



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea magistrale in **Ingegneria Edile-Architettura**
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura

**Riqualificazione energetica ed interventi migliorativi di un
edificio storico. Il caso di Palazzo Leoni a Cupramontana**

**Energy requalification and improvement interventions of a
historic building. The case of Palazzo Leoni in Cupramontana**

Relatore:

Prof. Costanzo di Perna

Tesi di Laurea di:

Riccardo Baioni

Correlatore:

Prof. Gianluca Coccia

Anno Accademico 2020-2021



Indice

Sommario

1. Introduzione.....	6
2 Politiche energetiche.....	8
2.1 Carte del restauro	8
2.2 Le direttive europee.....	10
2.3 La normativa italiana.....	15
3 Linee guida per la riqualificazione di un edificio storico	22
3.1 Azioni Preliminari: analisi dei caratteri tecnico-costruttivi	23
3.1.1 Lettura storica degli interventi sull'edificio	23
3.1.2 Rilievo geometrico e dei materiali costruttivi	24
3.2 La diagnosi energetica.....	26
3.3 Lo scopo della diagnosi energetica	28
3.4 I livelli di diagnosi energetica	28
3.5 Processo di diagnosi.....	31
3.7 L'ispezione	35
3.8 Attività post-ispezione	37
3.9 Analisi dell'involucro.....	38
3.10 Analisi del sistema impiantistico esistente.....	42
3.10.1 Le tipologie di impianto	42
3.10.2 Il rilievo dell'impianto.....	43
3.10.3 L'impiantistica storica	44



3.11 Modellazione energetica	44
3.11.1 Simulazione in regime stazionario	45
3.11.2 Programmi di analisi precoce	45
3.11.3 Simulazione in regime dinamico	46
3.12 Valutazione della prestazione energetica Ep.....	46
3.12.1 Valutazione della prestazione energetica	47
4 Come si valuta il comfort in un edificio?	49
5 Stato di fatto dell'edificio in esame	52
5.1 Dati climatici	52
5.2 Palazzo Leoni	55
6 Modello	58
6.2 Superfici opache.....	59
6.3 Superfici trasparenti	63
6.4 Sistema di oscuramento.....	65
6.5 Ponti termici	65
6.6 Condizioni interne delle varie zone termiche.....	68
6.6.1 Dispersioni e apporti solari.....	68
6.6.2 Apporti interni	68
6.6.3 Ventilazione.....	69
6.6.4 Riscaldamento e Raffrescamento	69
7 Ipotesi di retrofit dell'involucro.....	71
7.0.1 Isolamento interno	72
7.0.2 Isolamento del sottotetto.....	73



7.0.3 Sostituzione delle finestre.....	74
7.0.4 Installazione di una VMC per il free cooling estivo.....	76
8 Confronto tra Stato Attuale e Stato di Progetto	79
9 Conclusioni	89
Bibliografia	92
Appendice A	94

1. Introduzione

Il livello di qualità della vita si sta avviando verso standard sempre più elevati; ciò implica una sempre maggiore attenzione alla definizione dei requisiti microclimatici atti a garantire adeguate condizioni di benessere negli spazi in cui l'uomo vive e lavora. I consumi di energia per riscaldamento, ventilazione, e climatizzazione di un edificio sono direttamente influenzati dal livello di comfort ambientale. Generalmente al crescere del livello di comfort si hanno, a parità di caratteristiche costruttive del sistema “edificio-impianto” e di condizioni climatiche esterne, consumi energetici maggiori. I consumi energetici possono poi subire significative variazioni in relazione a molteplici aspetti quali ad esempio: - aspettative di comfort dell'utente (valori di set point per temperatura, umidità relativa, qualità dell'aria, illuminamento ecc.); - effettiva disponibilità di risorse naturali per il controllo del microclima (numero di ore di luce naturale, numero di ore in estate in cui l'aria esterna è utilizzabile per raffrescare gli ambienti ecc.); - strategie che l'utente adotta per il controllo ambientale (programmazione temporale dei valori di set point, uso dell'illuminazione artificiale, apertura e chiusura delle finestre ecc.). Queste considerazioni portano ad affermare che non ha senso occuparsi della qualità energetica di un edificio senza contemporaneamente determinare il livello di qualità dell'ambiente interno cui ci si riferisce, sia esso “di progetto” oppure “in esercizio” (Corgnati et al., 2005). Bisogna quindi comprendere da che cosa dipendono principalmente i consumi energetici in edilizia, studiare gli scambi termici attraverso i componenti dell'involucro opaco e trasparente degli edifici e analizzare la qualità degli impianti. Attraverso il miglioramento di questi componenti deve però necessariamente tenere in considerazione le esigenze delle persone, al fine di garantire il comfort.

Analizzato il comfort e i fabbisogni dello stato attuale dell'edificio preso in esame sono stati progettati gli interventi di miglioramento delle sue condizioni per



elevare ad un livello superiore le sue qualità in modo tale da poter avere, oltre ad un miglioramento del comfort, anche un buon risparmio energetico.

Nei primi capitoli vengono descritte le normative passate e attuali e i giusti passaggi per poter svolgere correttamente il rilievo di un edificio storico con le sue problematiche; dal capitolo 5 viene descritto l'edificio in esame con le sue caratteristiche e le simulazioni dinamiche fatte e infine il confronto dei risultati.

L'obiettivo principale di questo lavoro di tesi consiste nel valutare le condizioni di benessere termico annuale in un edificio storico vincolato ad uso pubblico nei primi due piani e nel seminterrato e residenziale nei piani successivi privi di impianto di climatizzazione estiva, secondo il modello di comfort adattivo definito dalla norma UNI EN 15251:2008; dopo aver valutato le condizioni attuali dell'edificio storico si ipotizzano gli interventi relativi all'involucro e all'installazione di un impianto estivo di ventilazione, valutare lo stato di progetto e stabilire le nuove condizioni di vivibilità ed energetiche.

2 Politiche energetiche

Prima di analizzare la specifica norma relativa alla tutela dei beni architettonici risulta doveroso discutere delle diverse carte del restauro che, pur non avendo nessun valore legislativo, forniscono le indispensabili linee guida teoriche e metodologiche da seguire per la conservazione e il restauro dei beni culturali.

2.1 Carte del restauro

Ai fini del presente lavoro si ritengono fondamentali, nello specifico, le indicazioni relative al costruito e alla tutela dei centri storici che, seppure in forma ancora embrionale, iniziarono ad essere affrontate già a partire dal 1931, anno in cui venne redatta la Carta di Atene [1].

Il documento, oltre a promuovere l'utilizzo degli edifici monumentali in modo da assicurarne la "continuità vitale" mediante un'adeguata destinazione d'uso, «raccomanda di rispettare, nelle costruzioni degli edifici, il carattere e la fisionomia della città, specialmente in prossimità dei monumenti antichi, per i quali l'ambiente deve essere oggetto di particolari cure».

L'utilizzo del bene architettonico è caldamente consigliato anche dalla Carta di Venezia del 1964, purché questo non alteri la distribuzione spaziale e l'aspetto dell'edificio. Redatta a seguito delle nuove riflessioni rese necessarie dalla ricostruzione post-bellica, la carta risulta però fondamentale per la nuova definizione del concetto di "monumento", non più considerato come elemento isolato bensì correlato strettamente all'ambiente circostante, rappresentante, anch'esso, testimonianza storica e culturale.

