



## Ricerca di Sistema elettrico

# Metodologia di analisi per migliorare l'efficienza energetica del sistema edificio/impianto in edifici vincolati

G. Fasano, C. Romeo, F. Margiotta, G. Centi

*Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis*

METODOLOGIA DI ANALISI PER MIGLIORARE L'EFFICIENZA ENERGETICA DEL SISTEMA EDIFICIO/IMPIANTO IN EDIFICI VINCOLATI

G. Fasano, C. Romeo, F. Margiotta, G. Centi (ENEA)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

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: Metodologia di analisi per migliorare l'efficienza energetica del sistema edificio/impianto in edifici vincolati

esponsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

## Indice

Premessa .....	6
Obiettivi .....	6
LA DIAGNOSI ENERGETICA .....	7
A cosa serve la diagnosi energetica.....	8
I requisiti di una buona diagnosi energetica .....	8
Diagnosi energetica e certificazione energetica.....	11
STRUMENTAZIONE PER LA DIAGNOSTICA.....	13
Termografia .....	13
Blower Door Test .....	14
Termoflussimetro .....	14
Termoigrometro .....	15
Endoscopio a Fibre Ottiche .....	15
Energy Meter .....	15
Distanziometro Laser .....	15
Spessivetro .....	15
LA PROCEDURA DELL'ANALISI .....	17
Caratterizzazione del sistema: acquisizione dei dati climatici e di localizzazione dell'edificio, profilo di utilizzo e carichi energetici .....	17
Definizione delle condizioni di comfort richieste .....	19
Il benessere nella climatizzazione degli ambienti abitati .....	19
Caratterizzazione dell'involucro edilizio.....	20
Analisi e caratterizzazione dei sistemi impiantistici .....	22
Le utenze elettriche e la produzione da fonti rinnovabili .....	24
Esame visivo dello stato di conservazione del bruciatore.....	25
Esame visivo dello stato di conservazione del generatore di calore.....	25
Controllo funzionale del sistema di termoregolazione .....	25
Controllo del sistema di emissione.....	26
Controllo del sistema di distribuzione .....	26
Rilievo dei consumi.....	27
Il bilancio energetico del sistema edificio-impianto.....	27
La Procedura di calcolo.....	28

Definizione del sistema e dati di input al calcolo .....	28
Definizione delle condizioni interne e dei dati di ingresso relativi al clima esterno .....	29
Definizione e raccolta dei dati di ingresso per i calcoli.....	30
<b>Dati relativi alle caratteristiche tipologiche dell’edificio</b> .....	31
<b>Dati relativi alle caratteristiche termiche e costruttive dell’edificio</b> .....	31
<b>Dati climatici</b> .....	31
<b>Dati relativi alle modalità di occupazione e di utilizzo dell’edificio</b> .....	31
Ottimizzazione delle 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. ....	31
Ottimizzazione dei contratti di fornitura di energia elettrica.....	31
Valutazione della fattibilità tecnico-economica degli interventi (analisi di massima) .....	32
d)    Analisi dei consumi reali e ottimizzazione dei contratti di fornitura di energia .....	35
Individuazione dei possibili interventi di energy saving.....	36
Valutazione della fattibilità tecnico-economica .....	38
APPENDICE Esempio di diagnosi energetica.....	39
INTRODUZIONE.....	40
APPENDICE 1: Analisi energetica di complessi edilizi di pregio architettonico: l'Istituto Universitario Europeo di Fiesole: la Badia Fiesolana .....	41
1.OBIETTIVO DELL’ANALISI ENERGETICA.....	41
2.IL CONTESTO DELLA NORMATIVA TECNICA VIGENTE PER IL CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA.....	42
3LO STRUMENTO DI CALCOLO EPA-NR PER L’ANALISI ENERGETICA .....	44
4. I DATI CLIMATICI DEL SITO IN ESAME.....	45
5. L’ISTITUTO UNIVERSITARIO EUROPEO DI BADIA FIESOLANA.....	46
5.1    Gli impianti installati .....	47
5.2    L’analisi energetica della biblioteca .....	48
5.2.1.    Rilievo e raccolta dati.....	48
Caratterizzazione del sistema edificio-impianto .....	60
5.2.2.    Presentazione e valutazione dei risultati di calcolo.....	67
Valutazione di incremento performance energetica: scenari di intervento .....	71
5.2.3.    Valutazioni finali .....	78
L’ANALISI ENERGETICA DEL COMPLESSO STORICO .....	79
Rilievo e raccolta dati .....	79
Caratterizzazione del sistema edificio-impianto .....	85
Presentazione e valutazione dei risultati .....	93
Valutazione di incremento performance energetica: scenario di intervento.....	97

L'ANALISI ENERGETICA DEL COMPLESSO EDILIZIO DELL'ISTITUTO UNIVERSITARIO EUROPEO DI BADIA  
FIESOLANA..... 98

    Presentazione e valutazione dei risultati ..... 98

    Valutazione di incremento performance energetica ..... 103

## Premessa

La metodologia di seguito illustrata si inquadra e trova la sua applicazione nel contesto della strategia integrata europea in materia di efficienza energetica ed ambientale negli edifici.

Per la valutazione degli interventi non si può prescindere da una attenta analisi di *diagnosi* energetica per assicurare che gli interventi proposti possano rappresentare concrete soluzioni di efficientamento energetico e possano essere applicate negli edifici, oggetto del bando, con il migliore rapporto costi/benefici.

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 derivato da possibili interventi sulle utenze finali può essere valutato e dimostrato solo se è possibile avere dati coerenti fra di loro o comunque confrontabili nel tempo. Perciò occorre avere a disposizione dati più dettagliati possibile in modo da risalire dai consumi rilevati all'attività che in quel momento si stava svolgendo.

In questa guida non vengono trattati le modalità di calcolo dei fabbisogni energetici e quelle relative ai rendimenti degli impianti che sono valutazioni non prettamente rispondenti allo scopo di questa trattazione.

Per la valutazione tecnica degli interventi si può ricorrere a specifici codici di calcolo dinamici di simulazione che sono in grado di definire i vantaggi e la correttezza delle scelte di progetto. Bisogna comunque tener presente che per un coerente utilizzo di tali codici è necessario "tararli" sul caso in esame e utilizzare con molta attenzione i parametri e le grandezze fisiche di riferimento. L'utilizzo di questi codici senza la dovuta esperienza ed attenzione possono portare a valutazioni non esatte. Pertanto per una corretta valutazione dell'utilizzo di questi codici è opportuno che nella relazione tecnica esplicativa queste considerazioni devono essere opportunamente esplicitate. I codici più utilizzati sono il TRNSYS e ENERGY Plus- con applicativo En. Builder .

## Obiettivi

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:

- Definire il bilancio energetico del sistema edificio-impianto e individuare i possibili recuperi delle energie disperse;

- Valutare le condizioni di comfort e di sicurezza necessarie;
- Individuare appropriate tecnologie energy-saving (incremento dell'efficienza energetica), e valutarne le opportunità tecnico-economiche;
- 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
- Ridurre i costi per gli approvvigionamenti energetici;
- Migliorare la sostenibilità ambientale nella scelta e nell'utilizzo delle fonti energetiche;
- Riquilibrare (eventualmente) il sistema energetico.

## LA DIAGNOSI ENERGETICA

La diagnosi energetica del sistema edificio impianto può essere definita, secondo quanto riportato dal D.Lgs. n. 102/2015 , Articolo 2, come

***“Diagnosi Energetica è la procedura sistematica volta a fornire un’adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività 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***

Per *diagnosi energetica (DE)* del sistema edificio-impianto (ad esso com'è noto si fa riferimento in ogni analisi energetica relativa a strutture edili) s'intende, infatti, una procedura finalizzata alla conoscenza degli usi finali di energia e, indi, all'individuazione e all'analisi di eventuali inefficienze e criticità energetiche dell'edificio e degli impianti presenti; per concludersi infine con un 'ragionato' suggerimento di azioni ed interventi utili all'implementazione dell'indice di efficienza energetica del sistema.

Per valutare il grado d'efficienza del sistema edificio-impianto, oltre l'analisi delle caratteristiche prestazionali degli elementi dell'involucro si dovrà procedere all'analisi dei carichi e dei consumi termici ed elettrici, in relazione alla destinazione d'uso che si sta monitorando, incrociando i diagrammi di carico elettrico e termico con gli orari di funzionamento degli impianti (condizionamento invernale ed estivo, illuminazione e ventilazione).

La diagnosi energetica prevede, pertanto, una serie di operazioni consistenti, sinteticamente:

- nel rilievo ed analisi di dati relativi al sistema edificio-impianto in condizioni standard di esercizio:
  - dati geometrico-dimensionali,
  - caratteristiche termofisiche dei componenti l'involucro edilizio,
  - dati caratteristico-prestazionali del sistema impiantistico, ecc.
- nell'analisi e nelle valutazioni economiche dei consumi energetici dell'edificio
- nell'individuazione d'interventi di miglioramento dell'efficienza del sistema, tecnicamente validi ed economicamente sostenenti.

***L'obiettivo primario della DE è individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati.***

A tal fine:

- occorre *predisporre un modello energetico* (termico ed elettrico) che riassume la tipologia di utenza, le potenze installate, i profili di utilizzazione e le ore di funzionamento degli impianti (acquisizione dati climatici ecc.)
- fare un *bilancio energetico* che descriva l'andamento dei flussi energetici caratteristici dell'edificio in modo da valutare in maniera puntuale i consumi specifici, le criticità e gli interventi da considerare.

### *A cosa serve la diagnosi energetica*

L'analisi delle prestazioni del sistema edificio-impianto in condizioni di esercizio, consente di *simulare gli effetti degli interventi di riqualificazione energetica* di un edificio, al fine di *valutare quali risultino più efficienti* sia dal punto di vista sia del risparmio energetico che del ritorno economico.

La Diagnosi Energetica è un'indagine che deve precedere qualsiasi intervento di riqualificazione energetica, in quanto essa è in grado di fornire le informazioni necessarie a comprendere quali interventi risultino più convenienti sotto il profilo del risparmio di combustibile e di energia (gas, gasolio, energia elettrica ecc.) e quali si ripaghino più in fretta.

Così operando si sarà in grado di fare studi di fattibilità attendibili e business plan convincenti e condivisibili dall'utente ed, eventualmente, dall'istituto finanziatore.

Le Diagnosi energetiche hanno, infatti, lo scopo di individuare i possibili risparmi di energia in termini di conduzione impianti, gestione dell'immobile, isolamento termico dell'edificio.

Ciò avviene attraverso una conoscenza approfondita del reale comportamento (e del consumo) energetico della realtà sottoposta ad esame al fine di individuare le più efficaci modifiche di tale comportamento, con cui conseguire i seguenti obiettivi:

- miglioramento dell'efficienza energetica;
- riduzione dei costi per gli approvvigionamenti energetici;
- miglioramento della sostenibilità ambientale nella scelta e nell'utilizzo di tali fonti;
- eventuale riqualificazione del sistema energetico.

La diagnosi energetica sarà allora consigliata e in alcuni casi imprescindibile, di volta in volta:

- per il singolo proprietario/utente
- per l'amministratore di un condominio o di una struttura edilizio impiantistica
- per l'energy manager
- per il progettista, per la Esco
- per l'istituto finanziario

### *I requisiti di una buona diagnosi energetica*

In quanto procedura sistematica la DE deve possedere i requisiti di: *Rispondenza ai riferimenti normativi e di legge*, Completezza, Attendibilità, Tracciabilità, Utilità.

- *Rispondenza ai riferimenti normativi: l'analisi deve rispondere a tutti i requisiti per essa fissati dalla normativa tecnica e dalle leggi in vigore.*

- **Completezza:** il sistema energetico edificio-impiantistica di servizio dev'essere definito in modo completo, comprendendo tutti gli aspetti della struttura edile e dell'impiantistica correlata e a servizio dell'edificio.
- **Attendibilità:** i dati di input acquisiti e opportunamente catalogati dovranno riflettere l'attendibilità dei dati di fatturazione dei servizi energetici e delle rilevazioni strumentali nonché della attrezzatura di misura al fine di permettere una corretta valutazione di calcolo dei consumi energetici.
- **Tracciabilità:** tutti i dati di input all'analisi di diagnosi devono essere registrati al fine di permetterne una facile individuazione ai fini dell'elaborazione degli stessi nell'ambito dell'analisi di calcolo.
- **Utilità:** al committente dovrà essere rimessa una documentazione in forma tale da permetterne la comprensibilità e la capacità di decisione in merito all'efficacia, all'utilità degli interventi di efficientamento ed ai relativi aspetti costi/benefici.

## **Il Quadro normativo di riferimento**

Di seguito si fornisce 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.

#### **DLgs 102/2015 Attuazione della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica**

Modifica ed abroga: *a) gli articoli: 5, comma 2; 2, comma 1, lettere a) , e) , l) , n) , v) ; 11, commi dall'1 e 2; 16, commi 1, 2 e 3; 17; 18, comma 3 del decreto legislativo 30 maggio 2008, n. 115;..... omissis*

L'art 8 definisce i soggetti obbligati ad eseguire la diagnosi energetica e le figure professionali che sono riconosciuti per fornire tale prestazione. Inoltre nell'allegato 2 riporta:

***Criteri minimi per gli audit energetici, compresi quelli realizzati nel quadro dei sistemi di gestione dell'energia***

I criteri minimi che devono possedere gli audit di qualità sono di seguito riportati:

- a) sono basati su dati operativi relativi al consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili e (per l'energia elettrica) sui profili di carico;
- b) comprendono un esame dettagliato del profilo di consumo energetico di edifici o di gruppi di edifici, di attività o impianti industriali, ivi compreso il trasporto;
- c) ove possibile, si basano sull'analisi del costo del ciclo di vita, invece che su semplici periodi di ammortamento, in modo da tener conto dei risparmi a lungo termine, dei valori residuali degli investimenti a lungo termine e dei tassi di sconto;
- d) sono proporzionati e sufficientemente rappresentativi per consentire di tracciare un quadro fedele della prestazione energetica globale e di individuare in modo affidabile le opportunità di miglioramento più significative;

Gli audit energetici consentono calcoli dettagliati e convalidati per le misure proposte in modo da fornire informazioni chiare sui potenziali risparmi. I dati utilizzati per gli audit energetici possono essere conservati per le analisi storiche e per il monitoraggio della prestazione.

### ***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 un'adeguata conoscenza del **profilo di consumo energetico** di un edificio o gruppo di edifici, di una attività 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, ai fini della Certificazione energetica, viene utilizzata per individuare le modifiche più efficaci dal punto di vista della prestazione energetica

## STRUMENTAZIONE PER LA DIAGNOSTICA

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 utili e necessari per la caratterizzazione energetica di un edificio possiamo annoverare i seguenti:

1. Fotocamera a raggi infrarossi per la Termografia;
2. Attrezzatura di Blower Door test;
3. Termoflussimetro;
4. Termoigrometro;
5. Endoscopio a fibre ottiche;
6. Distanziometro laser;
7. 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%!!). È 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 essere superiore al **10%** di errore.

### *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 capacità di identificare la causa dei difetti imputabili ad una costruzione scadente o ad un'anomalia strutturale, formatasi nel tempo per colpa di un'errata messa in opera o pessima conduzione dei lavori, 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 sull'edilizia storica e moderna.

La termografia ad infrarossi viene spesso impiegata per: verificare lo stato della struttura muraria individuando eventuali perdite d'acqua o infiltrazioni ancora non visibili ad occhio nudo, caratterizzare la struttura e la tessitura muraria prima di intervenire in maniera invasiva allo scopo di risparmiare tempo e denaro nelle ristrutturazioni, ecc.

L'impiego della termografia ad infrarossi raggiunge la sua massima utilità nell'identificazione tempestiva di guasti su edifici; con la possibilità di ripararli 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.

Le possibilità di impiego della termografia si riferiscono e trovano utile applicazione:

- Individuazione di difetti strutturali
- Visualizzazione di dispersioni energetiche
- Restauro e risanamento degli edifici
- Individuazione di permeabilità all'aria
- Controllo infiltrazioni su tetti a terrazzo
- 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 dei fabbisogni energetici

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'effettuazione di una diagnosi termografica in combinazione con il Blower Door test rappresenta l'approccio ideale per l'individuazione e lo studio nel dettaglio delle dispersioni termiche causate dalla tenuta all'aria dell'involucro edilizio.

### *Termoflussimetro*

Il termoflussimetro è l'unico strumento che permette di misurare in maniera "quantitativa", chiara e precisa e senza alcun intervento demolitivo, la conducibilità, e quindi il grado di isolamento termico, di una parete verticale orizzontale o di un tetto.

E' una tecnica che permette quindi di fornire i corretti dati di input ai calcoli di valutazione del reale rendimento energetico di un edificio.

E' utilizzata sia per gli edifici esistenti, al fine di conoscere la reale necessità di isolamento necessaria per rientrare nei parametri di legge, sia sugli edifici nuovi o post-ristrutturazione per valutare la qualità del lavoro eseguito.

La strumentazione (conforme alla normativa ISO 9869), di norma, si compone di un data-logger, di una piastra flussimetrica e di 4 sonde a contatto per la misura delle temperature delle pareti interne ed esterne.

