di questo livello è realizzata con una struttura in ferro con lastre trasparenti che assicurano la naturale illuminazione.

Il collegamento verticale fra i piani è affidato:

- da una scala principale a doppia rampa, posta in posizione pressoché baricentrica (corrispondente all'ingresso su strada);
- una scala secondaria, di servizio, al cui interno è presente un impianto ascensore, in disuso;
- un altro impianto ascensore è situato vicino alla scala principale.

Oltre ai collegamenti suddetti sono presenti altre due scale interne di collegamento fra il piano terra e l'interrato, delle quali una, oggi parzialmente in disuso, collegava i piani dal terra al secondo. È infine presente un vecchio vano montacarichi che risulta in disuso. Sono stati effettuati interventi per il consolidamento statico delle strutture verticali ed orizzontali con opere realizzate da poco tramite una apposita gara. Tali opere non consentono interventi sulle murature quali aperture di tracce o realizzazione di fori o passaggi, la qual cosa è stata tenuta in debito conto e condizionerà le scelte di progetto. Attualmente l'immobile è tutto in uso quale sede del Ministero.

L'area del piano seminterrato, al di sotto del palazzo Rosa, è destinata alla realizzazione di una sala polivalente ed ai locali a questa annessa. La sala stata oggetto di un progetto definitivo e di un disciplinare tecnico. Rimane dunque da espletare soltanto la fase di gara e di aggiudicazione. Per tale motivo, sentito il Responsabile del procedimento del MSE, si è tenuto in debito conto quanto si prevede nel disciplinare per proporre soluzioni e fornire indicazioni che possano essere adottate nella realizzazione delle opere, dalla ditta che si aggiudicherà l'appalto, coerentemente con quanto prescrive l'attuale normativa in materia.

Una peculiarità dell'area dedicata alla Sala Polivalente è di poter essere utilizzata oltre che dal MSE anche da soggetti esterni al Ministero a cui questa sala, con le utilities annesse, potrà essere affittata a soggetti esterni. Per la realizzazione della sala polivalente ed annessi locali il MSE ha espletato le procedure necessarie per la redazione di un progetto definitivo. La pianta con le destinazioni d'uso previste dal progetto è riportata in figura 30.

La sala polivalente potrebbe diventare un'occasione per utilizzare soluzioni e tecnologie caratterizzate da un alto valore di innovazione. La presenza, però, del progetto condiziona le scelte da proporre in quanto si devono tener in considerazione le indicazioni progettuali, per la parte civile e per quella impiantistica, e, soprattutto, il costo relativo previsto dal computo metrico estimativo che per legge sono soggetti a determinate procedure.



Figura 30 Destinazioni d'uso zona Sala Polivalente per i livelli -S1 e -S2

Per tale situazione si prevede di individuare, con i vincoli di cui sopra, quegli interventi che, compatibili con le condizioni di contratto, possano contribuire all'efficienza energetica di questa area. In tal senso i dati desunti dai monitoraggi effettuati potranno dare utili indicazioni per particolari applicazioni che saranno studiate e valutate in accordo con i Responsabili del MISE.

Diverso è il problema per l'individuazione di componenti e sistemi innovativi per rendere la sala polivalente ed i locali annessi tecnologicamente avanzati per le funzioni che questi locali dovranno assolvere, convegni, tavole rotonde, formazione ecc.. In una prima ipotesi si potranno prendere in esame e valutare:

- sistemi integrati a rete, per le conferenze e per la formazione e le altre funzioni;
- sistemi di controllo e gestione degli impianti, tecnologici e informatici;
- arredi integrati con le utilities a supporto dell'utente e della attività da svolgere;
- tecnologie specifiche per l'allestimento e l'interoperabilità di queste aree, i quali offrono la possibilità di realizzare un "centro polivalente" ad alto contenuto tecnologico che può rappresentare un "caso di eccellenza".