Sono di inestimabile aiuto, sempre enunciati nella Carta di Venezia per la Conservazione e il Restauro diversi criteri come: compatibilità, minimo intervento, reversibilità, distinguibilità, autenticità espressiva, durevolezza e rispetto del tessuto originale.



Pochi anni dopo, in occasione del congresso svoltosi ad Amsterdam nel 1975, viene proclamata la Carta Europea del patrimonio architettonico nella quale è introdotto, per la prima volta, il concetto di “conservazione integrata” definita come «il risultato dell’uso congiunto della tecnica del restauro e della ricerca di funzioni appropriate»⁵. La conservazione integrata non esclude la possibilità di inserire un linguaggio architettonico contemporaneo all’interno dei contesti storici, purché vengano rispettate le caratteristiche proprie dell’ambiente e i materiali utilizzati.

Le problematiche legate alla contemporaneità e al progresso tecnologico vengono affrontate con un maggiore dettaglio nella Carta di Machu Picchu, voluta da Bruno Zevi e redatta nel 1978.

Tale documento, partendo da quanto affermato nella Carta di Atene, ne sottolinea la fondamentale importanza e validità nel corso dei decenni, per poi proporre un aggiornamento dovuto al sorgere di nuovi quesiti posti dalle nuove condizioni di vita, relativi a trasporti, inquinamento e tecnologia.

Nel 1987 viene redatta la Carta C.N.R. (Conservazione e Restauro degli Oggetti d’Arte e di Cultura), con l’intento di «rinnovare, integrare e sostanzialmente sostituire la Carta Italiana del restauro del 1972». Il documento, pur fornendo una serie di indicazioni pratiche per quanto riguarda la tutela dei centri storici e la conservazione e restauro delle opere di interesse architettonico, non affronta lo specifico tema del recupero tecnologico e delle integrazioni impiantistiche, parlando di generico «rinnovamento funzionale degli organismi interni, da permettere soltanto laddove si presenti indispensabile ai fini del mantenimento in uso dell’edificio».

La medesima critica può essere mossa alle più recenti Carta di Cracovia (Principi per la conservazione e il restauro del patrimonio costruito) e Carta di Betlemme che, sebbene risalenti, rispettivamente, al 2000 e al 2008, periodo nel quale le problematiche relative ai consumi energetici del comparto edile risultavano già



ben note, non trattano l'argomento della diminuzione degli stessi, né tantomeno quello del riadeguamento tecnologico, limitando la trattazione ad indicazioni di carattere generale in relazione a manutenzione, rinnovamento e ristrutturazione. Diventa quindi evidente l'urgenza di adeguare lo strumento delle carte del restauro alle nuove esigenze, sulla scia di quanto espresso nell'innovativa Carta di Machu Picchu che, nonostante risulti ormai datata, rappresenta a tutt'oggi l'unico documento cui fare riferimento per quanto concerne il riadeguamento impiantistico.

2.2 Le direttive europee

Una delle sfide dei decenni futuri è il ripristino di edifici antichi mediante tecnologie moderne. Il settore edile in Europa è uno dei maggiori consumatori di energia in quanto circa il 40% dell'energia finale scaturisce da edifici commerciali, uffici e residenze. Nel contesto della conservazione del patrimonio edilizio storico l'obiettivo principale dei governi europei è quello di migliorare l'efficienza energetica e mantenere alte, prestazioni e sostenibilità degli edifici e dei sistemi impiantistici esistenti, migliorando in modo significativo il comfort interno per gli utenti, oltre a fornire un significativo risparmio energetico con il minimo costo possibile e impatto ambientale.

Trovare il giusto compromesso tra i requisiti di efficienza energetica e la conservazione degli edifici storici e tradizionali è fondamentale per prevenire i conflitti e rispettare gli standard di prestazione energetica appropriati per gli edifici antichi / storici.

A questo presupposto è strettamente legato il concetto di efficienza energetica, su cui si basano la maggior parte delle politiche internazionali; in particolare, vi è un vero e proprio processo relativo alle pratiche ambientali che vede come risultato finale l'insieme di politiche energetiche oggi vigenti a scala europea.



A partire dagli impegni presi in occasione del Protocollo di Kyoto, l'Unione Europea ha promosso delle nuove politiche comunitarie che, tramite una serie di norme e direttive, mirano a contrastare le cause dei cambiamenti climatici promuovendo, allo stesso tempo, un'innovazione tecnologica sostenibile e a basso consumo energetico, capace di rendere altamente competitivo il mercato europeo. Tuttavia un embrionale interesse per le sorti ambientali ed energetiche mondiali era evidente già dalla metà degli anni '80, probabilmente suscitato dalla recente crisi petrolifera e dalla Conferenza di Rio: il 7 giugno 1985 il Parlamento Europeo emanava infatti la Direttiva 85/377/EEC dove si valuta l'impatto ambientale per progetti pubblici e privati, in particolare per quanto riguarda l'uomo, la fauna, la flora, il suolo, l'acqua, il clima, il paesaggio, i beni materiali ed il patrimonio culturale, e in seguito, il 13 settembre 1993, dalla 93/76/EEC introduce il concetto di certificazione energetica degli edifici, secondo un'ottica di miglioramento prestazionale degli stessi da attuare tramite l'isolamento termico degli edifici di nuova realizzazione, il controllo periodico delle caldaie e la diagnosi energetica delle imprese ad alto consumo di energia), che per prime introducevano i concetti di valutazione di impatto ambientale e certificazione energetica. Il principale strumento normativo comunitario in tema di riduzione dei consumi energetici rimane però la Direttiva 2002/91/CE "Energy Performance of Buildings Directive" (EPBD) che, recepita nei diversi Stati membri dell'Unione, ha dato luogo a numerose norme a carattere locale.

La cosiddetta EPBD, dopo un inquadramento generale del problema energetico degli edifici e degli obiettivi raggiunti con la 93/76/CEE, rimarca «l'esigenza di uno strumento giuridico complementare che sancisca interventi più concreti al fine di realizzare il grande potenziale di risparmio energetico tuttora inattuato e di ridurre l'ampio divario tra le risultanze dei diversi Stati membri in questo settore». Tale divario viene colmato da una serie di regole comuni, ma al tempo stesso differenziate in base alla zona climatica nella quale ricade il territorio dei diversi



Paesi coinvolti. Il compito di istituire i requisiti minimi di rendimento energetico viene quindi affidato ai singoli Stati membri che, tenendo conto delle condizioni generali del clima degli ambienti interni nonché delle condizioni locali, dell'uso cui l'edificio è destinato e della sua età, fissano dei parametri da rivedere con scadenze regolari, a intervalli non superiori ai 5 anni. Diventa quindi necessario certificare le prestazioni energetiche degli edifici di nuova costruzione e di quelli già esistenti. La Direttiva definisce una metodologia generale di calcolo del Rendimento Energetico, o Energy Performance (EP), definito come la «quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi, tra gli altri, la climatizzazione invernale, il riscaldamento dell'acqua, il raffreddamento, la ventilazione, l'illuminazione». L'EP viene quindi calcolato tenendo conto della coibentazione, delle caratteristiche tecniche dell'edificio e di quelle climatiche del sito scelto per l'edificazione (esposizione al sole, influenza delle eventuali strutture adiacenti, orientamento).