Le misure vengono poi scaricate su PC ed elaborate tramite un apposito software che effettua il calcolo diretto del coefficiente K e dei parametri legati all'isolamento termico. La prova termoflussimetrica, effettuata dopo un'ispezione termografica, è la prova più affidabile per valutare, con un buon grado di approssimazione, la trasmittanza termica di una parete, misurata in  $\text{kWh/m}^2\text{K}$ .

### *Termoigrometro*

E' uno strumento a mezzo del quale si misura la percentuale di umidità presente all'interno della parte di involucro interessata. Le percentuali di riferimento sono nella prassi così classificate:

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

Questo tipo di verifica è importante nei casi in cui la presenza di una dispersione termica possa essere riconosciuta come perdita/infiltrazione o mancata coibentazione.

Lo strumento permette la rilevazione del tenore di umidità in modo estremamente rapido e senza alcuna deteriorazione dell'oggetto in esame. La misura viene effettuata in profondità semplicemente appoggiando lo strumento sulla superficie da misurare, in corrispondenza di un foro praticato sulla struttura muraria. La profondità di rilevazione può raggiungere i 5 cm.

### *Endoscopio a Fibre Ottiche*

Necessario per eseguire una corretta stratigrafia, permette con un piccolo foro (10/12mm) di riconoscere i tipi di materiale usati per comporre il manufatto.

La corretta individuazione dello spessore e del tipo di materiale usato, consente un calcolo abbastanza preciso della trasmittanza equivalente del manufatto (mai come con il termoflussimetro).

Indispensabile quando non si hanno dati di progetto e quando non si è sicuri della composizione della struttura. La sonda inserita nel foro praticato in parete permette di "vedere" con semplicità i vari strati che compongono il pacchetto murario; un metodo quindi rapido e poco invasivo.

### *Energy Meter*

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 un'analisi critica dei dati, la definizione 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.

### *Distanziometro Laser*

Necessario per il posizionamento dei punti di misura del termoflussimetro e per la localizzazione esatta dei ponti termici e in generale dei difetti costruttivi.

### *Spessivetro*

E' uno strumento utilizzato per individuare gli spessori del vetro da infisso e delle vetrate. La capacità di poter discriminare in opera le caratteristiche di vetri sprovvisti di certificati o

marcature, aiuta notevolmente a poter sviluppare opportuni calcoli per la determinazione dei valori di trasmittanza dell'elemento. Lo strumento si rivela di grande utilità per i tecnici della manutenzione e a maggior ragione per i certificatori energetici.

Le indicazioni che lo strumento può fornire, senza smontare l'elemento e semplicemente appoggiando lo strumento alla superficie più comoda all'operatore, 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).

## LA PROCEDURA DELL'ANALISI

Le fasi della diagnosi energetica di un edificio sono:

- *Caratterizzazione del sistema: acquisizione dei dati climatici e di localizzazione dell'edificio, profilo di utilizzo e carichi energetici*
- *Definizione delle condizioni di comfort richieste;*
- *Caratterizzazione dell'involucro edilizio;*
- *Analisi e caratterizzazione dei sistemi impiantistici presenti;*
- *Rilievo dei consumi*
- *Raccolta dei dati di input al calcolo*
- *Definizione del bilancio energetico del sistema edificio-impianto;*
- *Individuazione di appropriate tecnologie e interventi energy-saving e valutazione delle opportunità tecnico-economiche (analisi di massima);*
- *Valutazione della fattibilità tecnico-economica degli interventi finalizzati ad un incremento dell'efficienza energetica del sistema edificio-impianto;*
- *Ottimizzazione delle 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.*

### *Caratterizzazione del sistema: acquisizione dei dati climatici e di localizzazione dell'edificio, profilo di utilizzo e carichi energetici*

I dati climatici e di ubicazione sono:

- *Dati climatici della località* (gradi giorno del comune di appartenenza, velocità media del vento e irraggiamento solare), possono essere ricavati semplicemente indicando il comune e la provincia in cui è ubicato l'edificio preso in analisi;
- *Dati relativi all'ubicazione dell'edificio*, come ad esempio edifici circostanti ed ogni altro elemento esterno (orografia, vegetazione, costruzioni varie) che schermano la radiazione solare, influenzano il profilo dei venti; (radiazione termica edifici vicini). Importante è indicare la categoria dell'edificio secondo il D.P.R. 412/93.

e possono essere così elencati:

1. Comune di appartenenza – Provincia;
2. Data di costruzione dell'edificio;
3. Categoria edificio secondo il D.P.R. 412;
4. Orientamento prevalente;
5. Dimensione in pianta (m<sup>2</sup>);
6. Altezza del sito (m. s.l.m.);
7. Destinazione d'uso della zona soggetta ad audit;
8. Latitudine e longitudine;
9. Colore dell'intonaco esterno;
10. Tipo di tetto (piano, ecc.);
11. Il contesto in cui si colloca l'edificio (Urbano, Periferia, Campagna);
12. Ombreggiamenti (edifici vicini, frangisole, aggetti, vegetazione).

Per completare la raccolta d'informazioni relative alla destinazione d'uso e profilo di utilizzo dell'edificio, occorre conoscere come viene vissuto dagli utenti, in termini di occupazione, di attività che vi sono svolte, di abitudini quotidiane. Tutte queste informazioni sono fondamentali per un calcolo energetico veritiero (ved. di seguito il successivo punto "*Definizione del bilancio energetico del sistema edificio-impianto*") e il più possibile concorde con l'effettiva spesa energetica che gli utenti sostengono; e d'altro canto tali dati non sono deducibili dalle relazioni e dai dati progettuali o vi si discostano in modo considerevole. Quindi è fondamentale reperire il maggior numero di informazioni e col maggior dettaglio possibile.

In una prima fase si effettuerà un'intervista alla persona di riferimento che giunge alla fine del percorso preventivo di acquisizione dati e si concentra su tutti gli aspetti legati alla presenza delle persone all'interno dell'edificio. Questi dati, uniti a quelli ricavabili dai progetti, rappresenteranno gli input per la simulazione termica della zona soggetta ad audit. Si suggerisce di richiedere informazioni tecniche sull'involucro o sugli impianti all'utenza soltanto se non è presente alcun progetto e se non è possibile effettuare alcuna prova per determinarli.

È importante che in tale intervista vi sia una bozza precisa di domande, affinché il conduttore non divaghi e fornisca informazioni che non sono utili alla diagnosi. L'intervista si concentrerà sui fattori legati all'occupazione e profili di utilizzo, conduzione di impianti e caratteristiche delle zone confinanti.

*I dati da raccogliere sull'occupazione e sui profili di utilizzo (che dovranno essere riferiti ai relativi giorni della settimana comprendendo anche l'orario) sono:*

1. Numero di persone presenti e attività svolte;
2. Ricambi d'aria mediante apertura delle finestre (se questo dato non è disponibile, il valore dei ricambi d'aria può essere desunto da tabelle delle norme tecniche UNI, e per casi particolari affidato alla valutazione del diagnosta)
3. Richiesta di ACS (litri d'acqua/orario);(anche in questo caso, se questo dato non è disponibile, il valore dei ricambi d'aria può essere desunto da tabelle delle norme tecniche UNI, e per casi particolari affidato alla valutazione del diagnosta)
4. Potenza elettrica per illuminazione installata e n° di ore di utilizzo;
5. Apparecchi elettrici-o elettronici presenti (elettrodomestici, computer, etc e utilizzo)

*Dati da raccogliere per la conduzione degli impianti (dovranno essere riferiti ai relativi giorni della settimana) sono:*

1. Temperatura di *set point* impianto di riscaldamento (°C);
2. Orari di accensione dell'impianto di riscaldamento;
3. Temperatura di *set point* impianto di raffrescamento (°C);
4. Orari di accensione dell'impianto di raffrescamento.

Per le caratteristiche delle zone confinanti i dati da raccogliere (dovranno prendere in esame l'occupazione delle zone confinanti nei diversi lati nord, est, sud, ovest considerando anche il solaio inferiore e il solaio superiore), essi sono:

1. Occupazione della zona confinante;
2. Temperatura di termostazione della zona confinante.

I dati tecnici specifici di input al calcolo del bilancio energetico edificio-impianto e, quindi, dei consumi in energia primaria (come richiesto dalla normativa di legge) verranno meglio definiti nel seguito in “Definizione del sistema e dati di input al calcolo”.

## Definizione delle condizioni di comfort richieste

### Il benessere nella climatizzazione degli ambienti abitati

Definire con un criterio generale le condizioni di benessere, o comfort ambientale, non è cosa semplice, essendo la risposta del corpo umano ai numerosi parametri in gioco estremamente soggettiva. La percezione che si ha del benessere ambientale, di cui la componente termica è la più rilevante, dipende da individuo a individuo e principalmente dal suo stato di salute e dall’età, senza dimenticare le componenti psicologica (stato d’animo) ed emotiva.

Negli ambienti climatizzati si cerca di creare condizioni di comfort mantenendo i seguenti *parametri fisici ambientali* entro valori limite e combinandoli variamente tra loro in modo ottimale:

- temperatura dell’aria ambiente
- umidità relativa dell’aria ambiente
- temperatura delle superfici visibili dal soggetto, in particolare di quelle fredde
- inquinamento dell’aria
- livello di illuminazione
- velocità relativa dell’aria rispetto al soggetto (presenza di correnti d’aria naturali o indotte artificialmente)
- livello del rumore prodotto dagli impianti di climatizzazione.

La condizione di benessere è influenzata inoltre dai seguenti parametri fisici personali:

- livello dell’attività fisica (metabolismo)
- caratteristiche di isolamento termico dei vestiti.

Per questi due parametri sono state create due unità di misura ad hoc, il met, con cui si valuta il metabolismo di ogni attività fisica ed il clo, con cui si valuta l’isolamento termico di ogni tipologia di vestiario.

*Tra i parametri fisico-ambientali, il principale contributo alla creazione delle condizioni di benessere ambientale è dato dalla combinazione di temperatura e umidità, che sono, tra l’altro, i fattori maggiormente controllabili con gli impianti termici.*

*Il benessere termico si ha quando l’individuo riesce a mantenere la condizione di equilibrio termico (con temperatura interna corporea di 37 °C) senza attivare il meccanismo della termoregolazione*

L’analisi e la diagnosi propositiva dovranno riferirsi a determinate richieste di confort, cioè a quella particolare condizione di benessere determinata, da una condizione psicofisica in cui un individuo esprime *soddisfazione nei confronti dell’ambiente che lo circonda*. I fattori che concorrono alla determinazione di benessere sono funzione delle percezioni sensoriali che un individuo inserito in un ambiente avverte, e

sono rappresentati da [temperatura](#), [umidità](#) dell'aria e livello di rumorosità e luminosità rilevati all'interno dell'ambiente.

Gli indici più importanti del confort ambientale, noti come *indici di Fanger*, sono:

- PMV (predicted mean vote): esprime un voto medio previsto per la sensazione di benessere termico.
- PPD (predicted percentage of dissatisfied): è la percentuale prevista per delle persone insoddisfatte.

Quindi l'analisi di diagnosi energetica dovrà mirare alla rilevazione delle criticità di questi parametri che possono influenzare il confort ambientale attraverso il grado di soddisfazione dell'utenza. La norma di riferimento è la UNI EN ISO 7730/2006.

Per la valutazione delle condizioni di sicurezza si dovrà prendere in esame tutti gli aspetti legati al funzionamento dell'impiantistica termica e alla domotica, che più di ogni altro, oltre che il confort, influenzano le condizioni di sicurezza all'interno dell'edificio.

### *Caratterizzazione dell'involucro edilizio*

I dati di input alla diagnostica energetica relativi all'edificio ed utili, in particolare, per il calcolo del suo fabbisogno energetico comprendono, ovviamente, i *dati relativi alle caratteristiche tipologiche e costruttive dell'edificio*, utili all'analisi del comportamento termico dell'involucro edilizio. Essi possono, quando siano disponibili, essere ricavati dal progetto del complesso edificio-impianto,. In mancanza di una documentazione tecnica di progetto, i dati relativi all'involucro si ricavano sulla base delle informazioni relative alla tipologia edilizia durante il sopralluogo, da misurazioni effettuate in campo, con la strumentazione di cui prima, ed in ultima analisi dall'utenza stessa.

*Questi dati interessano i seguenti componenti:*

- **Tamponamenti verticali:**

lo scopo della raccolta dati riguardante i tamponamenti verticali è quello della determinazione della trasmittanza, della stratigrafia e della capacità termica delle pareti; valori di fondamentale importanza per il calcolo del fabbisogno di energia termica di un edificio. I dati da reperire sono i seguenti:

1. se una parete è interna o esterna, stratigrafia e materiali
2. caratteristiche termo-fisiche dei materiali componenti la parete (tipicamente: spessore, conducibilità termica, densità, calore specifico, permeabilità al vapore)
3. Caratteristiche geometriche (larghezza, altezza, spessore totale)

*Se questi dati non sono rilevabili dal progetto, essi saranno da determinare con l'ausilio della strumentazione dedicata prima descritta.*

- **Finestre:**

di fondamentale importanza è la raccolta dati per le superfici finestrate, in quanto esse svolgono un ruolo rilevante sugli scambi termici di un edificio. Quindi diventa importante andare a raccogliere tutte le informazioni costruttive delle finestre individuando le dimensioni geometriche dell'infisso e dei vetri. I dati da individuare comprendono:

1. le dimensioni degli infissi (altezza, larghezza)
2. Caratteristiche termo-fisiche del vetro e del telaio
3. le dimensioni del vetro (altezza larghezza), il suo spessore e la tipologia (singolo, doppio, triplo)
4. se è un vetro con trattamento termico o no (basso emissivo, controllo solare )
5. Tipo di telaio e spessore
6. Il tipo di gas di riempimento (là dove esso sia presente)

- **Cassonetto e muro sottofinestra:**

dopo aver raccolto i dati geometrici e costruttivi del cassonetto, ponendo una particolare attenzione alla presenza o meno dell'isolamento termico si passerà all'analisi del muro sottofinestra valutandone (la dove è possibile) lo spessore. I dati da raccogliere comprenderanno:

1. Altezza, Profondità e Larghezza del cassonetto
2. Se isolato oppure no
3. Altezza Larghezza del muro sottofinestra

- **Ponti termici lineari:**

I ponti termici lineari non sono facili da individuare in fase di sopralluogo, ma è possibile definirli attraverso l'acquisizione dei dati progettuali dell'edificio (piante, sezioni e prospetti). I dati da raccogliere saranno suddivisi in due tipologie:

1. Ponti termici verticali
2. Ponti termici orizzontali

*In ogni caso è sempre opportuno rilevare i ponti termici attraverso l'indagine termografica*

- **Tamponamenti orizzontali:**

possono essere distinti in base alle loro caratteristiche di tipo funzionale in tre categorie:

1. coperture
2. interpiani
3. basamenti

Essendo strutture generalmente in muratura, la classificazione di questi elementi è del tutto simile a quella utilizzata per le superfici opache verticali. L'analisi mira ad ottenere una completa descrizione stratigrafica delle strutture individuando la presenza dell'isolante (la dove è presente) riportandone il tipo e lo spessore. I dati da raccogliere comprendono:

- **Coperture**

I dati da definire riguardano:

1. Inclinazione delle falde (se presenti)
2. Caratteristiche termo-fisiche dei materiali componenti la copertura (tipicamente: spessore, conducibilità termica, densità, calore specifico, permeabilità al vapore)
3. Caratteristiche geometriche (larghezza, profondità, spessore totale)

- **Interpiani**

I dati da definire riguardano:

1. Caratteristiche termo-fisiche dei materiali componenti (tipicamente: spessore, conducibilità termica, densità, calore specifico, permeabilità al vapore)

## 2. Caratteristiche geometriche (larghezza, profondità, spessore totale)

- **Basamenti**

I dati da definire riguardano:

1. Caratteristiche termo-fisiche dei materiali componenti (tipicamente: spessore, conducibilità termica, densità, calore specifico, permeabilità al vapore)
2. Caratteristiche geometriche (larghezza, profondità, spessore totale)
3. Tipologia di appoggio (se su pilotis, direttamente sul terreno, su vespaio, etc.)

- **Aggetti:**

Questi elementi dell'involucro edilizio sporgono dall'involucro e possono influenzare sensibilmente l'irraggiamento diretto degli elementi costruttivi a diretto contatto con gli ambienti interni. Il calcolo dei fattori di ombreggiamento è di fondamentale importanza per la determinazione degli apporti energetici gratuiti dall'esterno dovuti all'irraggiamento solare sia per il periodo estivo che per quello invernale.

La caratteristica dell'aggetto determinerà un fattore correttivo in sede di valutazione dell'influenza dell'irraggiamento solare, molto importante per il periodo estivo.