## 5.2 MONITORAGGIO AMBIENTALE DEL PIANO INTERRATO

L'unica attività tecnica posta in essere per la sala polivalente è stato il monitoraggio ambientale del piano interrato. L'obiettivo era di verificare l'applicabilità di sistemi di raffrescamento passivo come il ground cooling o la ventilazione notturna. Il ground cooling consiste nel raffrescamento dell'aria, facendola attraversare dai canali interrati o posti all'interno di ambienti a temperatura più bassa rispetto a quello da raffrescare. Il piano interrato rispondeva molto bene ad un'ipotesi di questo tipo per diversi motivi:

- Pareti molto spesse ad elevata inerzia termica;
- Altezza interpiano molto elevata, che rende ipotizzabile la realizzazione di canali interrati e che comunque consente un elevato accumulo di aria fresca;
- Apporti solari ed interni praticamente nulli.

Per questo motivo tutto il piano è stato attrezzato con una serie di sensori per la misura della temperatura dell'aria ed il monitoraggio è stato condotto per il mese di luglio, caratterizzato da un regime climatico molto severo. L'analisi delle temperature interne minuite, ha fornito un quadro chiaro del profilo termico nel periodo di osservazione considerato (3-25 luglio). Le temperature dell'aria sono state registrate con un intervallo di 10 minuti ed i sette sensori sono stati posti ad un'altezza variabile tra 120 e 150 centimetri. Il monitoraggio in realtà ha subito delle sostanziali modifiche in termini di aspettative a causa delle aperture del piano interrato, che si presenta attualmente come un semplice rustico. Le aperture sono quantificabili in diversi metri quadrati e risultano critica, in particolar modo, quelle immediatamente sotto via di San Basilio. Attraverso queste aperture entra infatti direttamente la radiazione solare per alcune ore al giorno, provocando un inevitabile innalzamento termico. Le grandi aperture favoriscono dunque l'ingresso di aria calda, realizzando una situazione notevolmente diversa da quella che si avrebbe in fase operativa, ovvero: aperture chiuse durante il giorno per mantenere bassa la temperatura ed aperte durante la notte per favorire il raffrescamento notturno, quando la temperatura dell'aria si abbassa di diversi gradi rispetto alla temperatura interna.

Lo studio tuttavia mantiene una sua validità essenzialmente per due motivi:

- Verificare l'uniformità delle temperature in una zona frazionata in diversi ambienti
- Verificare che l'escursione termica tra la fase notturna e quella diurna fosse contenuta in pochi gradi, nonostante le ampie aperture, atte a favorire l'ingresso e la fuoriuscita di aria.

I sensori di misura, come riportato nello schema in pianta, sono stati installati in locali ritenuti significativi per caratteristiche e disposizione, in modo da determinare la distribuzione delle temperature nei diversi punti e verificarne l'uniformità. Facendo riferimento alla figura 31, si evince la posizione dei sette sensori (esiste un ottavo sensore, mai dati non sono stati presi in considerazione perché atipici) la copertura omogenea del piano interrato.