L'EPBD, anche in virtù del mancato raggiungimento degli obiettivi previsti dal "Pacchetto Clima-Energia" (che prevedeva l'abbassamento delle emissioni di gas serra del 20%, promuovendo l'utilizzo di fonti rinnovabili da utilizzarsi in quota pari al 20% per aumentare l'efficienza energetica di un ulteriore 20%), viene abrogata il 1° febbraio 2012 dalla Direttiva 2010/31/CE, o EPDB Recast, emanata dall'Unione Europea nel maggio del 2010 e necessaria alla migliore definizione di quanto disposto nella precedente direttiva.

Lasciando inalterata la possibilità, per i Paesi membri dell'Unione, di stabilire i requisiti di efficienza relativi al proprio territorio, l'EPDB2 sottolinea la necessità di attuare nuove strategie di risparmio energetico, in modo da raggiungere gli obiettivi fissati dal pacchetto "Clima-Energia": le costruzioni realizzate a partire dal 31 dicembre 2020 dovranno essere in grado di autoprodurre la quantità di energia necessaria alla loro fruizione, tramite approvvigionamento da fonti



rinnovabili, così come gli edifici pubblici che, entro il 31 dicembre 2018, dovranno adeguarsi allo standard degli “edifici a energia quasi zero”.

La Direttiva 2010/31/CE entra in vigore il 9 luglio 2010, in sostituzione della precedente Direttiva 2002/91/CE. La nuova Direttiva viene varata sulla base dei principi fondamentali della precedente, ampliando il campo d'applicazione ed incrementando le misure per l'efficientamento energetico.

Essa proponeva di estendere gli obblighi sui requisiti di prestazione energetica e renderli via via sempre più stringenti, verso quindi una visione nZEB; inoltre, imponeva l'obbligo di giustificazione dei livelli di prestazione energetica, in quanto in precedenza, alcuni stati membri avevano imposto dei limiti relativamente “deboli”.

Punto fondamentale della Direttiva, è la necessità di abbassare maggiormente le emissioni di gas serra, rispetto a quanto stabilito nel Piano 20-20-20, migliorando le prestazioni energetiche nel settore edilizio e prescrivendo alle nuove costruzioni, a partire dal 2020, l'obbligo della costruzione di edifici ad energia “quasi zero”, alimentati fundamentalmente con fonti rinnovabili.

Gli Stati membri erano, inoltre, obbligati a recepire la nuova Direttiva entro e non oltre il 9 luglio 2012.

La Direttiva Europea EPBD 2010/31/UE contiene, dunque, disposizioni in merito ad una metodologia da adottare per il calcolo delle prestazioni energetiche, i requisiti minimi da rispettare in materia di edifici nZEB e i piani da attuare a scala nazionale al fine di accrescere il numero di edifici a energia quasi zero.

Con la pubblicazione della nuova Direttiva 2012/27/CE l'Unione Europea sancisce un insieme di strategie comuni per la promozione dell'efficienza energetica, quale punto chiave da seguire al fine di raggiungere gli obiettivi dapprima delineati nel Pacchetto “Clima 20-20-20”.



E' fatto obbligo, inoltre, che gli stati membri forniscano dei percorsi formativi e dei sistemi di certificazione, ai professionisti e ai fornitori delle tecnologie e dei sistemi costruttivi ad alta efficienza energetica, facendo in modo che queste modalità di qualificazione siano quanto più allineate e condivisibili a scala europea.

Tale Direttiva, inoltre, pone un obbligo molto importante anche agli edifici industriali, dunque edifici molto energivori, imponendo loro la diagnosi energetica al fine di constatare i reali consumi energetici e l'adeguatezza degli impianti installati, in una visione complessiva di sostenibilità ambientale, incrementabile migliorando le eventuali criticità riscontrate in fase di diagnosi.

Esistono tre diverse tipologie di base, note anche come livelli di diagnosi energetica, che, verranno poi discussi nel capitolo 2.3.

Questo strumento, recepito successivamente anche in Italia, si caratterizza, dunque, come un vero e proprio strumento strategico a scala europea. Esso delinea quelli che sono i piani energetici più importanti da applicare sul territorio nazionale per il raggiungimento di un buon risultato in termini di risparmio energetico.

In modo particolare, la Strategia Energetica Nazionale, altrimenti nota come SEN, si basa proprio sui principi e sugli obiettivi sopra indicati con il preciso intento di adeguarsi al mercato dell'energia europeo al fine di abbassare i costi e surclassare i traguardi stabiliti da Pacchetto Clima 20-20-20, con un sostanziale calo delle emissioni e un incremento nell'utilizzo di energia prodotta da fonti rinnovabili.

È necessario in presenza di un contesto molto fragile dal punto di vista climatico e ambientale, intraprendere delle decisioni strategiche in grado di supportare lo sviluppo di città sostenibili, o meglio, di città vivibili.

Alla base di questo concetto, vi è un uso consapevole ed intelligente delle normative e dei finanziamenti atti a incentivare interventi di riqualificazione



urbana. Occorre analizzare i risultati che il susseguirsi di norme degli ultimi anni hanno apportato sul territorio in ambito di efficienza energetica, al fine di delineare un quadro generale su come tali norme stanno effettivamente plasmando il settore edilizio.

È importante capire che il corretto utilizzo delle norme e un'attenta gestione della strategia nel suo complesso, determinano la riuscita dell'obiettivo di riqualificazione delle città e l'affermazione della tendenza a costruire edifici ad energia quasi zero, come espresso fra le prerogative perseguibili dall'Europa entro il 2021.

La strategia di ampliamento degli edifici ad energia quasi zero all'interno del panorama edilizio dovrebbe poter essere attuata sulla base di una visione comune, ovvero secondo politiche e misure condivise.

2.3 La normativa italiana

In Italia molti palazzi antichi, soprattutto chiese, ex fabbriche e altri edifici storici, nei centri storici di importanti città, sono in fase di trasformazione in musei o più comunemente in negozi e showroom. Non vi è alcun conflitto intrinseco tra la conservazione degli edifici più vecchi e i principi di sostenibilità.

Il mantenimento di edifici più vecchi, nella loro interezza, o semplicemente riutilizzando componenti in situ e consentendone il potenziamento termico in modo benigno, può fornire ottimi risultati finali, pienamente in accordo con i principi di conservazione e sostenibilità degli edifici. In molti casi, il processo di adattamento, riutilizzo, ristrutturazione e anche di efficienza energetica e soluzioni di retrofitting per gli impianti esistenti può produrre nuovi edifici e spazi della più alta qualità architettonica e comfort interno per gli occupanti.



L'Italia è oggi uno degli stati membri protagonisti del cosiddetto processo “transizione energetica” che si sta via via sviluppando nelle varie realtà europee e non. Tale trasformazione è attuata con il preciso intento di raggiungere l'obiettivo di decarbonizzazione territoriale; ciò si rende possibile attraverso la diffusione tecnologica e l'incremento dell'impiego di fonti rinnovabili in grado di incentivare le operazioni di efficienza energetica.

Al fine di tracciare un quadro completo degli obiettivi di sviluppo energetico in campo nazionale si è di seguito proceduto a delineare quelle che si sono attestate come le tappe di fondamentale importanza in ambito legislativo e che rappresentano il reale impegno dell'Italia nel contesto energetico.