### *Analisi e caratterizzazione dei sistemi impiantistici*

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:

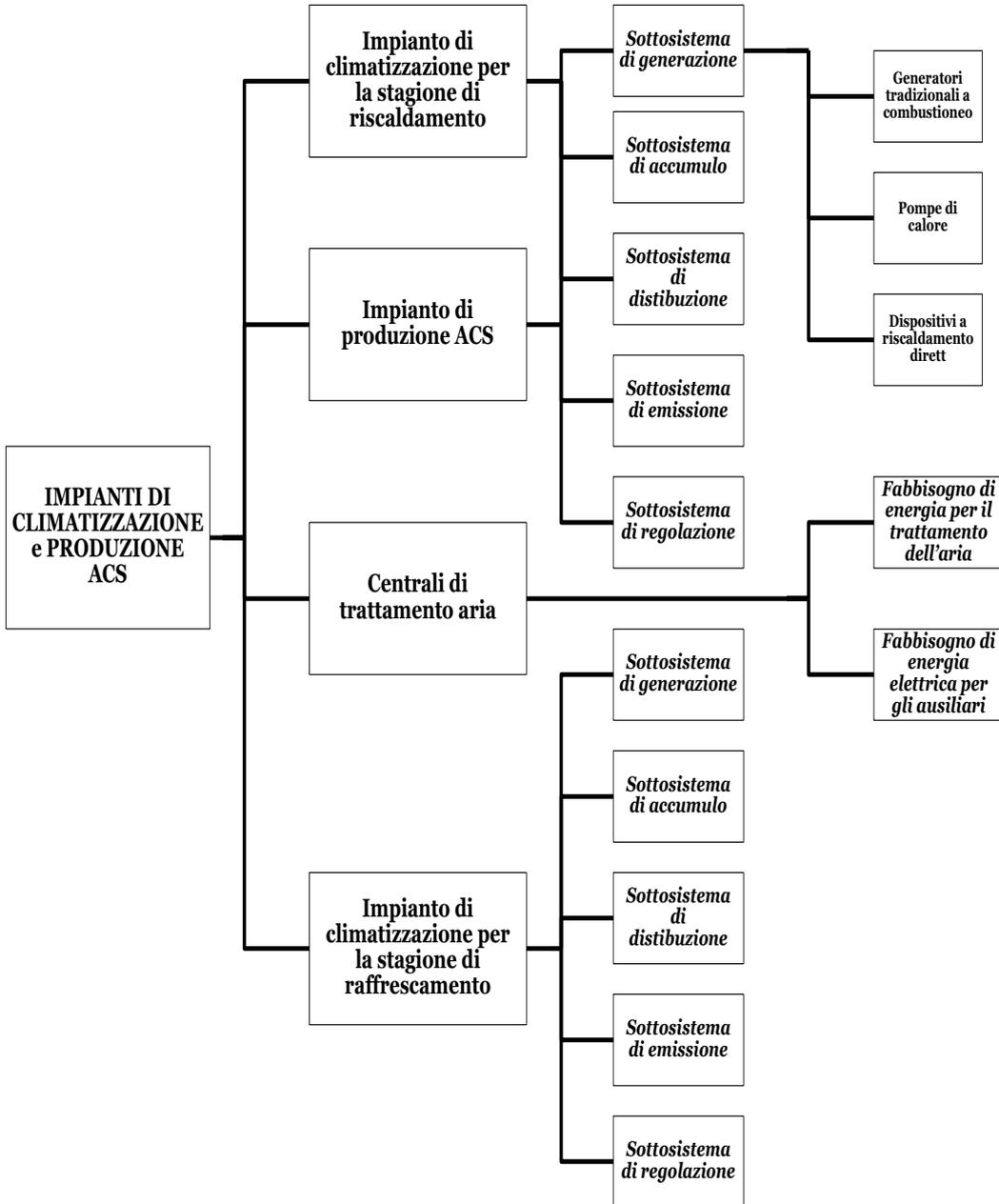
- Sistema di generazione (dedicato o combinato con la produzione di acqua calda per usi sanitari): tipologia e caratteristiche tecniche generatore termico (potenza nominale, rendimento utile, ecc.), tipo di alimentazione
- Sottosistema di distribuzione: tipologia circuito, tipo di isolamento dei circuiti,
- 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:

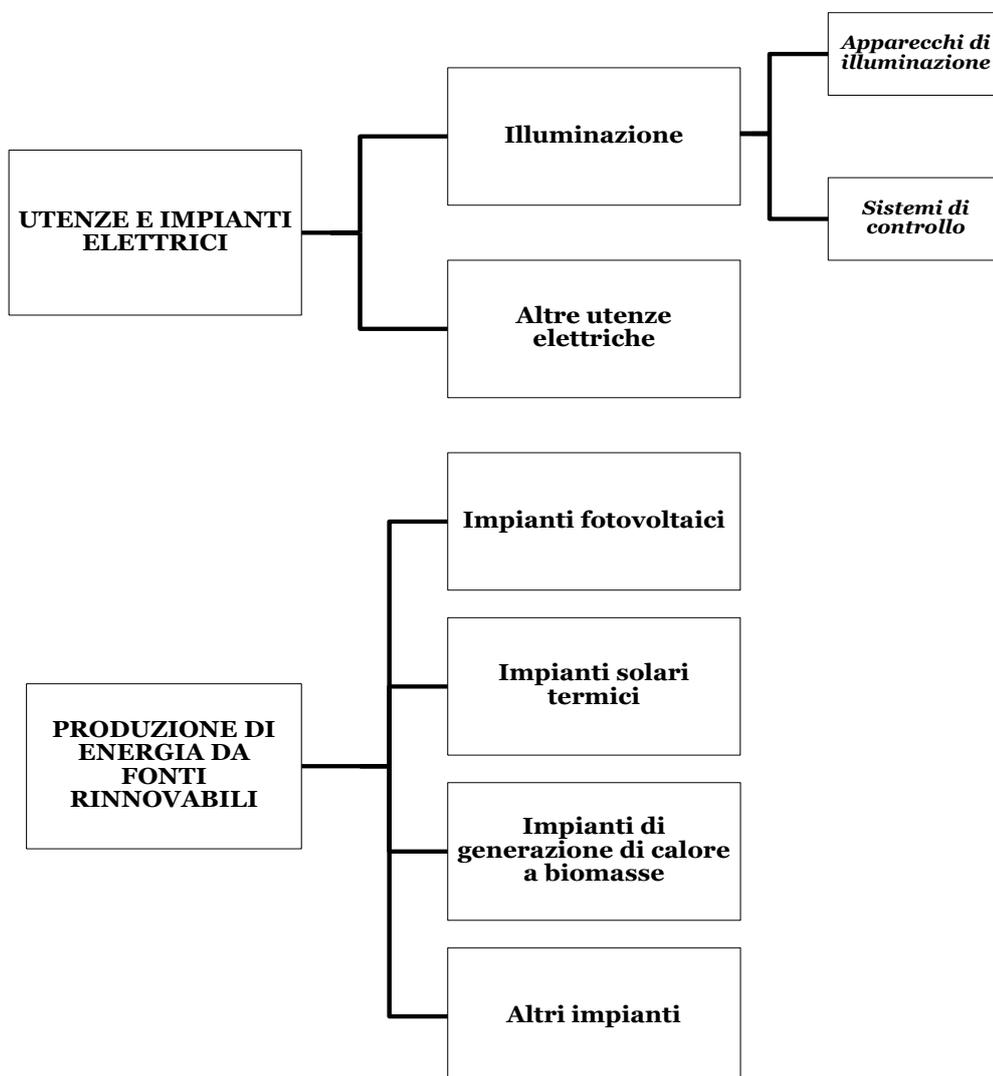


### *Le utenze elettriche e la produzione da fonti rinnovabili*

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



Gli impianti termici destinati al riscaldamento dei locali ed alla preparazione di acqua calda per usi igienico-sanitari, sono soggetti, nel tempo, ad un inevitabile degrado, dovuto all'azione combinata di sollecitazioni meccaniche, sollecitazioni termiche ed usura, che ne possono ridurre il livello di sicurezza e di efficienza energetica.

Il corretto funzionamento nel tempo di un impianto termico, ai fini della sicurezza, dell'efficienza energetica e della tutela dell'ambiente, è quindi subordinato all'esecuzione di periodici controlli e ad un'accurata manutenzione.

L'esercizio di un impianto è l'attività che dispone e coordina, nel rispetto delle prescrizioni relative alla sicurezza, al contenimento dei consumi energetici e alla salvaguardia dell'ambiente, le attività relative all'impianto termico, come la conduzione, la manutenzione e il controllo, e altre operazioni per specifici componenti dell'impianto (per esempio la misurazione in opera del rendimento di combustione del generatore di calore).

*I dati da raccogliere per eseguire un'analisi sui sistemi impiantistici presenti nell'edificio riguardano:*

#### *Esame visivo dello stato di conservazione del bruciatore*

Tra le indicazioni, quelle eseguibili in fase di sopralluogo:

1. la targa sia integra e leggibile;
2. il bruciatore sia esente da incrostazioni, ossidazioni, bruciature, o altre alterazioni che ne possano compromettere l'efficienza e la buona conservazione;
3. gli organi di movimento meccanico siano integri, senza segni di usura anomali e opportunamente lubrificati;
4. il circuito dell'aria necessaria alla combustione sia pulito e sgombro da qualsiasi impedimento al libero flusso del comburente;
5. tutti i dispositivi di regolazione siano in buono stato di conservazione;
6. la guarnizione di tenuta del bruciatore sulla piastra di applicazione al generatore di calore sia integra e non vi sia alcuna traccia di fughe di prodotti della combustione (rilevabile ad esempio mediante bruciature della vernice circostante);

#### *Esame visivo dello stato di conservazione del generatore di calore*

Deve essere controllato:

- 4.3.4.1. la targa sia integra e leggibile;
- 4.3.4.2. lo stato di conservazione delle superfici metalliche (accessibili) interne al circuito dei prodotti della combustione, con particolare riguardo alle zone di saldatura;
- 4.3.4.3. lo stato di conservazione ed integrità dei materiali isolanti della coibentazione delle superfici esterne del generatore di calore e del mantello che deve essere sempre correttamente montato.

#### *Controllo funzionale del sistema di termoregolazione*

Un'attenta analisi e diagnosi dello stato di conservazione e del corretto funzionamento del sistema di termoregolazione (sonde di temperatura esterna relè, sonde di temperatura acqua di riscaldamento e

organi di regolazione) è sicuramente di fondamentale importanza al fine di giudicare del corretto funzionamento di questa parte del sistema di riscaldamento dell'edificio.

### *Controllo del sistema di emissione*

#### **1 Controllo dei Corpi scaldanti**

Il controllo dei corpi scaldanti (sistema di emissione) è importante perché un cattivo stato di questi componenti può influire notevolmente sul rendimento di produzione medio stagionale di energia per il riscaldamento invernale.

Quindi è consigliabile porre l'attenzione su:

1. tenuta di tutti i corpi scaldanti, compresi le valvole, i detentori, gli attacchi tra i vari componenti) e il normale rifornimento di aria comburente.
2. alla pulizia delle batterie alettate dei termoconvettori o di parti alettate di altri corpi scaldanti privi di filtri. Ove sono presenti filtri, occorre verificarne la pulizia e verificare se la loro sostituzione è avvenuta con la frequenza indicata dal fabbricante o dal fornitore.
3. verificare verniciatura dei corpi scaldanti, soprattutto in locali umidi e per apparecchi di lamiera o con parti di lamiera suscettibili di corrosioni esterne.

### *Controllo del sistema di distribuzione*

#### **2 Conduiture (tubazioni e canalizzazioni)**

La norma prevede i controlli da effettuare per le tubazioni di adduzione del fluido termovettore ai corpi scaldanti e le canalizzazioni dei condotti aeraulici.

#### **3 Controllo delle tubazioni**

Il controllo della tenuta delle tubazioni deve essere eseguito negli impianti contenenti acqua o altri liquidi allorché si constatino perdite non attribuibili a generatori od apparecchi utilizzatori. Esso deve essere eseguito con particolare attenzione in corrispondenza dei raccordi, tra tronchi di tubo, tra tubi e organi interposti, tra tubi ed apparecchi utilizzatori.

Almeno una volta ogni tre anni occorre controllare:

1. lo stato degli eventuali giunti di dilatazione e di eventuali giunti elastici provvedendo, se deteriorati, alla loro sostituzione;
2. la tenuta delle congiunzioni a flangia;
3. la stabilità dei sostegni delle tubazioni e degli eventuali giunti fissi;
4. l'assenza di inflessioni nelle tubazioni a causa di dilatazioni termiche ostacolate e non compensate o per effetto dell'eccessiva distanza tra i sostegni.

#### **4 Controllo delle canalizzazioni d'aria dei sistemi centralizzati**

Almeno una volta ogni cinque anni, nei sistemi di distribuzione dell'aria, occorre controllare:

1. lo stato delle canalizzazioni allo scopo di individuare eventuali corrosioni e fughe d'aria, queste ultime rivelate da annerimenti delle pareti in prossimità delle fughe stesse;
2. la stabilità dei sostegni;
3. il regolare funzionamento di eventuali serrande di intercettazione

## Rilievo dei consumi

Andranno reperiti e attentamente analizzati i **dati di consumo del combustibile adoperato per il riscaldamento e quello dell'energia elettrica utilizzata direttamente o per gli ausiliari di sistema.**

Questi dati servono per una stima preliminare sulla qualità energetica dell'edificio e dell'impiantistica, nonché per la valutazione dei tempi di ritorno economico delle soluzioni implementative dell'efficienza energetica del sistema proposte in esito alla diagnosi.

I consumi di energia per riscaldamento vanno rilevati dalle bollette o fatture delle utenze termiche dell'edificio in esame, relative possibilmente ai tre anni antecedenti a quello della data della diagnosi (indicando il tipo di combustibile utilizzato), riportandoli ad un dato di consumo medio annuo. L'unità di misura utilizzata è il kWh. Lo stesso vale per i consumi di energia elettrica.

I dati da raccogliere sono quindi:

1. Tipo di combustibile o calore fornito dalla rete
2. consumo annuo (bolletta) kWh (per i tre anni precedenti, al fine di determinare il consumo medio annuo)
3. spesa (Euro/anno)
4. Se si utilizza l'Energia elettrica rilevare:
  - potenza impegnata (kW);
  - fattore di potenza;
  - consumi anno per i tre anni precedenti in kWh in modo da determinare il consumo medio annuo;
  - contratto di fornitura e opzione tariffaria;

## Il bilancio energetico del sistema edificio-impianto

Per bilancio energetico si intende l'analisi quantitativa dei flussi di energia all'interno di un sistema definito.

Il bilancio energetico dev'essere finalizzato a determinare "quanta" e che "tipo" di energia è stata consumata in un dato periodo di tempo (ad esempio un anno) 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 materia ed energia.

Per motivi pratici nella prassi progettuale corrente si utilizzano bilanci semplificati, su base stagionale o mensile, che possono essere eseguiti con normali fogli di calcolo. Di questo tipo è il metodo di calcolo contenuto nella norma europea EN ISO 13790:2008 "Energy performance of buildings —Calculation of energy use for space heating and cooling". 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 (decreto legge 192 e successivi decreti attuativi) 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/TS11300 – 1, la UNI/TS 11300 – 2, la UNI/TS 11300 – 3 e la UNI/TS 11300 – 4.*

## *La Procedura di calcolo*

La procedura per il calcolo degli indicatori della prestazione energetica degli edifici, definita dalla Norme UNI TS 11300, prevede i passi di calcolo di seguito esposti.

A) *Si inizia a definire condizioni e dati di input ai calcoli:*

1. Definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio;
2. Definizione dei confini delle diverse zone di calcolo, se richiesta;
3. Definizione delle condizioni interne di calcolo e dei dati di ingresso relativi al clima esterno;
4. Definizione dei dati di ingresso per i calcoli;

B) *passando poi alla fase di calcolazione:*

5. 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 ( $Q_{C,nd}$ );
6. Calcolo Fabbisogno di energia termica per ACS;
7. Calcolo rendimenti degli impianti;
8. Calcolo fabbisogno Energia Primaria per riscaldamento e ACS;
9. Calcolo rendimento globale medio stagionale.

*Di seguito, senza pretese di esaustività, si danno semplici indicazioni di massima per ciascuno dei passi della raccolta dei dati di input e del calcolo.*

## *Definizione del sistema e dati di input al calcolo*

### *Definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio*

In linea generale ogni porzione di edificio, climatizzata ad una determinata temperatura con identiche modalità di regolazione, costituisce una zona termica. Diverse unità immobiliari servite da un unico generatore, aventi proprie caratteristiche di dispersione ed esposizione, possono costituire altrettante zone termiche.

Ai fini dell'applicazione della norma (UNI TS11300), per definire i confini del volume lordo climatizzato si considerano le dimensioni esterne dell'involucro mentre, per definire i confini tra le zone termiche, si utilizzano le superficie di mezzera degli elementi divisorii.

### *Definizione dei confini delle diverse zone di calcolo*

La zonizzazione non è richiesta se si verificano le seguenti condizioni:

- a) Le temperature interne di regolazione per il riscaldamento differiscono di non oltre 4 K;
- b) Gli ambienti non sono raffrescati o comunque le temperature interne di regolazione per il raffrescamento differiscono di non oltre 4 K;
- c) Gli ambienti sono serviti dallo stesso impianto di riscaldamento;
- d) Se vi è un impianto di ventilazione meccanica, almeno l'80% dell'area climatizzata è servita dallo stesso impianto di ventilazione con tassi di ventilazione nei diversi ambienti che non differiscono di un fattore maggiore di 4.

È possibile che la zonizzazione relativa al riscaldamento differisca da quella relativa al raffrescamento.

### *Definizione delle condizioni interne e dei dati di ingresso relativi al clima esterno*

Per definire le condizioni interne di calcolo si fa riferimento alle condizioni desiderate di temperatura di climatizzazione invernale ed estiva.

*Per la climatizzazione invernale si assume:*

Per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie<sup>1</sup> E.6(1), E.6(2) e E.(7), si assume una temperatura interna costante pari a 20 °C.