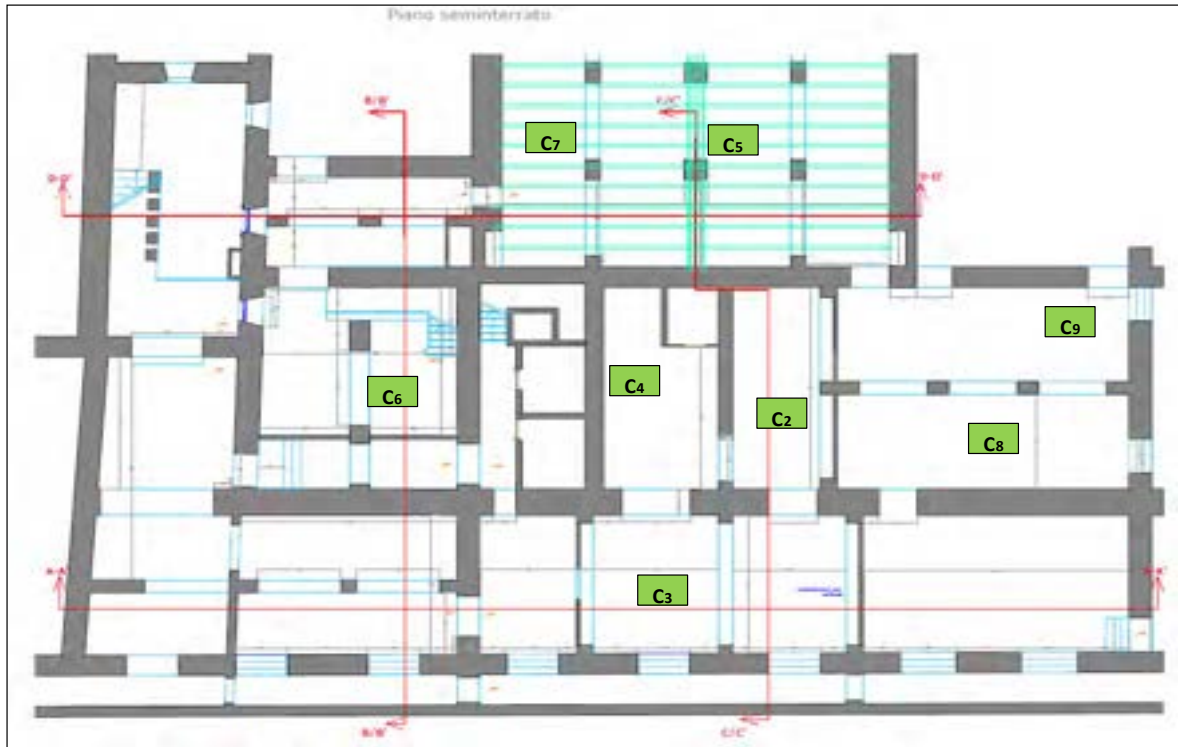


Figura 31 Posizionamento dei sensori

La temperatura media giornaliera all'interno dei locali, ottenuta dalle medie delle misure dei vari sensori installati, è risultata essere 27,4 °C, con variazioni comprese tra i 25,1 e i 29,1 °C. La temperature massime giornaliere registrate sono comprese tra i 26,7 e 31,5 gradi, con differenze abbastanza rilevanti, dovuti al diverso grado di irraggiamento solare nel giorno considerato. Le minime rientrano invece in un range più contenuto, compreso tra i 24 e 27 gradi. Quanto detto emerge chiaramente dal grafico in figura 32.