Il target italiano attuale è quello di riuscire ad abbassare del 33% le emissioni entro il 2030 per cui sono coinvolti tutti i settori produttori di energia. Nell'ambito di quest'analisi viene dato particolare accento al settore edilizio e a come proprio attraverso strategie di efficientamento energetico che vedono l'applicazione di energia da fonti rinnovabili, questo sia in grado di influenzare la crescita sostenibile sul territorio nazionale.

Le regolamentazioni orientate allo sviluppo dell'efficienza energetica sono dunque la chiave per rafforzare in modo efficace la sicurezza dell'approvvigionamento delle risorse e per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. In modo particolare, è possibile notare come si sia reso necessario implementare delle leggi volte al miglioramento dell'efficienza energetica nelle abitazioni civili, dove risiede un elevato consumo di energia finale.

La prima vera norma in ambito energetico viene attuata dalla legge 9 Gennaio 1991, n. 10, “Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia” che, introducendo il concetto di sistema edificio-impianto, sottolinea come la riduzione dei consumi non sia ottenibile esclusivamente tramite il miglioramento delle prestazioni dell'involucro, e quindi dalla diminuzione delle



dispersioni, ma soprattutto grazie all'utilizzo di fonti di energia rinnovabili (o assimilate) e ad una visione integrata dell'intero immobile e dell'utilizzo che ne viene fatto, possibile grazie alla "certificazione energetica".

L'attuazione della 10/1991 avrebbe dovuto esser garantita da un insieme di norme UNI, indispensabili alla definizione univoca dei metodi di calcolo da utilizzare a livello nazionale, e da una serie di decreti prescrittivi di cui però, di fatto, fu varata solo una minima parte rendendo la norma, sebbene innovativa all'interno del panorama europeo, del tutto inefficace. Il contesto normativo è stato chiarito e regolamentato, diversi anni dopo, dai decreti attuativi di recepimento nazionale della direttiva EPBD: il D. Lgs. 192/2005 e il D. Lgs. 311/2006 finalizzati alla definizione dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e delle metodologie di calcolo per la valutazione e la certificazione delle prestazioni.

In particolare, il 192/2005, stabilendo «i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorirne lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico», fu considerato il principale riferimento normativo in materia di certificazione energetica, in quanto fu la prima legge a riconoscere il ruolo e le responsabilità del certificatore.

Oltre a fornire importanti indicazioni per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, mediante il pacchetto di specifiche tecniche UNI/TS 11300 (diviso in più parti: parte 1 "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale", parte 2 "Determinazione del fabbisogno di energia primaria", parte 3 "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva"), il decreto fissò i requisiti per il



fabbisogno di energia primaria e per la trasmittanza termica dei diversi componenti, da rispettare nel caso di nuove realizzazioni o interventi sul patrimonio già presente.

Nel caso di ristrutturazione di edifici già esistenti, il decreto richiede un'applicazione graduale in base alla tipologia di intervento:

- «A) una applicazione integrale a tutto l'edificio nel caso di:
- 1) ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1.000 metri quadrati;
 - 2) demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1.000 metri quadrati;
- B) una applicazione integrale, ma limitata al solo ampliamento dell'edificio nel caso che lo stesso ampliamento risulti volumetricamente superiore al 20 per cento dell'intero edificio esistente;
- C) una applicazione limitata al rispetto di specifici parametri, livelli prestazionali e prescrizioni, nel caso di interventi su edifici esistenti, quali: 1) ristrutturazioni totali o parziali, manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio e ampliamenti volumetrici all'infuori di quanto già previsto alle lettere A) e B);
- 2) nuova installazione di impianti termici in edifici esistenti o ristrutturazione degli stessi impianti;
 - 3) sostituzione di generatori di calore».

La successiva emanazione di nuove Direttive europee, rese necessario l'ampliamento del quadro normativo nazionale con l'emanazione di diversi decreti nei vari anni fino ad arrivare al Decreto Ministeriale 26/6/2009 del Ministero dello Sviluppo Economico "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici" reintroduce l'obbligatorietà di attestazione energetica, precedentemente cancellata dalla Legge 6 Agosto 2008, n.133, per edifici nuovi e preesistenti mentre il Dpr. 2 Aprile 2009, n. 59, introduce, «per una applicazione omogenea, coordinata ed immediatamente operativa delle norme per l'efficienza



energetica degli edifici su tutto il territorio nazionale», la metodologia di calcolo e i requisiti minimi di prestazione energetica per la climatizzazione estiva.

Gli edifici vengono classificati in base alla destinazione d'uso e i limiti massimi di trasmittanza da rispettare sono ridotti del 10% rispetto a quelli imposti dal decreto 311/2006.

La prestazione energetica di un edificio è la quantità annua di energia effettivamente consumata o che ci si aspetta sarà necessaria per soddisfare i diversi requisiti associati a un uso standardizzato dell'edificio, inclusi condizionamento invernale ed estivo, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione e illuminazione dell'edificio è espresso attraverso l'indice globale di prestazione energetica (EP_{gl}), che misura il consumo di energia primaria riferito alla superficie netta unito al volume lordo ai fini di riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione e ventilazione se presenti: $EP_{gl} = EP_{ci} + EP_{acs} + EP_{ce} + EP_{ill}$ dove: EP_{ci} = indice di prestazione energetica per il riscaldamento invernale; EP_{acs} = indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria; EP_{ce} = indice di prestazione energetica per il condizionamento estivo; EP_{ill} = indice di prestazione energetica per il condizionamento artificiale illuminazione.

Gli indici di prestazione sono espressi in kW h/m² anno o kWh/m³ anno, secondo le informazioni fornite dalla corrente norme e regolamenti europei e nazionali.

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha avviato nel 2011 un processo di revisione del metodo di calcolo delle prestazioni riportato nel decreto; in particolare la revisione mira a definire fattori di conversione dei consumi di energia primaria utilizzabili per tutti i vettori energetici, provvedere ad una definizione univoca di “edificio a energia quasi zero”, fornire la possibilità di confrontare le prestazioni dell'edificio da certificare con quelle di un edificio di riferimento e confermare il supporto della procedura di calcolo indicata nella norma UNI/TS 11300.



Sono state riformulate le trasmittanze minime relative agli involucri edilizi, infatti quest'ultime sono state abbassate del 15% per le costruzioni eseguite a partire dal 1° luglio 2015, ulteriormente più basse del 15% a partire dal 1° gennaio 2021. Inoltre, sempre secondo quanto indicato dal Decreto Ministeriale di cui all'articolo 4, comma 1, del decreto legislativo 192/2005, si definiscono le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche e l'utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici, delle prescrizioni e dei requisiti per la definizione di un edificio nZEB.

Il Decreto Rinnovabili (D.Lgs n.28/2011) è entrato in vigore il 29 marzo 2011. Recepisce la Direttiva 2009/28/CE e definisce gli strumenti e gli incentivi necessari per il raggiungimento degli obiettivi 2030 in relazione alle energie rinnovabili.

Essa definisce rinnovabili tutti i tipi di energia che derivano da fonti non fossili.