- Per gli edifici di categoria E.6(1) si assume una temperatura interna costante pari a 28 °C
- Per gli edifici di categoria E.6(2) e E.8 si assume una temperatura interna costante pari a 18 °C.

Per gli edifici confinanti, in condizioni standard di calcolo, si assume:

- temperatura pari a 20 °C per edifici confinanti riscaldati e appartamenti vicini normalmente abitati;
- temperatura conforme alla UNI EN 12831 per appartamenti confinanti in edifici che non sono normalmente abitati (per esempio case vacanze);
- temperatura conforme all'appendice A della UNI EN ISO 13789:2008, per edifici o ambienti confinanti non riscaldati (magazzini, autorimesse, cantinati, vano scale, ecc.).

*Per la climatizzazione estiva si assume:*

- per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6.1 e E.6.2 si assume una temperatura interna costante pari a 26 °C.
- per gli edifici di categoria E.6.1 si assume una temperatura interna costante pari a 28 °C.
- per gli edifici di categoria E.6.2 si assume una temperatura interna costante pari a 24 °C.
- la temperatura interna degli edifici adiacenti è fissata convenzionalmente pari a 26 °C.

*Per il clima esterno, i dati climatici esterni sono desumibili dalla UNI 10349<sup>2</sup>*

I valori di irradianza solare totale media mensile sono infatti ricavati dai valori di irraggiamento solare giornaliero medio mensile forniti dalla UNI 10349. Per orientamenti intermedi tra quelli ivi indicati si procede per interpolazione lineare.

---

<sup>1</sup> V. DPR 412

<sup>2</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

I valori di temperatura esterna media giornaliera sono forniti dalla UNI 10349 e i valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di provincia italiani sono tabellati.

Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- Si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza);
- Si apporta una correzione al valore della temperatura della località di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$Q_e = Q_{er} - (Z - Z_r) \cdot \delta$$

dove:

$\theta_{e,r}$  è la temperatura nella località di riferimento;

Z è l'altitudine s.l.m. della località considerata;

$Z_r$  è l'altitudine s.l.m. della località di riferimento;

$\delta$  è il gradiente verticale di temperatura, in funzione della zona geografica, i cui valori sono rilevabili dalla Norma.

#### *Definizione e raccolta dei dati di ingresso per i calcoli*

Essi, in modo generale, includono:

- Dati relativi alle caratteristiche tipologiche dell'edificio:* volume lordo dell'ambiente climatizzato, volume interno (o netto) dell'ambiente climatizzato, superficie utile (o netta calpestabile) dell'ambiente climatizzato ecc..
- Dati relativi alle caratteristiche termiche e costruttive dell'edificio:* trasmittanze termiche dei componenti dell'involucro edilizio ( $U$ ), per le finestre dotate di chiusure oscuranti, occorre conoscere i valori della trasmittanza termica nelle due configurazioni: con chiusura oscurante aperta e con chiusura oscurante chiusa, capacità termiche dei componenti della struttura dell'edificio ecc..
- Dati climatici:* valori delle temperature esterne ( $t_e$ ) [°C], irradianza solare totale sul piano orizzontale ( $I_{sol,h}$ ) [ $W/m^2$ ], irradianza solare totale per ciascun orientamento ( $I_{sol}$ ) [ $W/m^2$ ] ecc..
- Dati relativi alle modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio:* temperatura interna di regolazione per il riscaldamento ( $t_i$ ), temperatura interna di regolazione per il raffrescamento ( $t_i$ ), numero di ricambi d'aria ( $n$ ), numero di persone e profilo con cui occupano l'edificio, potenza elettrica (per illuminazione e per apparecchiature elettriche-elettroniche presenti) installata e profilo di accensione.

*Nel dettaglio:*

### ***Dati relativi alle caratteristiche tipologiche dell'edificio***

- 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;
- Tipologie e dimensioni dei ponti termici;
- Orientamenti ed esposizione di tutti i componenti dell'involucro edilizio;
- Caratteristiche geometriche di tutti gli elementi esterni (altri edifici, aggetti, etc.) che ombreggiano i componenti trasparenti dell'involucro edilizio.

### ***Dati relativi alle caratteristiche termiche e costruttive dell'edificio***

- Trasmittanza termica dei componenti dell'involucro edilizio;
- Capacità termica dei componenti della struttura;
- Trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti;
- 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;
- Fattori di riduzione dovuti al telaio dei componenti trasparenti;
- Coefficienti di trasmissione lineare dei ponti termici.

### ***Dati climatici***

- Medie mensili di temperatura esterna;
- Medie mensili dell'irraggiamento solare totale per ciascun orientamento.

### ***Dati relativi alle modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio***

- Temperature di set-point (riscaldamento, raffrescamento);
- Numero di ricambi d'aria;
- Tipo di ventilazione e di regolazione della portata;
- Durata dei periodi di raffrescamento e riscaldamento;
- Regime di funzionamento dell'impianto termico;
- Modalità di gestione delle chiusure oscuranti;
- Modalità di gestione delle schermature mobili;
- Apporti di calore interni.

***Ottimizzazione delle 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.***

### ***Ottimizzazione dei contratti di fornitura di energia elettrica***

La legge 10/91 tra i suoi obiettivi indica il risparmio energetico, attraverso l'uso razionale dell'energia ed il miglioramento dell'efficienza degli impianti prevedendo l'uso di un **Contratto di Servizio Energia**.

I temi contenuti nel Contratto di Servizio Energia riguardano i seguenti aspetti:

- da una parte, si uniscono i concetti di confort e di risparmio energetico, in pratica si cerca di raggiungere il massimo risparmio di energia possibile mantenendo sempre un livello di confort adeguato alle esigenze degli utenti;
- dall'altra parte si individua nel miglioramento dell'efficienza degli impianti che producono e utilizzano l'energia, lo strumento per garantire confort e risparmio energetico.

E' significativo, nell'ambito di una diagnosi energetica, prendere in esame anche questo aspetto che, anche se non direttamente, può incidere in modo rilevante sull'efficienza energetica.

L'analisi di un contratto energia ha un duplice scopo:

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.
2. La verifica della convenienza economica di un cambio di società fornitrice di energia elettrica e/o di combustibile.

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).

Appare opportuno, infine, evitare la produzione di calore mediante elettricità (riscaldamento elettrico per la cucina e per la produzione di acqua calda sanitaria, ecc.), collegando questi sistemi all'impianto termico, si avranno considerevoli risparmi economici.

### *Valutazione della fattibilità tecnico-economica degli interventi (analisi di massima)*

Degli interventi individuati va effettuata una valutazione preliminare di fattibilità tecnico-economica e se necessario si procede ad uno studio di fattibilità, per individuare le soluzioni che producono un risparmio sia sotto il profilo di efficientamento energetico e sia sotto il profilo economico.

Per effettuare una valutazione di *fattibilità tecnico-economica* è necessario esaminare l'intervento nei suoi diversi aspetti, allo scopo di identificare le condizioni tecnico-gestionali che consentono la realizzabilità dell'intervento:

- La fattibilità tecnica dei diversi interventi ipotizzabili, tenuto conto del rispetto dei vincoli paesaggistici, ambientali, architettonici, archeologici ecc.,
  - la soluzione più adeguata per l'involucro e i consumi energetici relativi alla soluzione,
  - la soluzione impiantistica più appropriata al caso specifico fra una serie di soluzioni
- 
- alternative,
  - i consumi energetici del nuovo impianto,
  - il risparmio energetico ottenibile rispetto alla situazione precedente l'intervento,
  - il sistema di tariffazione,
  - i costi di realizzazione e di gestione del nuovo impianto.

Quindi 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.

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).

La determinazione del valore dei flussi energetici deve essere effettuata preferibilmente sulla base dei dati e delle informazioni ricavabili dalla documentazione disponibile, dalle interviste all'utenza nella fase di sopralluogo, prestando comunque attenzione a salvaguardare l'economicità in termini di tempo e risorse delle operazioni di diagnosi. Qualora alcuni dati non fossero disponibili o se la loro rilevazione risultasse troppo impegnativa, si possono utilizzare le procedure semplificate e i valori pre-calcolati forniti dalle normative e citati in questo rapporto. In particolare l'impegno di maggiori risorse da parte del diagnosta va concentrato nei sottosistemi e nelle zone termiche più energivore.

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

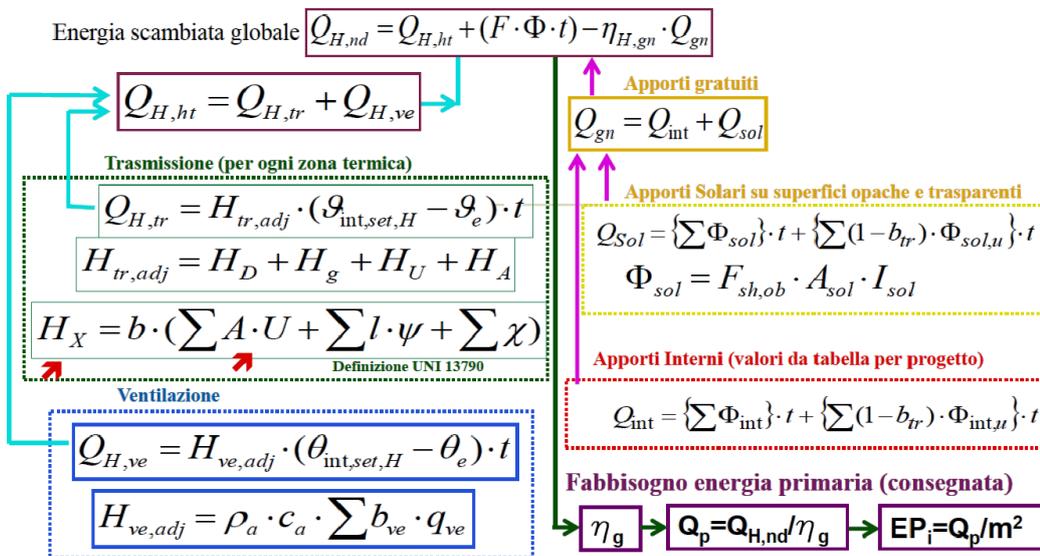
Il metodo consente di tener conto delle variazioni temporali delle temperature interna ed esterna, dell'inerzia termica delle masse costituenti l'edificio e del regime di funzionamento dell'impianto (attenuazioni, intermittenza, interruzioni).

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:



#### d) *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:

a. 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.

b. 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).

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

Obiettivo finale della diagnosi energetica è quello di individuare possibili interventi di 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 PREDIBILE
SQUILIBRIO TRA CONDIZIONI AMBIENTE RAGGIUNTE IN ZONE SERVITE DALLO STESSO CIRCUITO		ZONIZZAZIONE DELL'ALIMENTAZIONE DEI CIRCUITI CHE SERVONO AREE CON CARATTERISTICHE DIVERSE	

## *Valutazione della fattibilità tecnico-economica*

I possibili interventi di energy saving, andranno selezionati effettuando un'opportuna analisi di fattibilità che ne evidenzia 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

## 1. APPENDICE Esempio di diagnosi energetica

### INDICE

INTRODUZIONE.....	40
APPENDICE 1: Analisi energetica di complessi edilizi di pregio architettonico: l'Istituto Universitario Europeo di Fiesole: la Badia Fiesolana .....	41
1.OBIETTIVO DELL'ANALISI ENERGETICA.....	41
2. IL CONTESTO DELLA NORMATIVA TECNICA VIGENTE PER IL CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA.....	42
3.LO STRUMENTO DI CALCOLO EPA-NR PER L'ANALISI ENERGETICA .....	44
4.I DATI CLIMATICI DEL SITO IN ESAME .....	45
5.L'ISTITUTO UNIVERSITARIO EUROPEO DI BADIA FIESOLANA.....	46
5.1    Gli impianti installati .....	47
5.2    L'analisi energetica della biblioteca .....	48
5.2.1.    Rilievo e raccolta dati.....	48
5.2.2.    Caratterizzazione del sistema edificio-impianto .....	60
5.2.3.    Presentazione e valutazione dei risultati.....	67
5.2.4.    Valutazione di incremento performance energetica: scenari di intervento .....	71
5.2.5.    Valutazioni finali .....	78
5.3    L'ANALISI ENERGETICA DEL COMPLESSO STORICO.....	79
5.3.1.    Rilievo e raccolta dati.....	79
5.3.2.    Caratterizzazione del sistema edificio-impianto .....	85
5.3.3.    Presentazione e valutazione dei risultati.....	93
5.3.4.    Valutazione di incremento performance energetica: scenario di intervento .....	97
5.4    L'ANALISI ENERGETICA DEL COMPLESSO EDILIZIO DELL'ISTITUTO UNIVERSITARIO EUROPEO DI BADIA FIESOLANA.....	98
5.4.1.    Presentazione e valutazione dei risultati.....	98
5.4.2.    Valutazione di incremento performance energetica.....	103

## 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>3</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>3</sup> Le condizioni standard considerate nella valutazione sono quelle indicate nella normativa di riferimento: DLgs 192/2005 e smi 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. Le norme riportate fanno riferimento al quelle vigenti al momento dell'attività svolta.

**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.

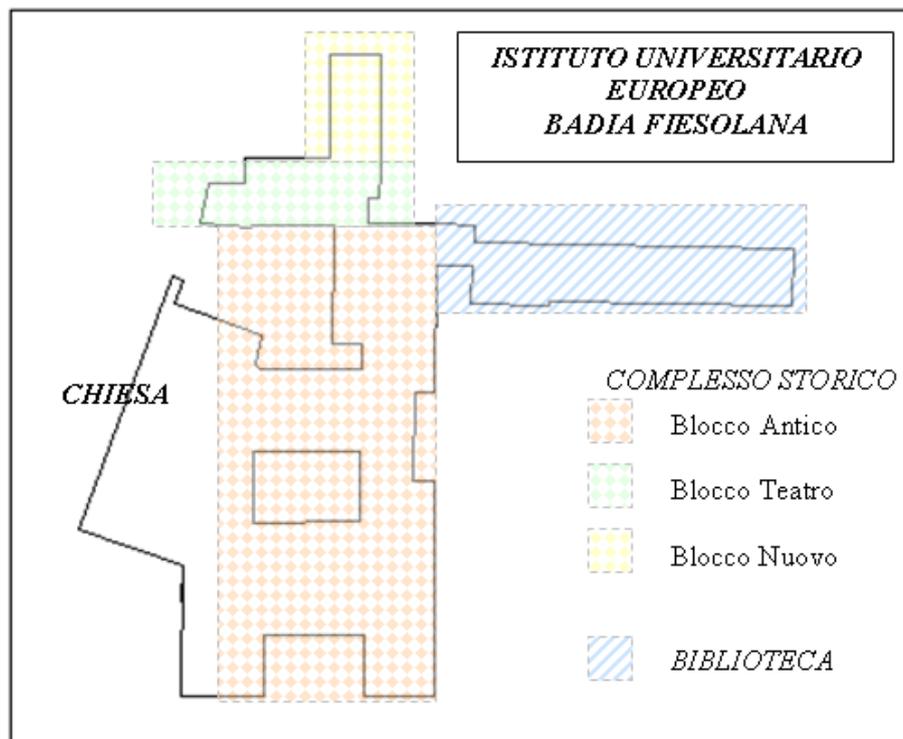


Figura 1: il complesso dell'Istituto Universitario Europeo

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 ( $U_{value}$  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	