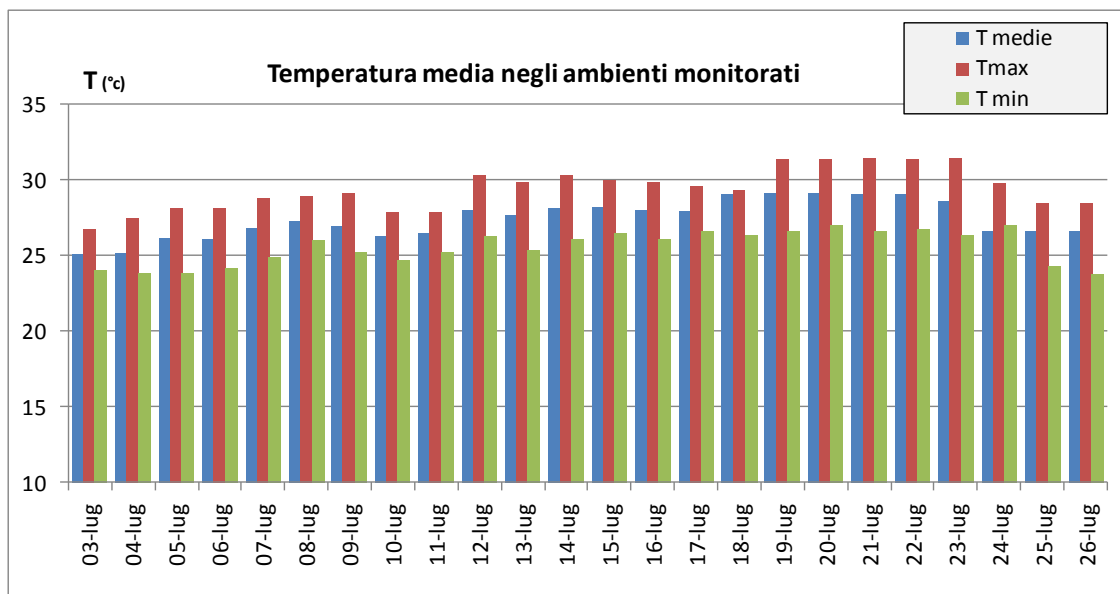


Figura 32 Valori medi delle temperature medie, massime e minime durante il monitoraggio

Osservando invece gli andamenti orari delle temperature, è possibile invece notare come i valori massimi si registrano generalmente nelle ore pomeridiane (16-18) mentre quelli minimi nelle ore notturne (03-05): viene riportato in figura 33, come esempio, un profilo "tipico" delle temperature medie interne, durante l'arco della giornata nel periodo di osservazione.