Viene esplicitato che a partire dal 1° gennaio 2017, gli edifici di nuova costruzione o sottoposti a ristrutturazione rilevante debbano essere provvisti di impianti di produzione di energia rinnovabile per almeno il 50% dell'energia spesa. Tali vincoli sono stati inoltre prorogati al 2018 attraverso l'attuazione del D.L 244/2016, altrimenti conosciuto come "decreto Milleproroghe".

Nell'ambito della nuova costruzione sono incluse anche la demolizione, la ricostruzione e l'ampliamento di edifici per una percentuale di volume superiore al 15% rispetto allo stato di fatto. È previsto inoltre che gli edifici vengano progettati in modo da garantire l'approvvigionamento da fonti rinnovabili in una percentuale pari almeno al 50% all'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e raffreddamento; gli edifici pubblici devono garantire una quota minima del 55% di energia prodotta da fonti rinnovabili, per gli edifici privati questa corrisponde al 45%.

Eccezioni sono previste per gli edifici collocati nei centri storici (zone A del D.M n 1444/1968), la cui quota è ulteriormente ridotta. Infine, nel momento in cui



sussistano delle incompatibilità fra il manufatto storico e l'implementazione di tecnologie per la produzione da fonte rinnovabile, tali prescrizioni possono considerarsi nulle.

Esistono infine diversi progetti a scala internazionale atti al raggiungimento di elevati livelli di sostenibilità ambientale, tra cui ad esempio gli obiettivi posti sia dall'Unione Europea (con la Direttiva RED II per il 2030), ed il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima per ciò che riguarda il contesto italiano. In tal ambito, il Decreto Rinnovabili rappresenta un'importante tappa per traguardare gli obiettivi climatici prefissati e la decarbonizzazione dell'economia nazionale.

Parallelamente, il Comitato Termotecnico Italiano ha concluso la revisione della prima e seconda parte delle norme UNI/TS 11300, avviato la revisione della terza e concluso la preparazione della quarta. Le nuove UNI/TS 11300:2012, identificando l'"edificio" come costituito dal fabbricato (ovvero "ciò che è costruito") e dagli impianti tecnici destinati a convertire, trasformare e distribuire energia per i vari usi previsti, superano il concetto di sistema edificio impianto, operando una distinzione fra i fabbisogni energetici richiesti dalle due differenti parti dell'edificio in previsione del futuro ampio ricorso alle fonti di energia rinnovabili.

3 Linee guida per la riqualificazione di un edificio storico

L'Italia è caratterizzata da una presenza capillare e diffusa di edifici storici su tutto il territorio nazionale; questi edifici sono spesso ancora utilizzate come abitazioni e musei. Per questo motivo la riqualificazione energetica degli edifici storici rappresenta due grandi sfide: l'intervento su un manufatto soggetto a vincoli storici e architettonici e talvolta anche strutturali, e l'esecuzione di lavori che possono interessare sia l'involucro che gli impianti costruttivi, e richiede grande cura e competenza da parte del professionista incaricato dell'ingegneria progettuale.

Viene riportata una procedura tipo per svolgere in modo sistematico e organizzato una serie di scelte per effettuare correttamente la valutazione energetica degli edifici storici (vedi *Figura 3.1*).

La procedura prevede alcune azioni preliminari, mirate a una corretta diagnosi energetica, a valle della quale deve essere calcolato l'indice di prestazione energetica E_p allo stato di fatto. La diagnosi deve essere anche utilizzata per valutare le possibili azioni di miglioramento, sulla base delle quali va calcolato l'indice di prestazione energetica E_p' *post operam*. Evidentemente, se il miglioramento ha portato a risultati concreti si può procedere, altrimenti il processo va ripetuto approfondendo i livelli di diagnosi.

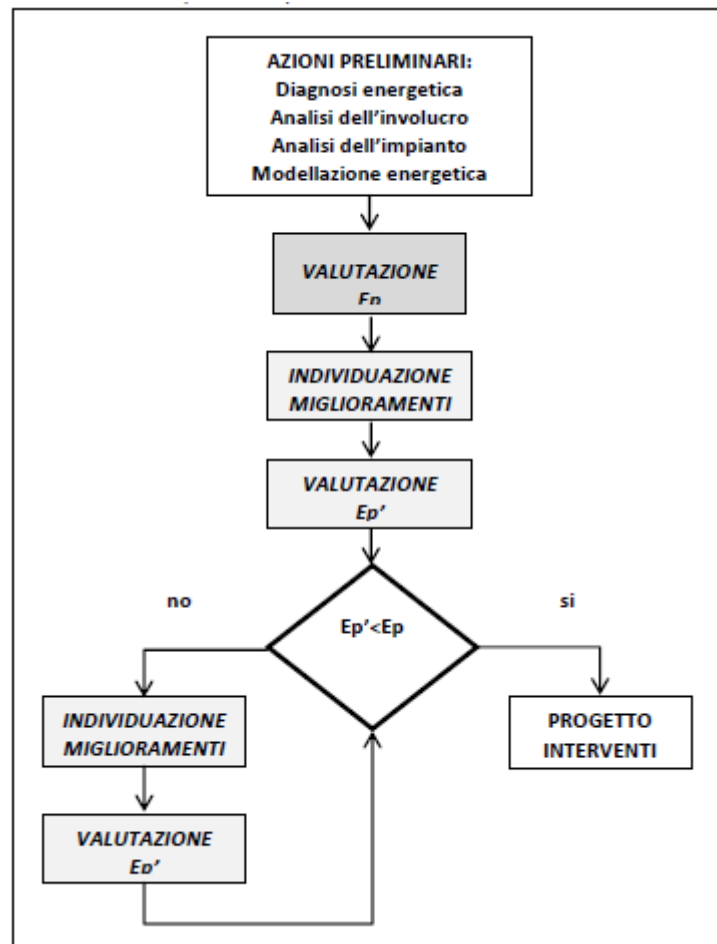


Fig.3.1. Schema di flusso della procedura per il miglioramento dell'efficienza energetica

3.1 Azioni Preliminari: analisi dei caratteri tecnico-costruttivi

3.1.1 Lettura storica degli interventi sull'edificio

La conoscenza dell'edificio attinge ad una serie eterogenea ed ampia di informazioni che afferiscono principalmente a:

- fonti documentarie ed archivistiche;
- fonti bibliografiche;
- osservazione diretta ed analitica del fabbricato nella sua interezza (dalle fondazioni alle coperture, al contesto circostante).

L'esito finale dell'attività di lettura storica deve consentire:

- la ricostruzione temporale delle vicende costruttive del fabbricato e degli interventi succedutisi su di esso fino ad oggi;
- la ricostruzione delle sue destinazioni d'uso nel tempo;
- l'eventuale accertamento, rilevamento e verifica di sistemi impiantistici originari, storici o esistenti;
- l'individuazione dei materiali e delle tecnologie edilizie adottati, in riferimento anche alla tradizione costruttiva locale e ai dati climatici del sito in esame;
- l'individuazione di eventuali interventi precedenti volti al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio, con una valutazione critica della loro efficacia.

3.1.2 Rilievo geometrico e dei materiali costruttivi

Le metodologie da adottare per il prelevamento delle misure vanno calibrate su una serie di parametri che si possono sintetizzare in:

- finalità del rilevamento;
- caratteristiche intrinseche dell'edificio;
- tempi;
- costi.