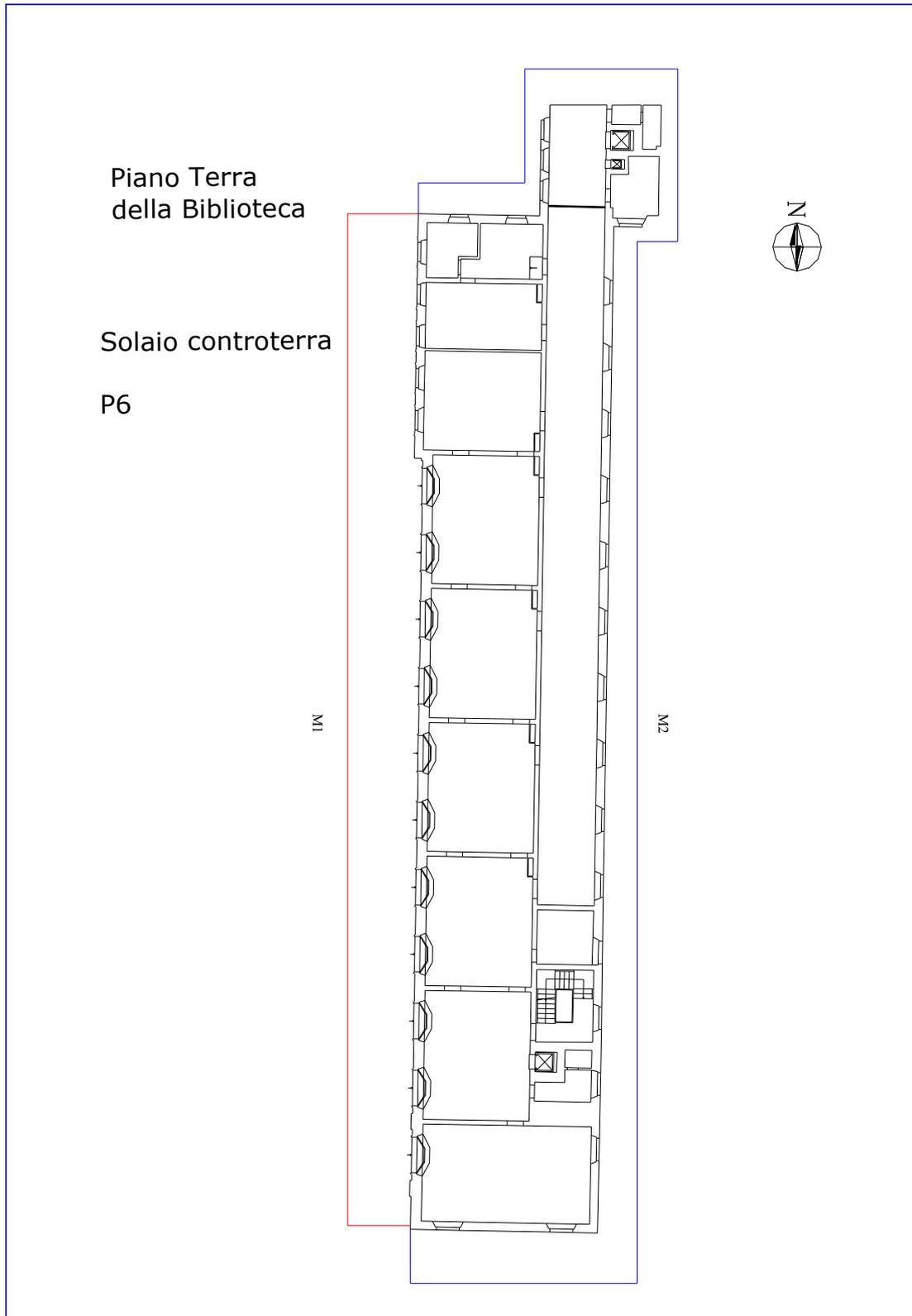


Figura 2: Localizzazione Strutture Murarie Piano Terra



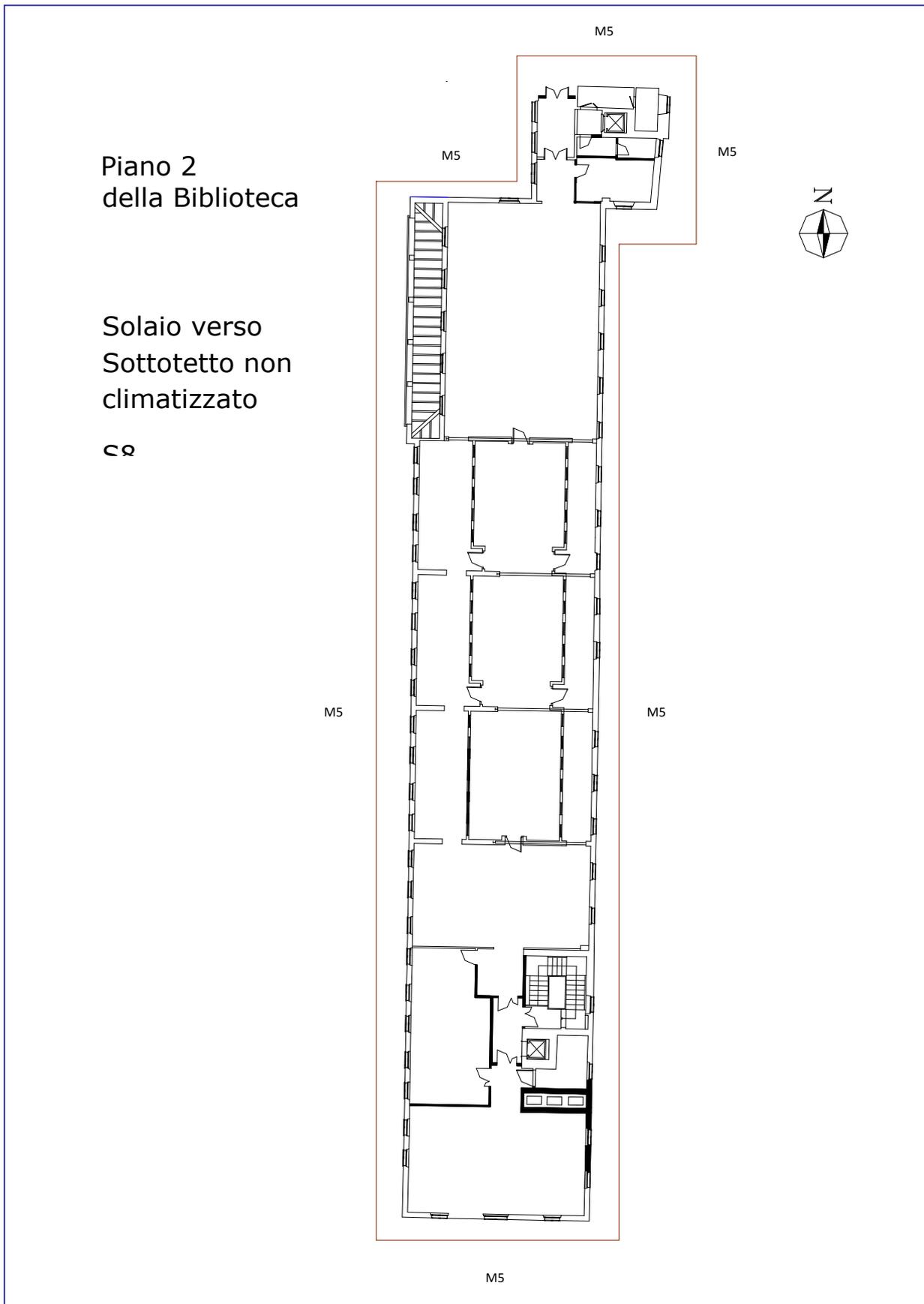


Figura 4: Localizzazione Serramenti Secondo Livello

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

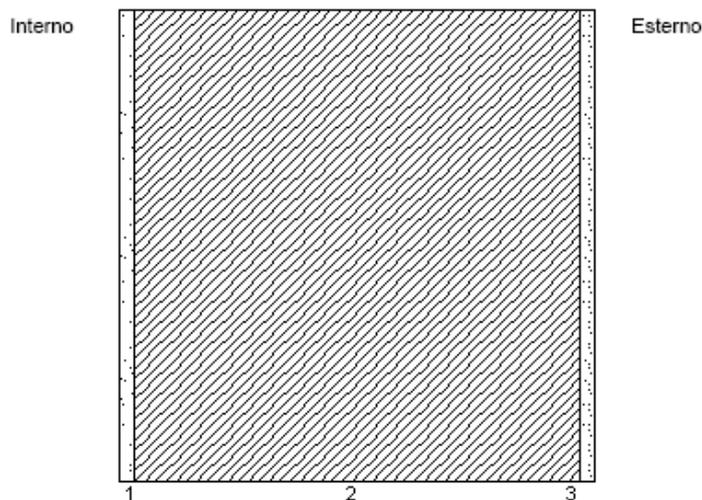
**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**  
secondo UNI EN ISO 13790 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

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	$\delta a$ permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti temperatura interna
C conduttanza	$\delta u$ permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te temperatura esterna
$\lambda$ conduttività	R resistenza termica dei singoli strati	pi pressione parziale interna
$\rho$ massa volumica		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

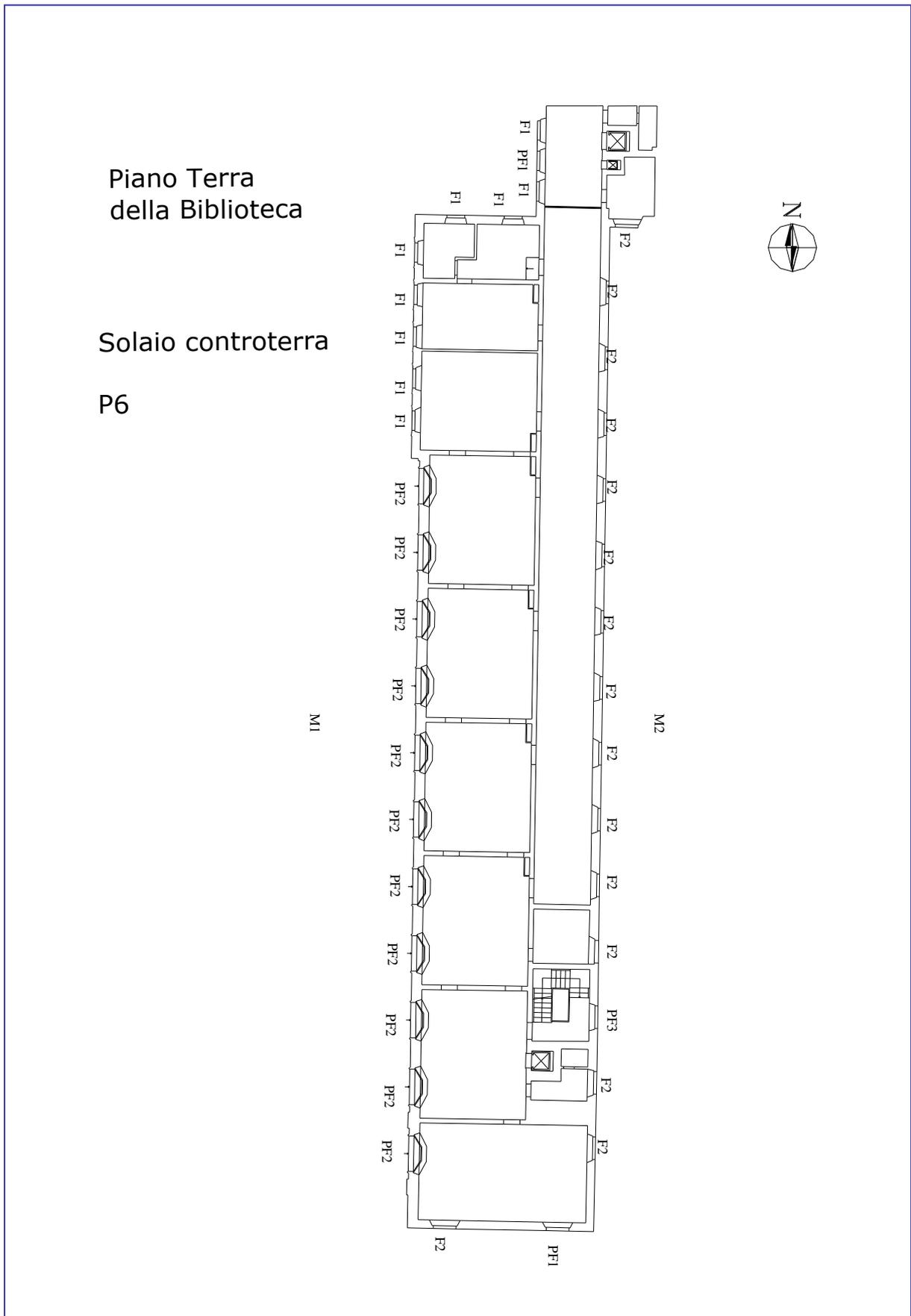


Figura 5: Localizzazione Serramenti Piano Terra

## Piano 1 della Biblioteca

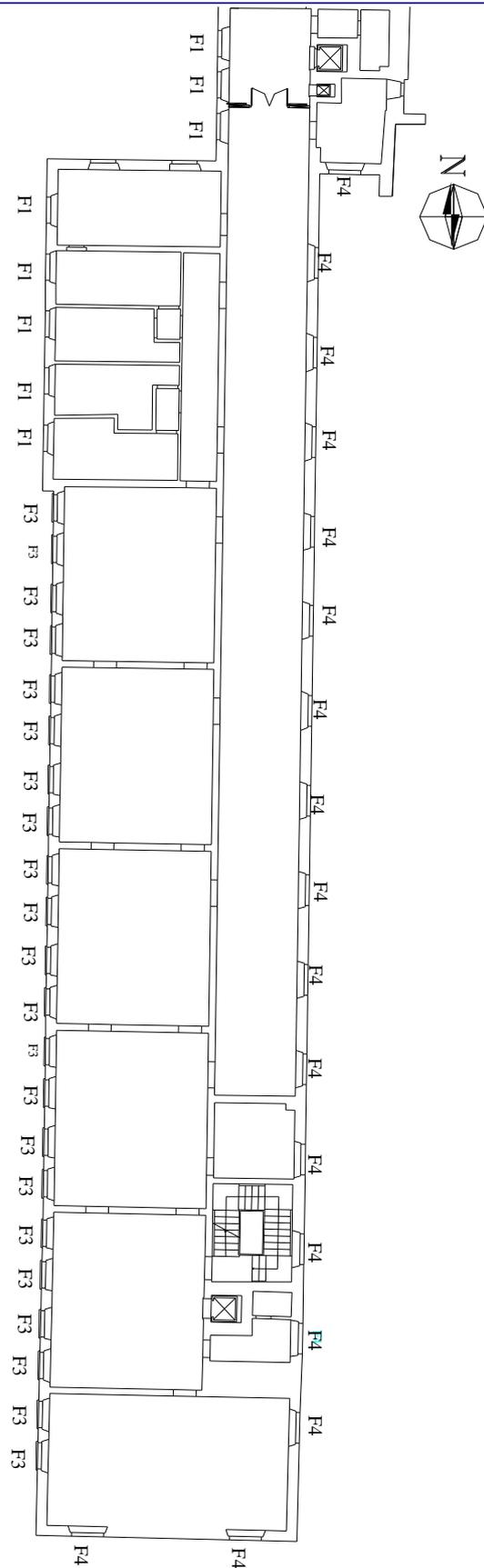


Figura 6: Localizzazione Serramenti Primo Livello

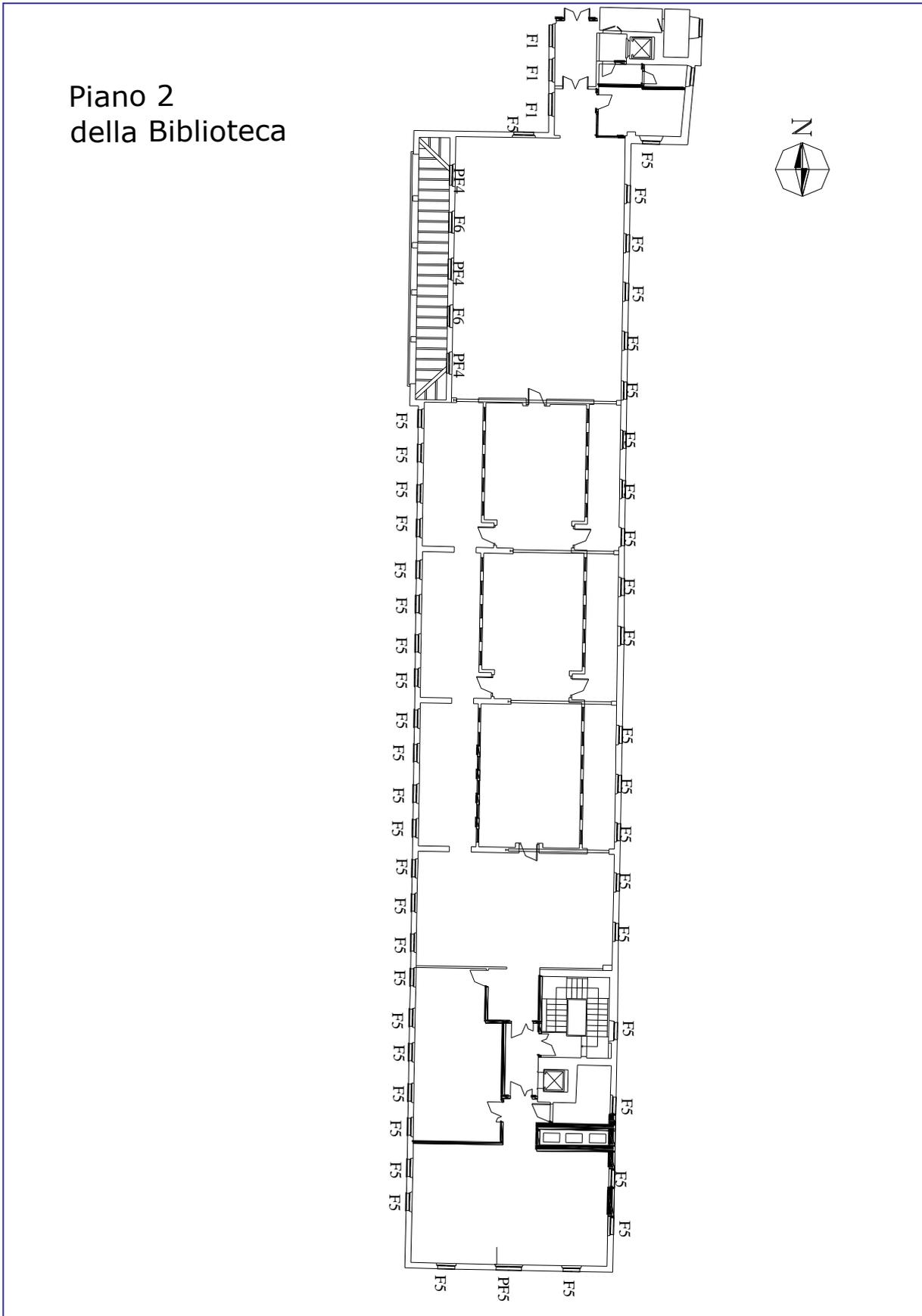


Figura 7: Localizzazione Serramenti Secondo Livello

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 PonteTermico [W/m<sup>2</sup>K]</b>				<b>3,33</b>