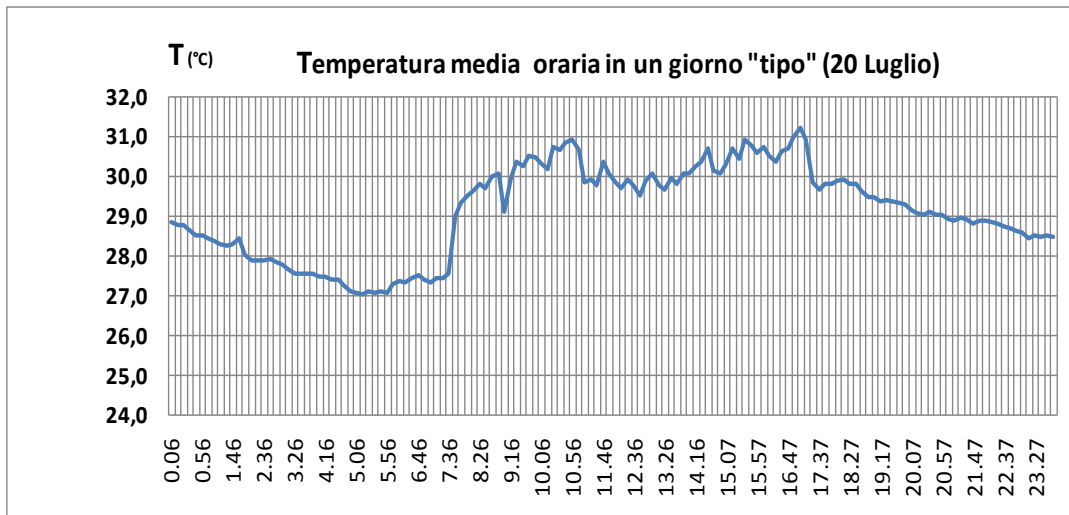


Figura 33 Profilo della temperatura dell'aria durante una giornata

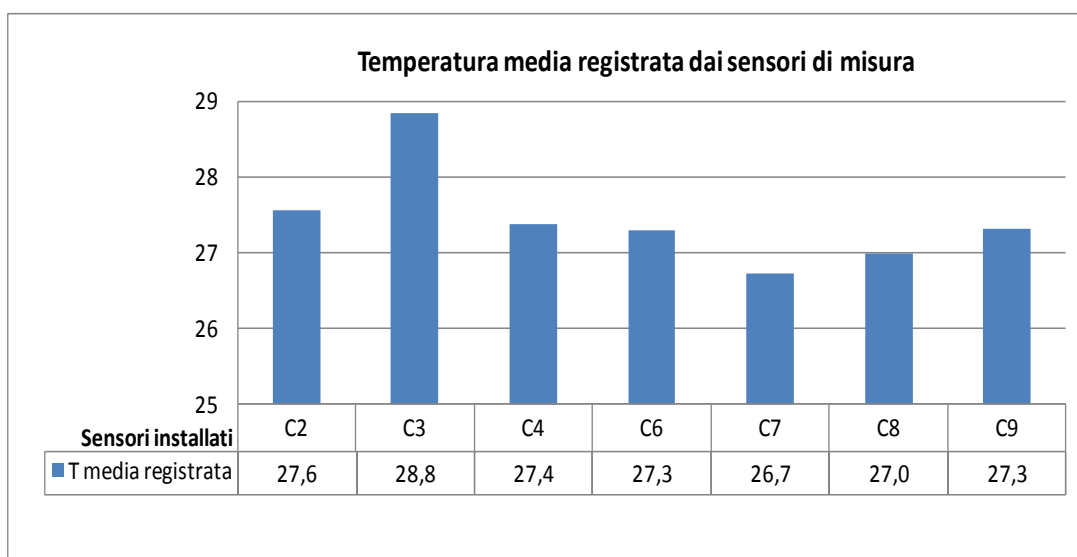


Figura 34 Temperature medie dei singoli sensori

Il grafico in figura 34 riporta le temperature medie giornaliere misurate dai diversi sensori installati nel corso di tutto il periodo di monitoraggio. I dati relativi al sensore C5, sono stati esclusi dalle elaborazioni, avendo riscontrato diverse interruzioni nella fase di registrazione delle misure. Dalla figura si nota, che i sensori localizzati nei locali più interni, C4 C2 C8, così come quelli installati nei locali sul lato nord-ovest C7 C5 C9, hanno registrato temperature medie giornaliere simili, con valori compresi tra 26.8 e 27.4 °C.

Ben più elevata risulta invece la temperatura media registrata dal sensore C3: quest'ultimo infatti, installato in un locale rivolto a sud-est, con ampie aperture verso l'esterno e privo di serramenti, presenta una temperatura media giornaliera di 28.9 °C. Quanto visto si riscontra anche per gli altri locali adiacenti, rivolti a sud-est, che, per effetto dell'aria esterna entrante dalle aperture su una chiostrina, presentano temperature più alte (circa 2°C), rispetto al resto del piano, costituito prevalentemente da locali senza alcuno sbocco verso l'esterno.