Dal punto di vista operativo, la configurazione ideale è quella dell'integrazione critica delle diverse metodologie di rilevamento, sia dirette che indirette (fotogrammetria, stereofotogrammetria, scansione laser) accompagnate da un puntuale inquadramento topografico dell'edificio e supportate da una minuziosa documentazione fotografica, sia generale che di dettaglio, da estendersi anche al contesto ambientale, con indicazione dei punti di scatto.

In ogni caso, a prescindere dalle metodologie adottate, l'esito finale del rilevamento geometrico, attraverso la redazione di elaborati grafici in scala

opportuna, in grado di facilitarne la piena e completa lettura univoca per chiunque, deve consentire:

- la corretta ricostruzione dell'inserimento urbano del fabbricato e del suo contesto ambientale (esposizione, soleggiamento, adiacenze, etc.);
- la conoscenza delle sue dimensioni attuali, sia in pianta che in alzato;
- la quantificazione di tutte le sue superfici, sia interne che esterne, e dei suoi volumi.

Particolare attenzione deve essere posta nella valutazione degli spessori delle murature, dei solai, delle volte e delle coperture; è fondamentale registrare con particolare cura la presenza di finte volte, controsoffitti, aggetti, cavedi, cavità, canne fumarie, nicchie e discontinuità, sia attraverso osservazione diretta o sondaggio manuale, sia, laddove possibile, attraverso indagini non distruttive di tipo indiretto (es. termografia, georadar, indagini soniche) ovvero debolmente distruttive, se possibile (endoscopie, piccoli saggi, prelievi, etc.).

In ogni caso l'uso delle indagini, se davvero indispensabili per dirimere aspetti non altrimenti investigabili, deve comunque essere limitato allo strettamente necessario, compatibilmente con le risorse disponibili, l'accessibilità degli spazi ed il pregio storico-artistico dell'edificio. Analoga cura deve essere posta nel rilevamento degli infissi, se del caso, anche attraverso la redazione di un apposito abaco che ne evidenzi la presumibile datazione e le diverse tipologie.

Sul rilievo geometrico vanno poi registrate tutte le diverse informazioni riguardanti sia la presenza di eventuali sistemi impiantistici precedenti, anche storici, sia i diversi materiali costitutivi del fabbricato, laddove identificabili, attraverso simbologie chiare, preferibilmente a colori, evidenziandone anche lo stato di conservazione. Parimenti devono essere riportati i punti di eventuali saggi, indagini, prove o prelievi.

Anche qui, laddove si rinvenivano diverse tipologie murarie, tutte debitamente localizzate sul rilievo geometrico, sia in pianta che in alzato, la redazione di un abaco che ne evidenzia tessitura, andamento, materiali e loro dimensioni, può facilitarne ulteriormente la lettura e la comprensione anche del loro “rendimento” dal punto di vista energetico.

Il rilievo geometrico, corredato delle informazioni sopra menzionate, diventa inoltre strumento indispensabile anche per la redazione dell’Attestazione della Prestazione Energetica dell’edificio, laddove prevista.

3.2 La diagnosi energetica

La diagnosi energetica è uno dei processi fondamentali della riqualificazione energetica degli edifici, per cui definirne in modo chiaro e univoco scopo e modalità di esecuzione è essenziale. A conferma di ciò il CEN ha recentemente pubblicato la norma UNI CEI EN 16247-1 che è la prima di una serie dedicata all’argomento e che definisce la diagnosi energetica come “verifica sistematica ed analisi degli usi e dei consumi di energia di un sito, edificio, sistema o organizzazione con l’obiettivo di identificare e documentare i flussi di energia e il potenziale per miglioramenti di efficienza energetica”. Con riferimento all’edificio, la diagnosi energetica è una procedura sistematica che si propone di:

- definire il bilancio energetico del sistema edificio-impianto e individuare i possibili recuperi delle energie disperse;
- valutare le condizioni di benessere termigrometrico e di sicurezza necessarie e individuare appropriate soluzioni di risparmio energetico;
- valutare le opportunità di risparmio energetico dal punto di vista tecnico-economico e ottimizzare le modalità di gestione del sistema edificio-impianto, quali i contratti di fornitura di energia e le modalità di conduzione del sistema, ai fini di una riduzione dei costi di gestione.

Per quanto riguarda specificatamente gli edifici storici, il miglioramento della prestazione energetica richiede talvolta modifiche dell'organismo architettonico che, se non accuratamente progettate sulla base di una corretta diagnosi energetica, possono comportare problemi che vanno dal pregiudicare il valore monumentale e/o documentale del manufatto al mettere in discussione la sicurezza statica dell'edificio. Ne deriva che il progettista termotecnico che si trovi a dover intervenire su un edificio storico, soprattutto se vincolato secondo il DLgs 42/2004, è spesso tenuto ad acquisire la documentazione necessaria alla conoscenza del fabbricato non solo per gli aspetti tecnici di sua competenza, ma anche per quelli relativi al ruolo che quell'edificio svolge nella storia dell'uomo e all'interno del contesto urbano e paesaggistico in cui è inserito.

La diagnosi energetica di un edificio storico non è un processo semplice. Il primo ostacolo è dato dalla mancanza di adeguate piante e sezioni, cui si aggiunge la non conoscenza dei materiali e delle stratigrafie delle pareti interne ed esterne.

Questi problemi sono comuni a molti edifici esistenti, per i quali non è facile rintracciare piante e sezioni significative dal punto di vista termotecnico e nei quali non sempre è possibile operare carotaggi per l'individuazione corretta delle caratteristiche termofisiche delle strutture murarie. Nel caso degli edifici storici il compito è ancora più arduo, perché, a meno che non si effettuino ricerche di archivio, non si riesce a risalire alla fabbrica originale e alle eventuali modifiche da questa subite nel corso degli anni o dei secoli.

Dal punto di vista dei materiali, è talvolta possibile risalire alla stratigrafia delle pareti in modo non distruttivo o intrusivo, per esempio utilizzando tecniche endoscopiche applicate a passaggi o interstizi preesistenti nelle murature. Queste tecniche potrebbero però risultare costose e comunque non sempre danno conto di interventi subiti nel tempo dalle murature, che spesso sono nascosti sotto intonaci più o meno di valore e che non sempre sono individuabili con tecniche quali la termografia all'infrarosso.

3.3 Lo scopo della diagnosi energetica

Come detto, lo scopo principale della diagnosi energetica è la valutazione dei consumi energetici dell'edificio al fine di ridurli, nel rispetto delle condizioni di qualità dell'ambiente interno che sono descritte in precedenza. Per far ciò è necessario identificare innanzitutto le funzioni che i sistemi architettonici e tecnologici devono soddisfare, che possono andare dalla semplice climatizzazione se l'edificio è destinato a usi residenziali o terziari, al controllo del microclima se nell'edificio sono ospitate collezioni, al controllo dell'umidità da risalita in presenza di falde acquifere o acque disperse nel sottosuolo. Poi devono essere identificati i vettori energetici utilizzati da ogni servizio e i flussi di energia associati a ciascun vettore. A questo punto è possibile valutare l'efficienza energetica di ogni servizio e identificare le opportunità di risparmio energetico ed economico che possono essere proposte per l'edificio in esame.