F 1

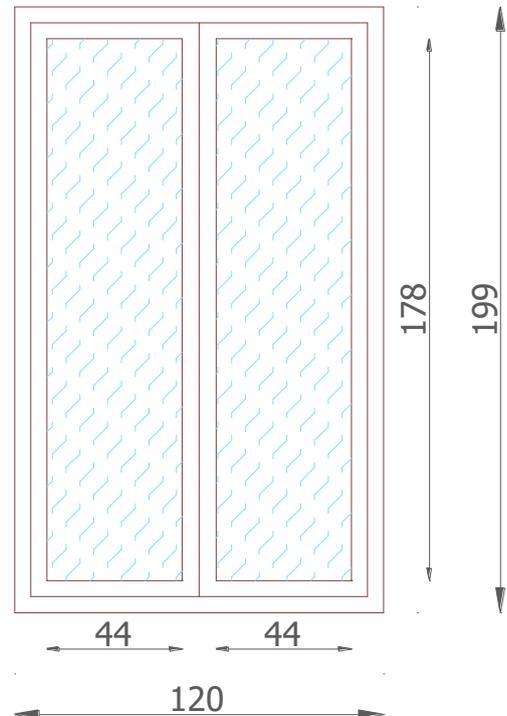
Tipologia telaio: **LEGNO**

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



### 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.

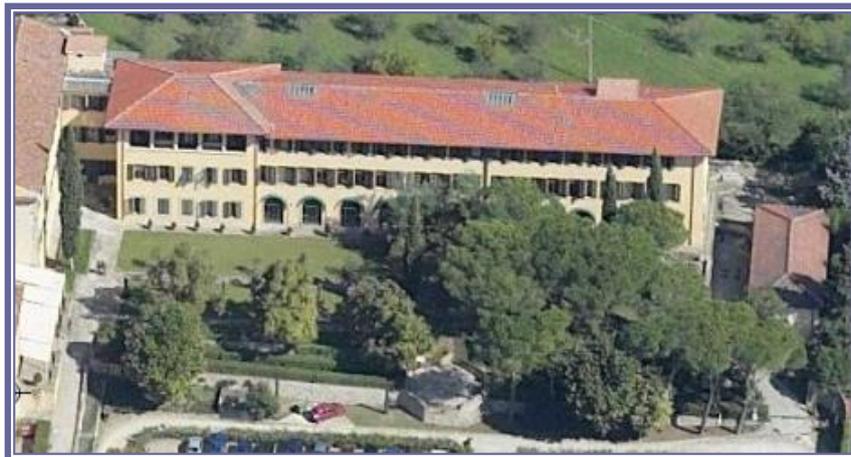


Figura 8

#### 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			

## 5.2.2. 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.

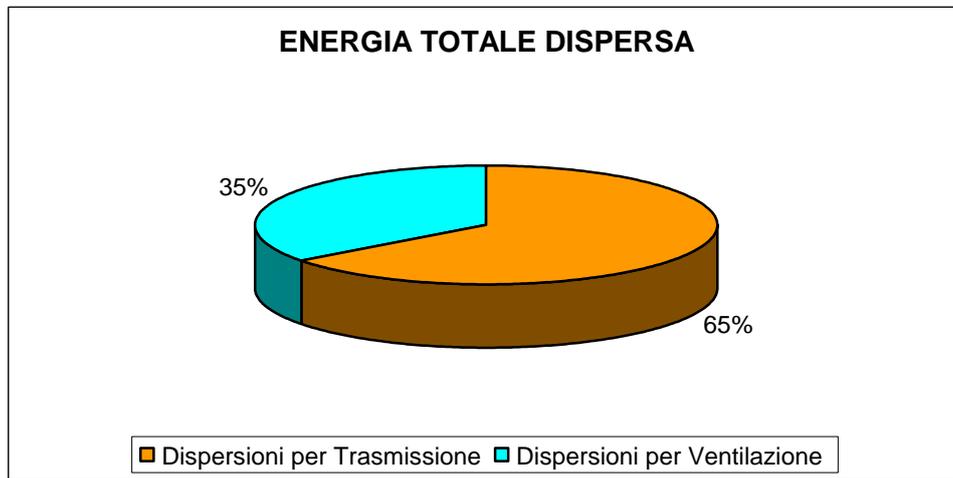


Figura 9

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.

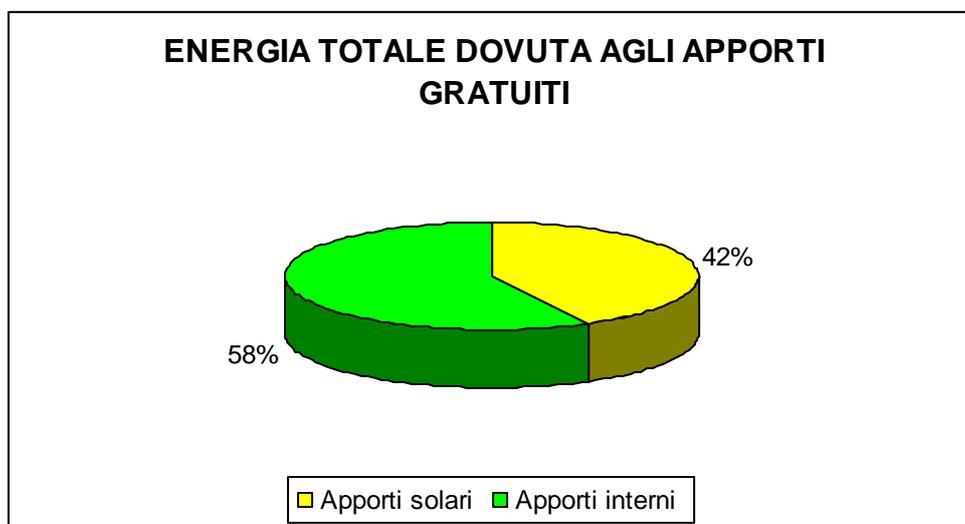


Figura 10

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.

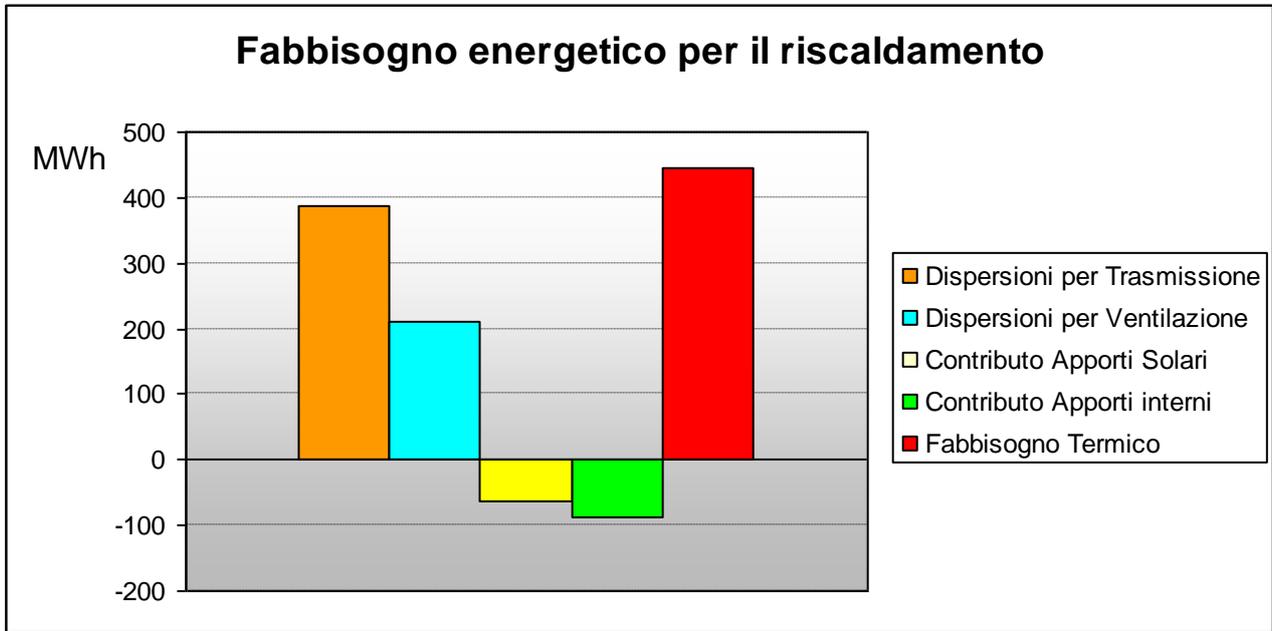


Figura 11

## 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

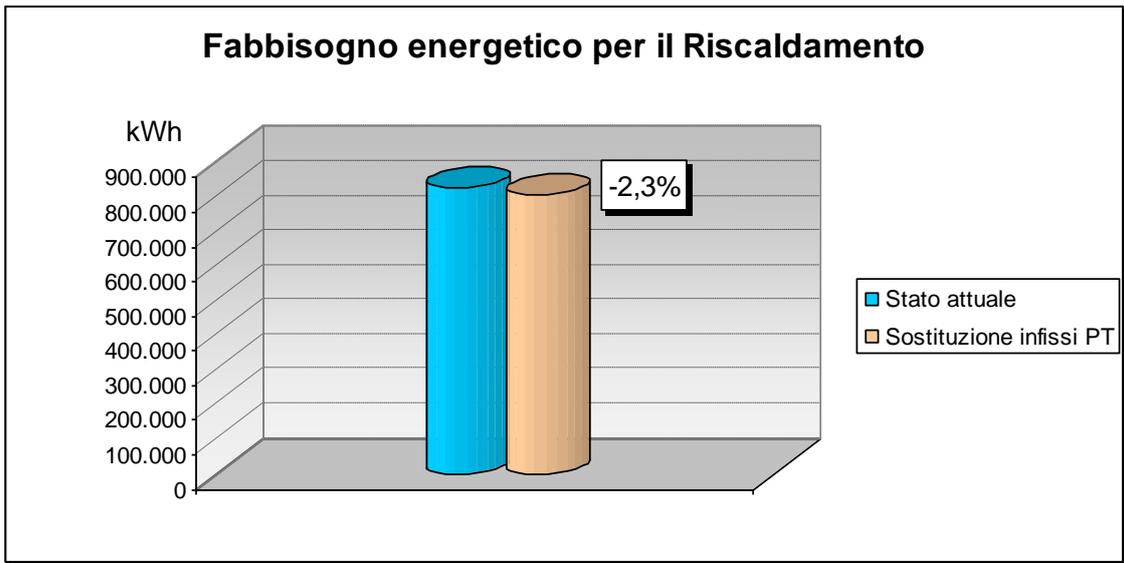


Figura 12

## 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>	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	782.683	78,82	-5,4%	192,35	-10,83

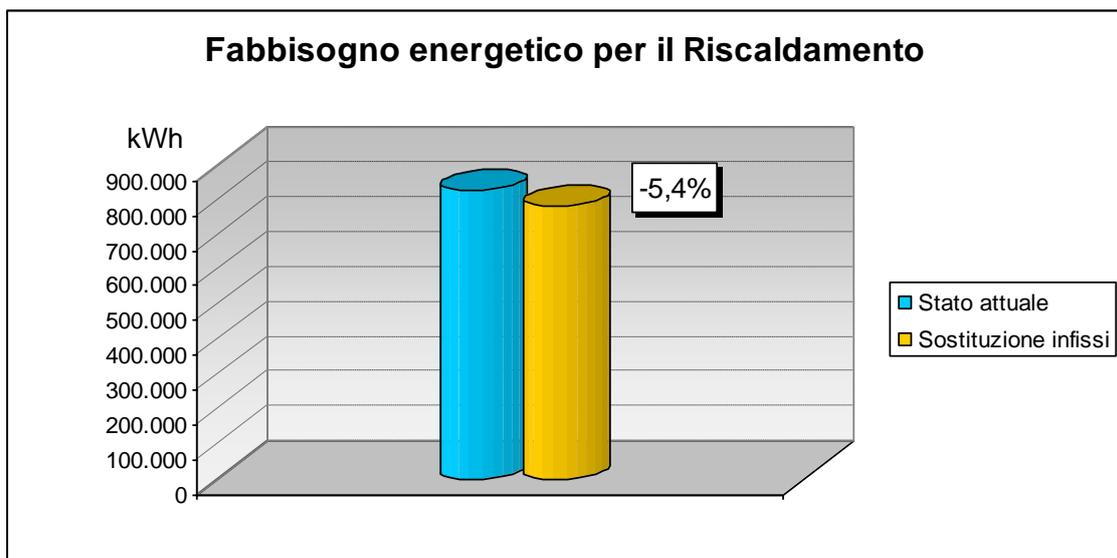


Figura 13

### 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

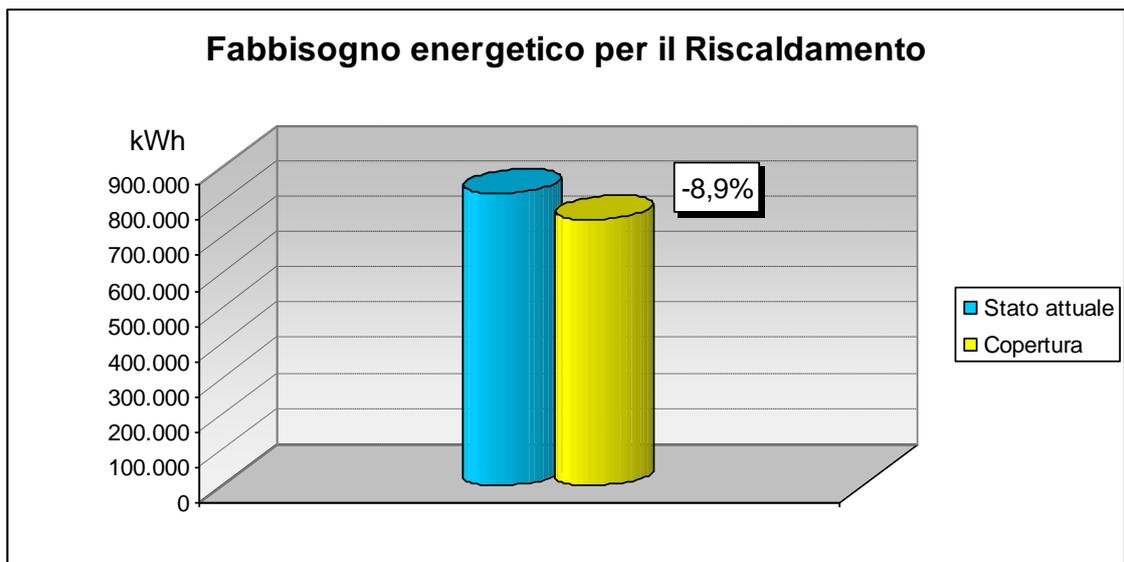


Figura 14

### 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> (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	-
REGOLAZIONE	730.495	73,56	-11,7%	179,42	-23,75