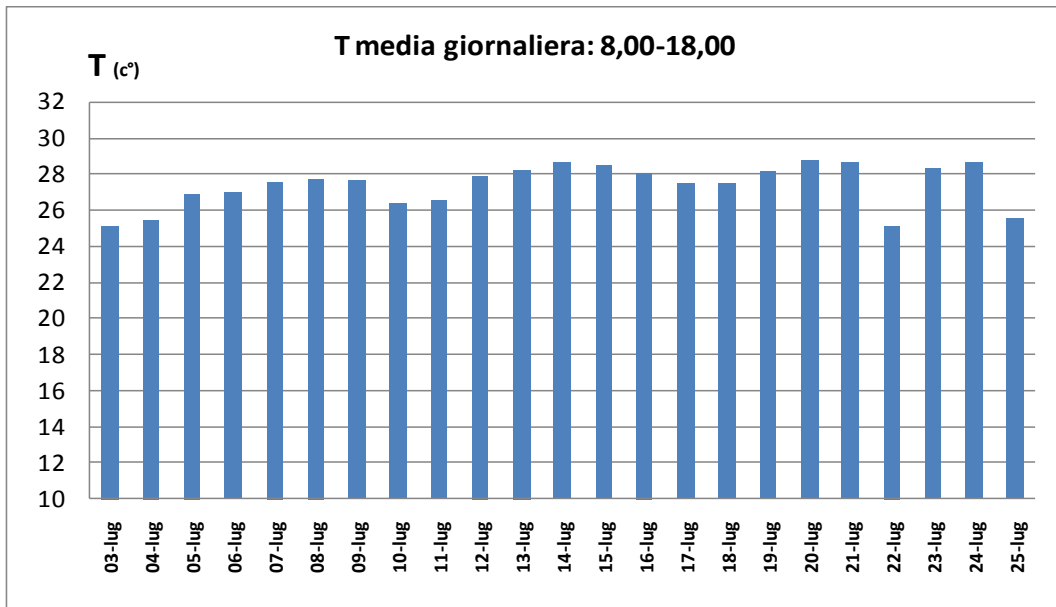


Figura 35 Temperature medie durante le ore diurne

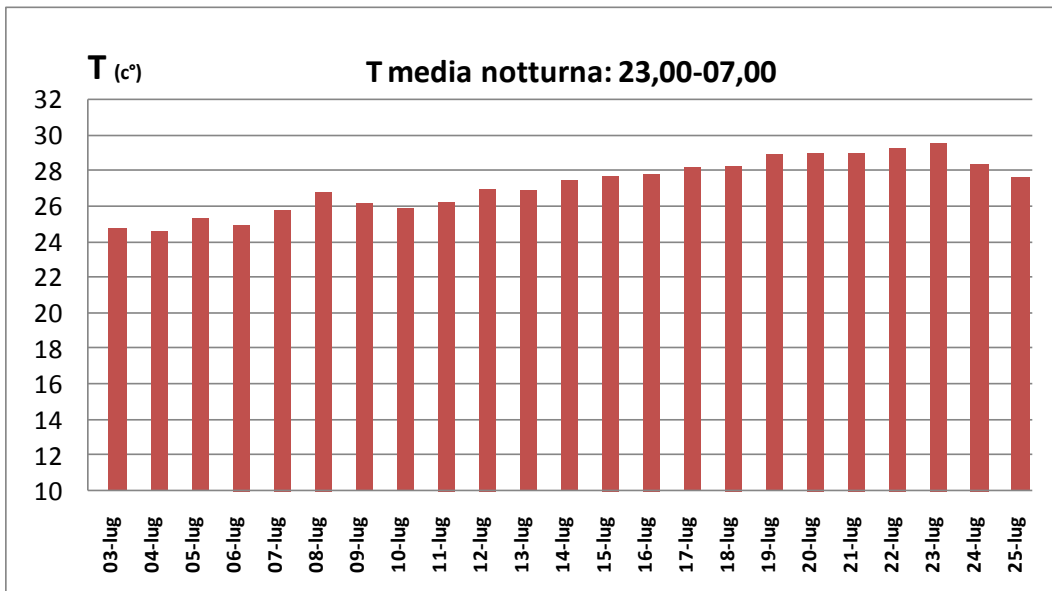


Figura 36 Temperature medie durante le ore notturne

Per valutare la possibilità di un eventuale applicazione del free cooling, dai locali del piano interrato, soltanto in alcune ore della giornata, considerando i profili orari di utilizzo dell'edificio, sono state determinate le temperature medie ambiente, diurne e notturne.

Le temperatura media ambiente nelle ore diurne (8,00-18,00) è risultata essere 27.2 °C; quella relativa alle ore notturne (23,00-07,00) 27.2 °C. La differenza esigua, in termini di valor medio, è dovuta probabilmente alle caratteristiche termofisiche della struttura dell'edificio: l'inerzia termica delle pareti in muratura, di notevole spessore, genera infatti un rilevante rilascio di calore nelle ore notturne, incrementando la temperatura interna fino a valori mediamente simili a quelli diurni.

### 5.3 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

Lo stato di avanzamento dei lavori per la realizzazione della sala polivalente è tale che studi più approfonditi non sono coerenti con quelli previsti per la gara ed il conseguente inizio dei lavori. Esiste tuttavia la possibilità di dare un contributo concreto alla scelta di soluzioni ad elevata efficienza energetica, qualora i termini ed i tempi previsti per i lavori dovessero cambiare.