3.4 I livelli di diagnosi energetica

Ci sono tre diverse tipologie base o livelli di diagnosi energetica, ognuno dei quali potrebbe soddisfare le necessità precedentemente identificate, che, in ordine di complessità, sono:

- *I Livello: Diagnosi per ispezione visiva o diagnosi leggera (Walk-Through Audit)* La diagnosi energetica per ispezione visiva o, semplicemente, l'ispezione visiva, come indica lo stesso nome, è una visita al sito oggetto di diagnosi con lo scopo di ispezionare visivamente ciascuno dei sistemi e/o sottosistemi impieganti energia. Tipicamente include una valutazione dei dati di consumo energetico allo scopo di analizzare le quantità e i profili degli usi di energia, così come fornisce dei confronti con valori medi o benchmark di riferimento. È sicuramente la diagnosi meno costosa ma può comunque dare una stima preliminare del potenziale di risparmio e fornisce una lista di opportunità di risparmio a basso costo principalmente

attraverso il miglioramento delle procedure di gestione e manutenzione. La diagnosi di primo livello è anche un'opportunità per raccogliere informazioni utili ad una successiva più dettagliata analisi (diagnosi), se il potenziale di risparmio preliminare appare garantire il raggiungimento di obiettivi più ampi per giustificare un'attività di diagnosi più accurata e quindi più costosa.

- *II Livello: Diagnosi standard (Standard Audit)*
La diagnosi standard si propone di quantificare gli impieghi e le perdite di energia tramite una revisione e analisi degli apparati, dei sistemi e delle loro caratteristiche operazionali. Questa analisi può includere anche alcune misure sul posto e verifiche prestazionali per quantificare l'impiego di energia e l'efficienza energetica dei vari sistemi. Per analizzare le efficienze e calcolare il fabbisogno energetico e il risparmio economico legato a miglioramenti e modifiche di ogni sottosistema, si impiegano strumenti di calcolo ingegneristici standard (cioè usuali). La diagnosi energetica standard include pure l'analisi economica delle misure di risparmio energetico raccomandate.
- *III Livello: Diagnosi dettagliata (Detailed Audit)*
Il terzo livello di diagnosi include un'analisi più dettagliata degli impieghi di energia, specializzata per funzione e/o destinazione d'uso, e una più completa valutazione dei profili d'uso dell'energia. Ciò è realizzato attraverso l'impiego di programmi di calcolo di simulazione dinamica del sistema energetico considerato. L'operatore deve, ad esempio, eseguire delle simulazioni del sistema edificio-impianto che tengano in considerazione la variabilità del clima e tutte le altre variabili legate alle modalità d'uso dell'edificio per prevedere i fabbisogni e gli usi di energia almeno per tutta la durata di un anno. Il suo obiettivo è quello di creare una base di riferimento per il successivo confronto (baseline) che sia

consistente con gli effettivi consumi del sistema. Quando tale “baseline” è stata costruita, si possono modificare parti del sistema per migliorare l’efficienza dei vari sottosistemi e, effettuate nuove simulazioni nelle nuove configurazioni ottenute, misurarne gli effetti confrontando i risultati con la baseline stessa. Questo metodo tiene anche conto delle interazioni tra i diversi sottosistemi, il che aiuta a prevenire la sovrastima dei risparmi. A causa del tempo necessario per la raccolta dei dati necessari per descrivere dettagliatamente ogni apparato, e per l’approntamento di un modello sufficientemente accurato per la simulazione dinamica, tale approccio rappresenta il livello più costoso della diagnosi energetica, ma può essere giustificato da un’elevata complessità dell’edificio o del sistema in esame, non altrimenti trattabile in modo corretto con i livelli precedenti. [8]

In Figura 3.2 è riportato un confronto tra i tre livelli di diagnosi.

TIPOLOGIA	CARATTERISTICHE	RISULTATI	TEMPI
I livello: Leggera	Visita all'edificio oggetto di diagnosi allo scopo di ispezionare visivamente ciascuno dei sistemi e/o dei sottosistemi energetici.	Stima del potenziale di risparmio energetico ed economico sulla base dell'indicazione delle ORE a basso costo di investimento. Lista qualitativa degli scenari di intervento. Indicazioni per una successiva analisi di II o III livello	Pochi giorni
II livello: Standard	Analisi energetica dei sistemi impiantistici con modelli di calcolo in regime stazionario. Piccole misurazioni.	Indicazione delle ORE e degli scenari di intervento da applicare all'edificio tramite analisi energetica, economica e multicriterio.	Poche settimane
III livello: Dettagliata	Analisi energetica dei sistemi impiantistici con modelli di calcolo in regime dinamico. Misurazioni dettagliate sui componenti.	Valutazione del consumo di energia primaria suddiviso per funzione d'uso, vettore energetico e profili d'uso. Indicazione accurata delle ORE e degli scenari di intervento, da applicare all'edificio tramite analisi energetica, economica e multicriterio. Definizione delle interazioni tra i diversi scenari.	Settimane o mesi

Fig.3.2 - Confronto tra i tre livelli di diagnosi.

3.5 Processo di diagnosi

Una volta stabilito il livello di diagnosi che si vuole eseguire, si può iniziare a raccogliere l'informazione sui componenti strutturali e meccanici che condizionano gli impieghi di energia nell'edificio, e sulle modalità di funzionamento e gestione dell'edificio o dell'impianto produttivo. Molte di queste

informazioni possono e dovrebbero essere raccolte prima della visita al sito in esame. Infatti, una valutazione approfondita, sia degli impieghi dell'energia che dei sistemi utilizzatori, prima dell'ispezione sul posto aiuta sicuramente nell'identificazione delle aree di potenziale risparmio energetico e ad ottimizzare la stessa visita in loco. Un approccio organizzato alla diagnosi energetica aiuta a raccogliere informazioni utili e a ridurre la quantità di tempo da dedicare alla valutazione della struttura in esame. Se si separa il processo di diagnosi in tre parti distinte, attività pre-ispezione, l'ispezione (visita sul posto), e attività post-ispezione, è infatti più facile definire quanto tempo vada allocato ad ogni azione e si perviene alla stesura di un rapporto di diagnosi energetica più esaustivo e utile. Il processo di diagnosi energetica può quindi essere suddiviso in diverse fasi che contemplano le azioni che vengono nel seguito descritte.

3.6 Attività di pre-ispezione

L'attività da svolgere prima dell'ispezione (visita il loco) è essenziale per ottenere una conoscenza sulle caratteristiche basilari dell'edificio che si vuole esaminare. Tale conoscenza aiuta ad ottimizzare il tempo legato alla visita sul posto (ispezione) e a minimizzare le interruzioni all'attività del personale addetto o dei servizi dell'edificio. Un'accurata analisi precedente l'ispezione riduce significativamente anche il tempo richiesto per poi completare la stessa attività ispettiva. L'analisi pre-ispezione dei sistemi dell'edificio e delle sue modalità di gestione dovrebbe portare alla creazione di una lista di domande e argomenti specifici che andrebbero discussi con il personale addetto durante la visita sul posto.

Azioni pre-ispezione

1) Raccolta e analisi informazione su consumi pregressi; che si attua con:

- raccogliere e analizzare almeno due anni di dati sui consumi di energia della struttura in esame;



- tabulare e riportare in grafico tali dati;
- identificare i profili stagionali, i picchi inusuali e l'attendibilità delle fatturazioni dei consumi energetici.