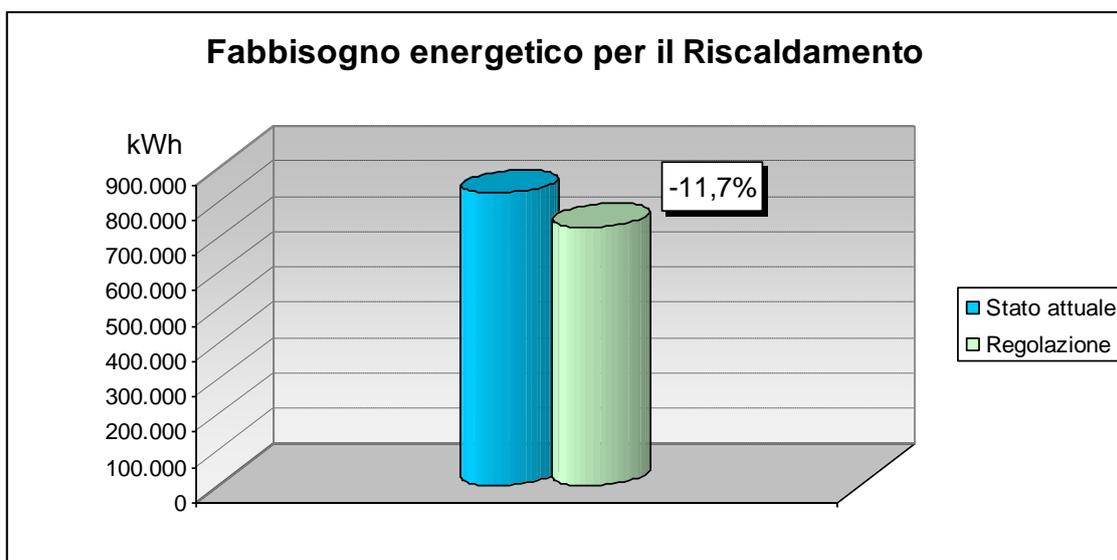


Figura 15

### 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

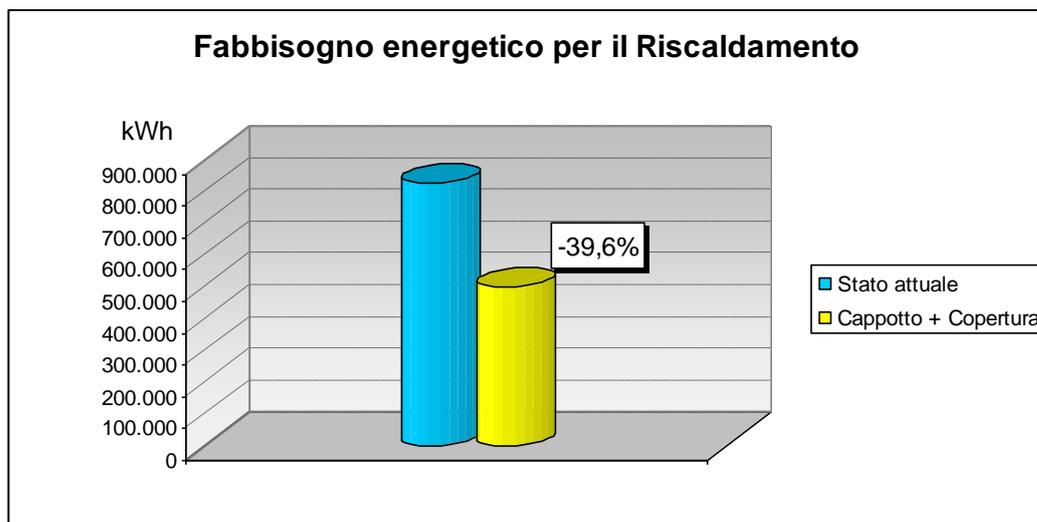


Figura 16

## 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.

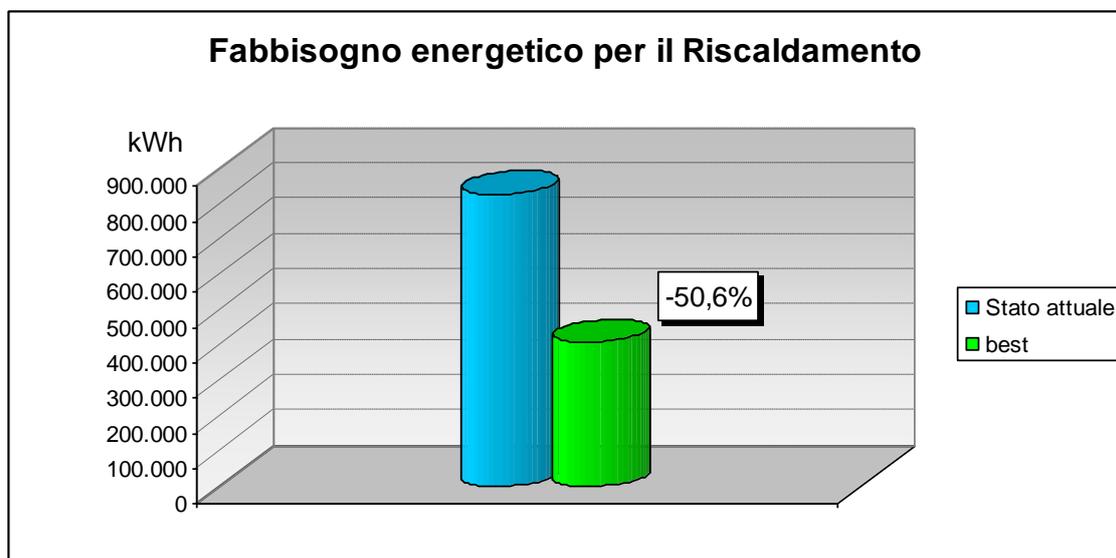
Tabella 24

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

### 5.2.3. 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.

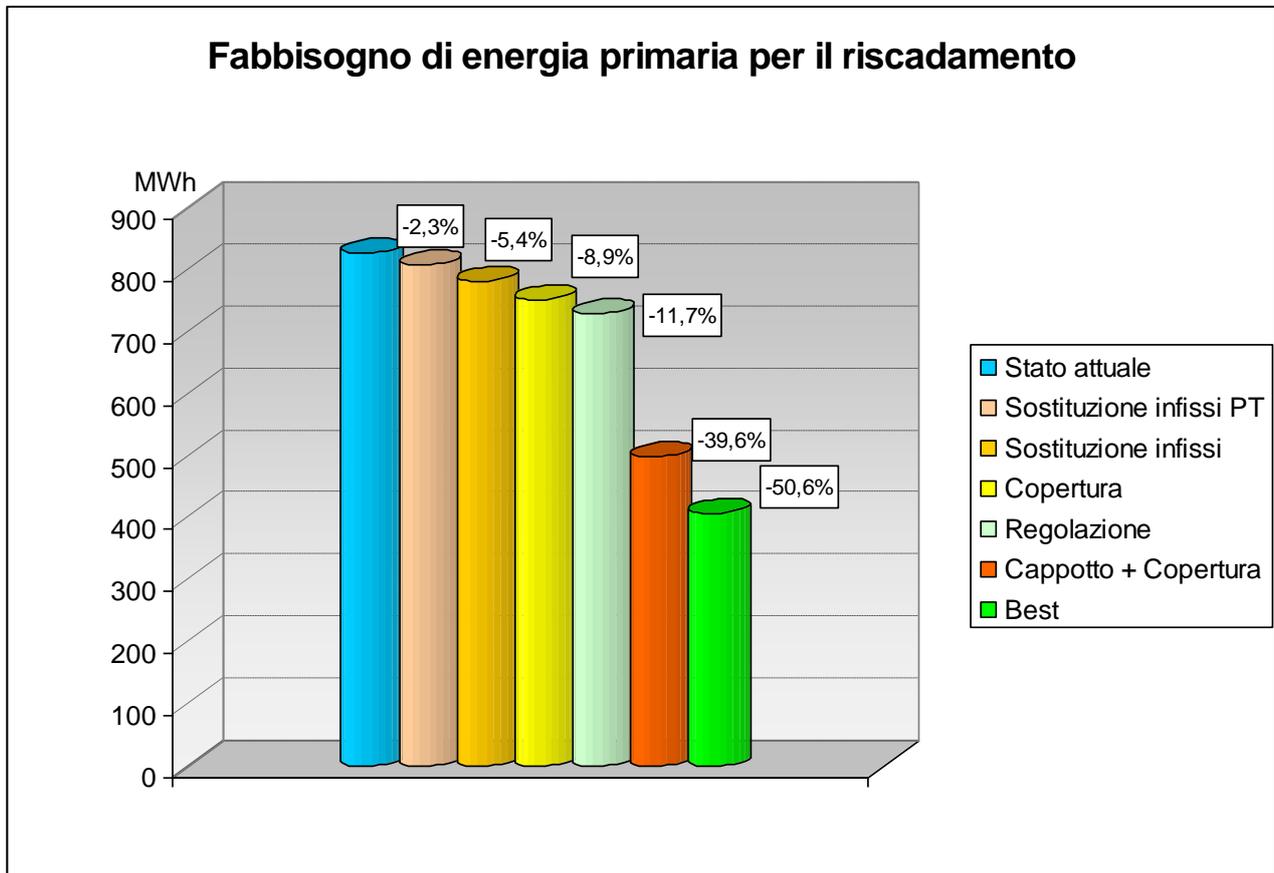


Figura 18

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.

## *L'ANALISI ENERGETICA DEL COMPLESSO STORICO*

### *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

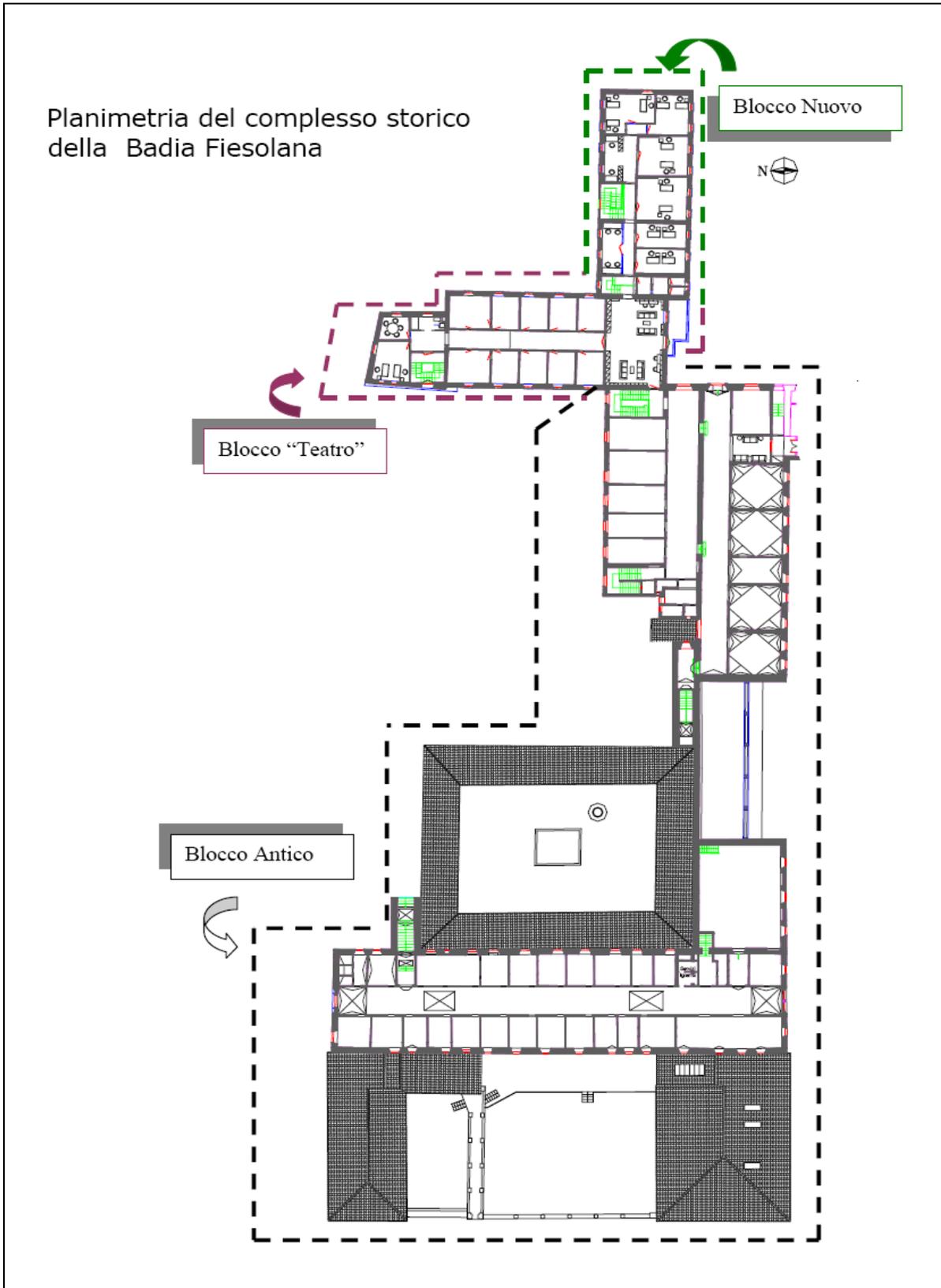


Figura 20

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'.

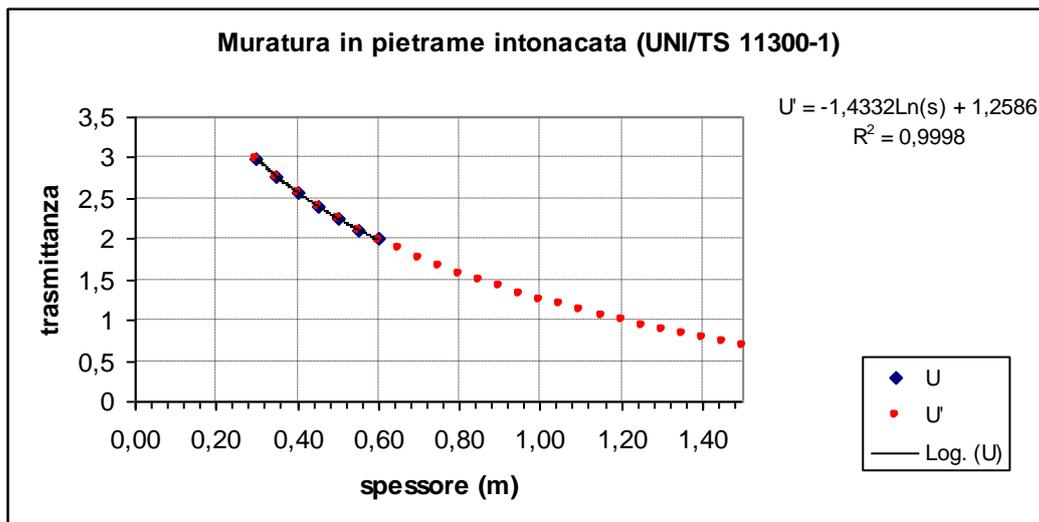


Figura 21

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
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%	

### *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.

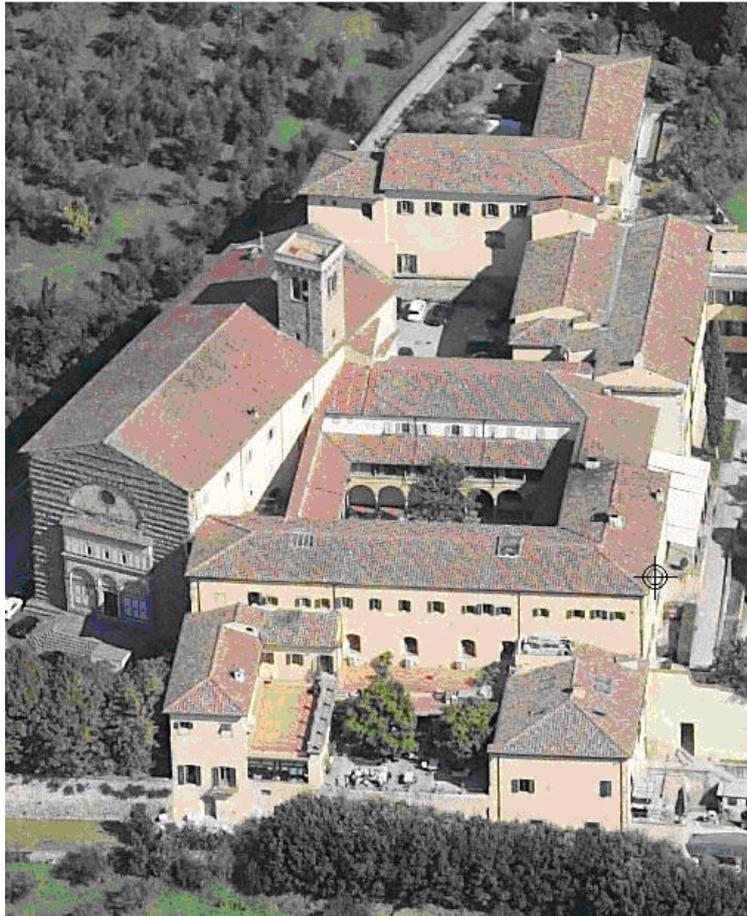


Figura 22

### 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

U<sub>value</sub>: 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
			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
$\eta_{\text{emissione}}$	0,920	0,920	0,920	prospetti 17 e 18
$\eta_{\text{regolazione}}$	0,866	0,866	0,866	prospetto 20
$\eta_{\text{distribuzione}}$	0,947	0,925	0,925	prospetto 21(e)
$\eta_{\text{generazione}}$	0,860	0,860	0,860	-

*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.

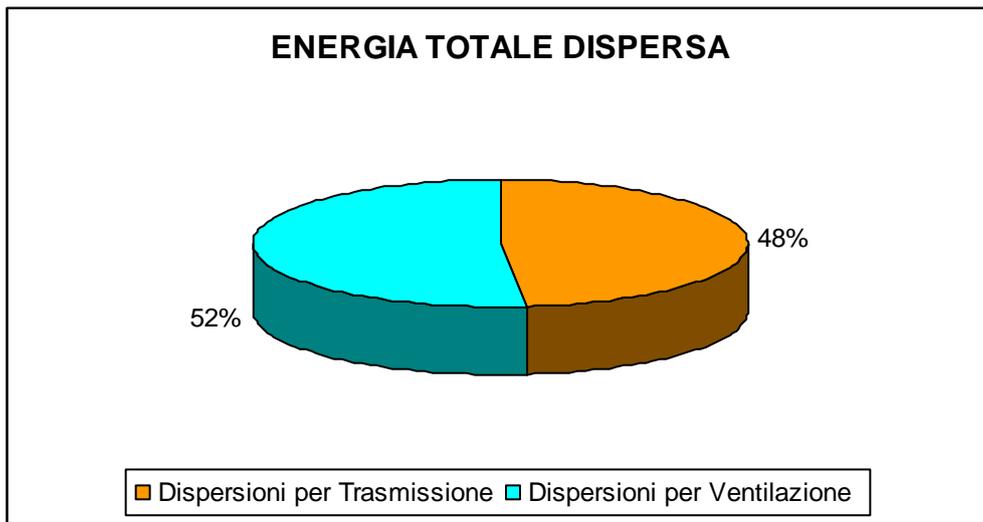


Figura 23

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.