L'unica azione possibile in questo caso è stato il monitoraggio delle temperature al piano interrato per verificare la possibilità di supportare il sistema di ventilazione/condizionamento previsto, con soluzioni passive a bassa differenza di temperatura. Queste soluzioni prevedono l'utilizzo di canali interrati o dell'aria fresca nell'interrato. L'attuale configurazione del piano ostacola una valutazione accurata dei possibili benefici ma, al tempo stesso evidenzia, la grande stabilità termica dell'interrato e la sua capacità di accumulare calore, essendo le escursioni giornaliere e settimanali, anche durante le ondate di calore, molto contenute.. L'analisi condotta andrebbe integrata, se ritenuto rilevante, attraverso uno studio numerico, in cui l'interrato viene progettato correttamente, tralasciando le condizioni attuali che non sarebbero quelle operative.

## 6. ALCUNE IPOTESI DI INTERAZIONE TRA EFFICIENZE ENERGETICA E TECNOLOGIE DELLA INFORMAZIONE

### 6.1 INTRODUZIONE

Questo breve capitolo definisce i campi di azione prossimi venturi sul tema dell'integrazione dell'efficienza energetica con le tecnologie della comunicazione. Non si tratta di una analisi tecnica, quanto di alcuni spunti da condividere con i referenti MSE, propedeutici alle proposte tecniche che ENEA avanzerà sulla base delle necessità e delle richieste del ministero.

### 6.2 OTTIMIZZAZIONE DELLA SALA CED

L'interazione tra efficienza energetica e tecnologie della comunicazione trova un punto sinergico nella sala CED, notoriamente critica per quanto riguarda i livelli termici ottimali da garantire all'ambiente e per i carichi di raffrescamento inevitabilmente associati. Sono attualmente in fase di elaborazione una serie di indicazioni da sottoporre ai tecnici del MSE per una riqualificazione energetico-funzionale della sala. Tale sala presenta degli aspetti che andranno opportunamente approfonditi e a cui di dovrà dare una soluzione per un utilizzo più efficace dei macchinari ed un più efficiente funzionamento dei macchinari presenti. Si prevede, ad esempio, di posizionare gli attuali macchinari in modo da poter creare corridoi caldi e freddi, di migliorare i sistemi di raffreddamento delle apparecchiature con una opportuna dislocazione delle bocchette di mandata dell'aria di raffreddamento, di bonificare il vano tecnologico al di sotto del pavimento galleggiante, di utilizzare sistemi di gestione e controllo del microclima e indicare altre soluzioni finalizzate al risparmio energetico nel rispetto delle condizioni di confort richieste per utenti e macchinari. E' stato fatto presente dai Responsabili della sala CED che un problema molto sentito è la mancanza di un sistema tampone efficace che intervenga nei periodi di black-out per un tempo superiore alle 2-3 ore.

### 6.3 DEFINIZIONE DEI REQUISITI DI UN SISTEMA INTELLIGENTE PER LA VISUALIZZAZIONE E LA GESTIONE DEI CARICHI E DEI CONSUMI

Abitualmente l'unico controllo che viene effettuato sui consumi elettrici nelle abitazioni, aziende, enti è la lettura della bolletta dell'energia elettrica in termini di costo.

Per poter acquisire una maggiore consapevolezza dei profili di consumo in relazione all'effettiva attività svolta all'interno dell'edificio è monitorare i consumi (istantanei ed in tempo reale) attraverso l'installazione di adeguati apparecchi di misura e comunicazione.

Dal punto di vista logico, le funzioni svolte da un adeguato "Energy meter" sono i seguenti:

- Raccolta costante in tempo reale dei dati strumentali;
- Elaborazione istantanea dei dati raccolti secondo logiche personalizzabili;
- Visualizzazione grafica via WEB delle elaborazioni e dei dati istantanei e storici;
- Allarmistica dei problemi riscontrati e notifica via Mail e/o SMS (laddove disponibile).