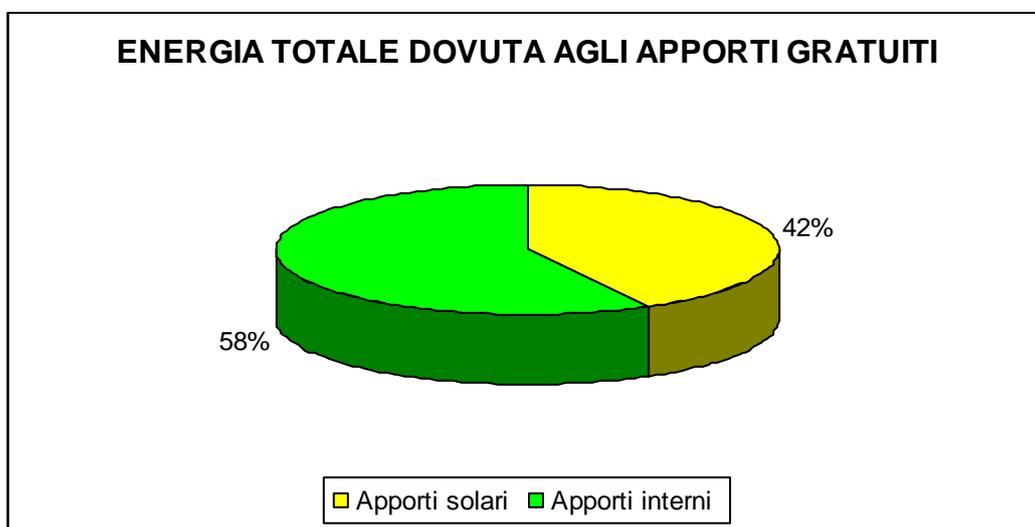


Figura 24

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.

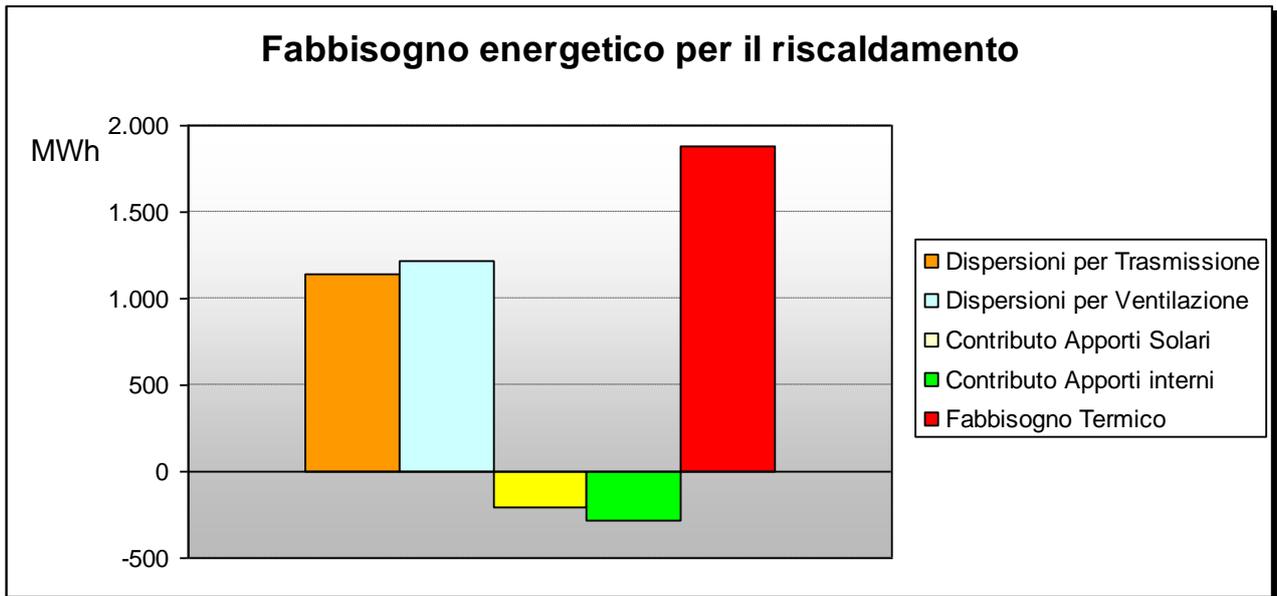


Figura 25

### 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

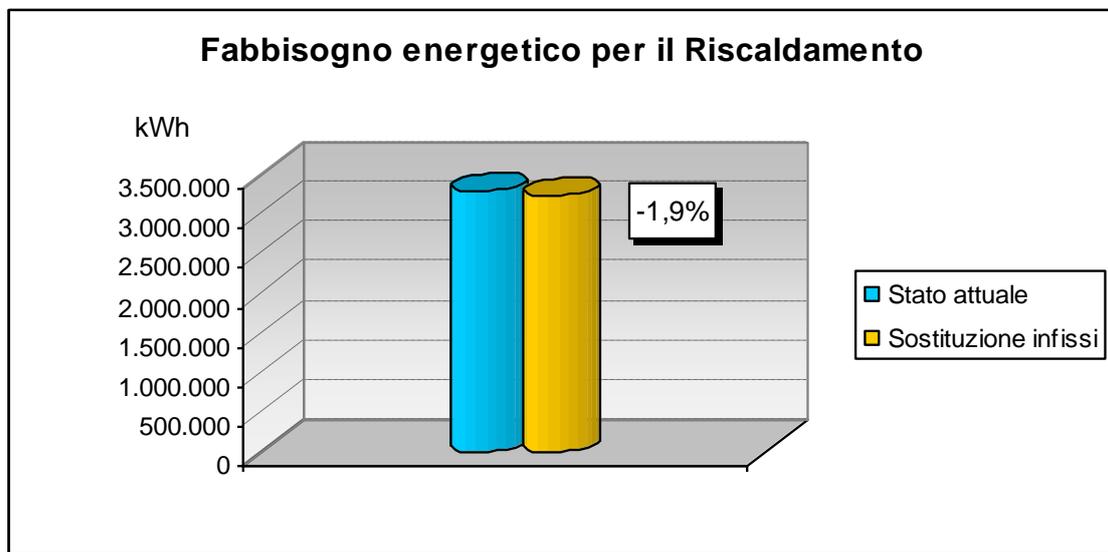


Figura 26

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

### 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.



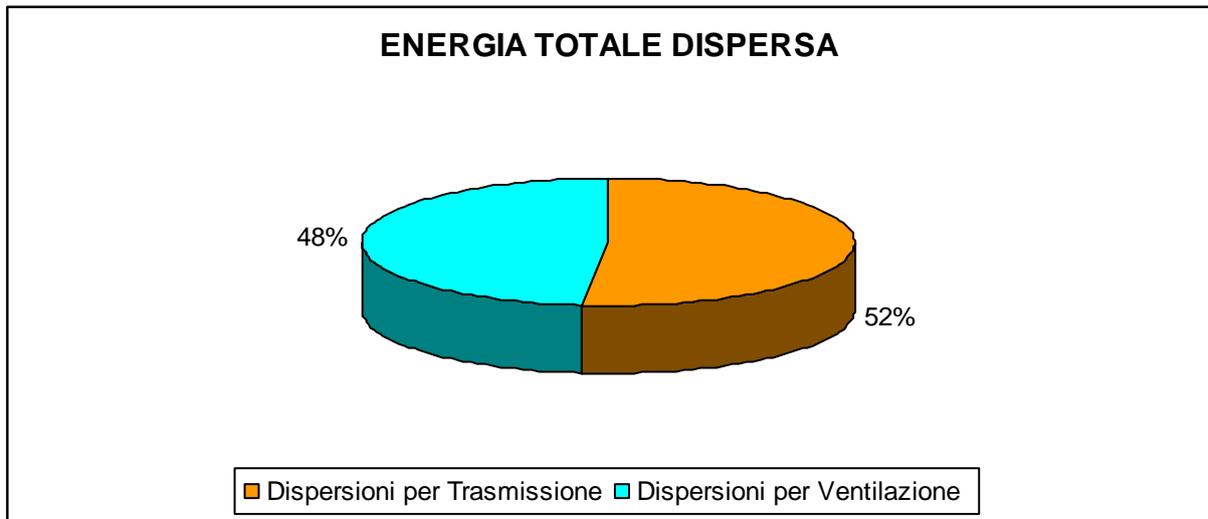


Figura 27

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.

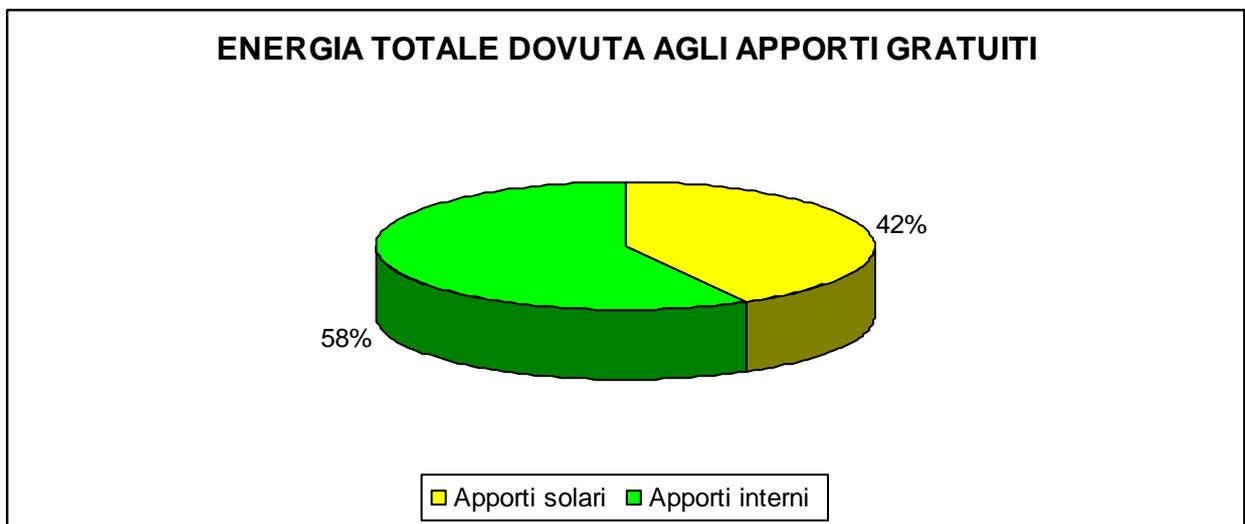


Figura 28

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.

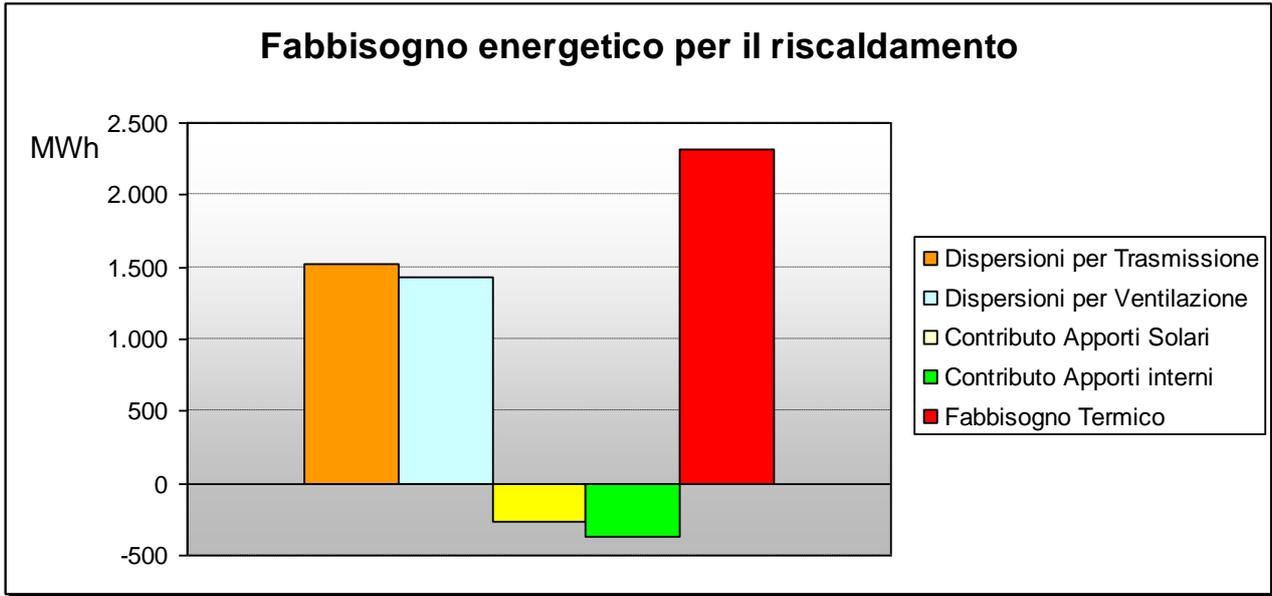


Figura 29

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.

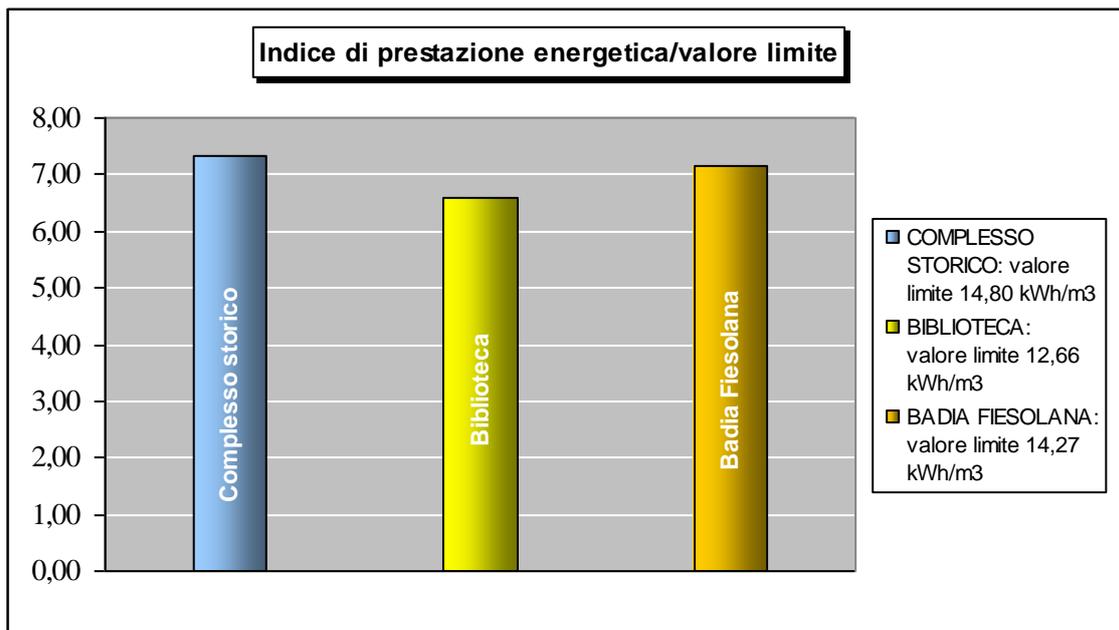


Figura 30

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.

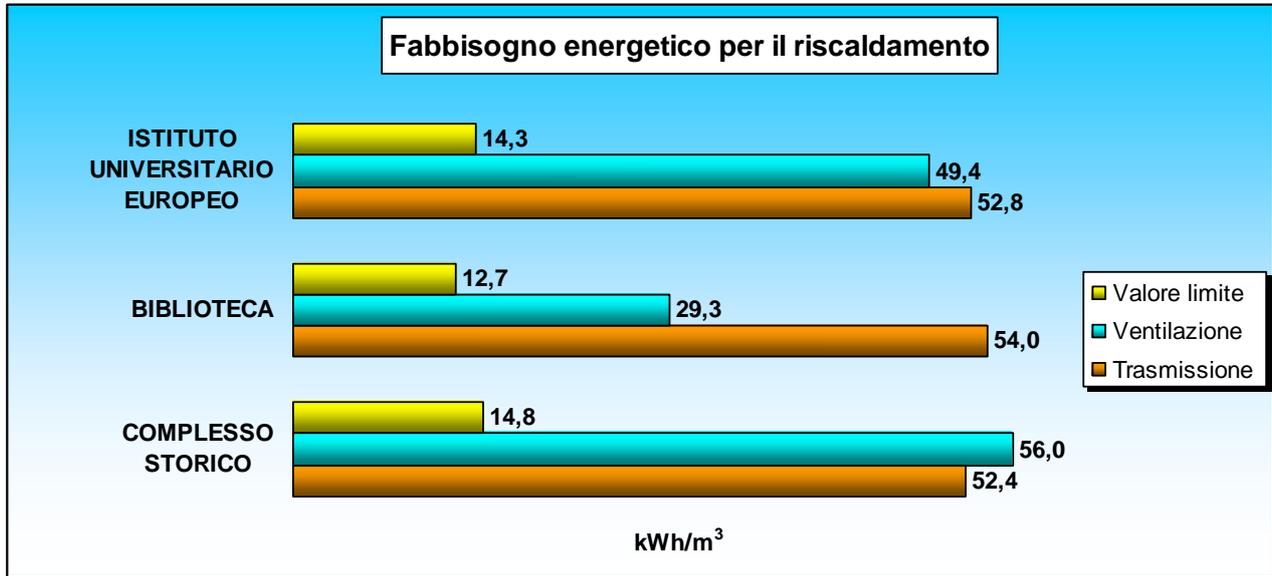


Figura 31

### 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".