Le nuove tecnologie che caratterizzano l'ICT (Information and Communication Technology) accoppiate a tradizionali strumenti di misura consentono tramite protocollo TCP/IP, indipendentemente dalla rete trasmissiva, di poter avere un quadro completo ed in tempo reale, oppure analizzare report storici dettagliati, di tutte le grandezze monitorate (Potenza, Tensione, Corrente, Cos Phi, etc.) e dei relativi consumi, di un qualsiasi numero di apparati, ovunque, posti nel mondo, purchè raggiungibili via TCP/IP. Gli strumenti di misura sono dotati di datalogger che consente il campionamento delle misure con time step fino a qualche minuto; tramite un cavo seriale ogni strumento multimetro è collegato con una interfaccia TCP/IP che permette di inviare i dati periodicamente presso un server centrale o presso i PC di ciascun dipendente dotati di apposito software di lettura con il quale è possibile visionare, tramite sia le misure storiche sia le misure in tempo reale da qualsiasi postazione internet.

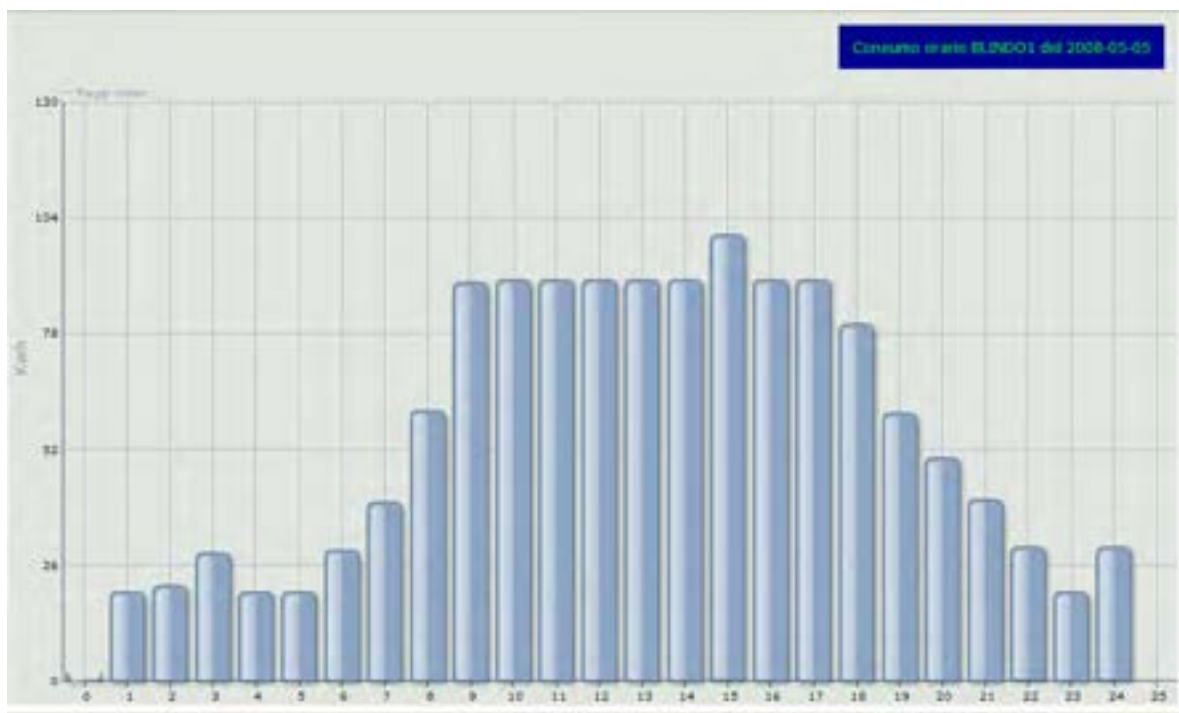


Figura 37: Diagramma di carico orario tipo, visualizzabile da remoto

Il vantaggio non sarà solo nella maggiore consapevolezza da parte degli utenti degli sprechi dovuti ad un "comportamento" poco sostenibile (lasciare la luce accesa, mantenere il PC in stand-by per lunghi periodi, accendere il condizionatore quando non necessita, ecc), ma anche nell'individuare azioni "a costo zero" che possono ridurre notevolmente i consumi energetici nei luoghi di lavoro con la possibilità di quantificare in tempo reale l'effettivo risparmio economico ed energetico indotto.



Figura 38: schema tipico di sistema di monitoraggio energetico via WEB