Attraverso la determinazione dei carichi di base e stagionali e l'attribuzione dei consumi energetici tra i diversi sistemi dell'edificio, quali quelli per il riscaldamento, il raffrescamento, l'illuminazione e la produzione di acqua calda sanitaria, diventa più facile identificare le aree a maggiore potenziale di risparmio energetico. Per l'energia elettrica è inoltre importante includere sia la quantità richiesta sia la potenza richiesta e i relativi costi. I grafici a torta dell'impiego di energia e del costo per tipologia di vettore energetico utilizzato possono fornire una documentazione convincente degli impieghi complessivi di energia e delle spese associate.

2) Raccolta dei disegni e delle specifiche tecniche relativi a:

- progetto esecutivo e "asbuilt" dell'architettonico;
- progetto esecutivo e "asbuilt" degli impianti meccanici;
- progetto esecutivo e "asbuilt" degli impianti elettrici.

Progetti, disegni e specifiche tecniche riportate nei capitolati devono essere aggiornate all'effettiva realtà dell'edificio, cioè essere conformi a tutte le varianti in corso d'opera eseguite.

3) Realizzazione di piante dell'edificio su fogli A4 per la raccolta delle note su posizione degli apparati degli impianti di climatizzazione, dei sistemi di controllo, delle zone climatizzate, dei livelli di illuminazione e di quanto altro sia fonte di consumo di energia che vada rilevato durante l'ispezione.



- 4) Calcolo delle superfici utili climatizzate lorde dell'edificio utilizzando le dimensioni esterne e sottraendo le aree non occupate o non climatizzate, e calcolo dei relativi volumi.
- 5) Precompilare, per quanto possibile, utilizzando i disegni e le specifiche tecniche disponibili, le schede preordinate per il rilievo, l'organizzazione e la documentazione dei dati, prima di iniziare l'ispezione in loco per risparmiare tempo.
- 6) Sviluppare una descrizione del profilo dell'edificio che includa l'età, la destinazione d'uso, la descrizione e le attuali condizioni dei sistemi architettonici, meccanici e elettrici, mettendo in evidenza i sistemi o apparati a maggior consumo di energia.
- 7) Calcolare i possibili indicatori degli usi energetici (IE) e confrontarli con quelli di riferimento di tipologie edilizie simili: in generale un basso valore degli indici indica un basso potenziale di risparmio energetico.
- 8) Sviluppare, già durante questa fase preliminare, una lista delle Opportunità di Risparmio Energetico (ORE) e delle procedure di Gestione e Manutenzione (PG&M) che risultano potenzialmente interessanti.

Mentre si svolge tale attività preliminare all'ispezione, conviene annotare gli elementi di maggior interesse emersi durante tale fase e preparare possibili domande da porre a maggior chiarimento e comprensione durante l'ispezione. Domande tipiche sono quelle che possono riguardare la tipologia degli apparati illuminanti e dei sistemi di controllo, il controllo di zona degli impianti di climatizzazione e le modalità di avvio degli impianti. Altre domande tipicamente



rilevanti possono riguardare le procedure di manutenzione relative a parti di apparato o di sistema che si è identificato essere soggette a manutenzione programmata.

Sviluppo di un disegno del sito

Occorre preparare un disegno dell'edificio o del complesso che mostri le seguenti informazioni:

- la collocazione e il contorno dell'edificio/i;
- il nome e il numero di ogni edificio;
- l'anno di costruzione di ogni edificio e sue dipendenze;
- la superficie utile dell'edificio e sue dipendenze;
- la posizione, il tipo di vettore energetico, il numero di serie dei misuratori di energia delle aziende fornitrici;
- le aree fornite da ogni misuratore di energia;
- la posizione e dislocazione degli apparati e impianti per la climatizzazione invernale e estiva;
- una freccia indicante la posizione del nord.

3.7 L'ispezione

Quando si è completata l'attività pre-ispettiva, si ha una conoscenza base dell'edificio e dei suoi sistemi. La visita sul posto è quindi finalizzata all'ispezione dei sistemi effettivamente esistenti nelle loro condizioni attuali e al trovare le risposte alle domande che sono state predisposte nella fase di analisi preliminare. Occorre pianificare almeno una intera giornata sul posto per ogni edificio che si intende ispezionare. In realtà il tempo richiesto varia molto in funzione della completezza dell'informazione disponibile e già raccolta in precedenza, dalla complessità dell'edificio e degli impianti, e dalla eventuale

necessità di verificare le prestazioni di alcuni componenti con misure in loco. Normalmente più è piccolo l'edificio minore è il tempo necessario, mentre edifici più grandi necessitano di due o più giorni per l'ispezione. Perché l'ispezione sia efficace conviene attenersi ai seguenti punti:

- fare in modo da disporre di tutti gli strumenti necessari sul posto, cercando di pensare in anticipo a quali attrezzature e strumenti siano necessari per effettuare un'ispezione accurata;
- prima di iniziare l'ispezione della struttura, conviene rivedere con l'energy manager o il conduttore dell'edificio i profili di consumo energetico definiti nella fase preliminare e discutere quegli aspetti della struttura in esame sui quali non si è avuta informazione, quali, ad esempio, i profili di occupazione, le procedure di gestione e manutenzione e eventuali piani futuri che possano avere un qualche impatto sui consumi energetici;
- avere conferma della correttezza delle piante sui disegni predisposti ed eventualmente annotare le differenze più significative;
- annotare su più copie di tali piante la posizione di apparati quali le caldaie, i refrigeratori, i riscaldatori di ACS, gli apparati di cucina, i ventilatori di estrazione, ecc., così come i tipi di apparati di illuminazione, i livelli, gli interruttori, la posizione dei sensori fotometrici, le temperature degli ambienti, condizioni generali e altre osservazioni ritenute significative;
- riempire le schede predefinite per i dati da rilevare e parzialmente precompilate, organizzandole in modo da rappresentare la linea guida per l'ispezione e da evidenziare i dati mancanti non riportati nella documentazione ricevuta preliminarmente all'ispezione;
- ispezionare in particolare i sistemi correlati alle ORE e PG&M individuate nell'analisi preliminare, rivedendo la possibilità di applicazione di tali raccomandazioni e annotando tutti i possibili problemi che ne conseguono;

- aggiungere alla lista di cui al punto precedente ogni altra ORE che si renda evidente dall'ispezione in situ;
- fare fotografie di quanto ispezionato, inclusi gli apparati meccanici, luminosi, gli spazi di lavoro interni, le aree comuni e gli atri, e l'esterno dell'edificio incluso il tetto; tale documentazione è essenziale per definire lo stato attuale, discutere problemi con terzi, così come per avere memento di quanto già ispezionato.

3.8 Attività post-ispezione

L'attività post-ispezione è un passo importante e necessario per assicurare che la diagnosi energetica risulti in uno strumento di pianificazione veramente utile. L'operatore del processo di diagnosi, in tale fase, deve valutare le informazioni acquisite durante l'ispezione, ricercare le possibili opportunità di risparmio energetico (ORE), organizzare la diagnosi in un rapporto esaustivo e esprimere raccomandazioni sui miglioramenti ai sistemi meccanici, strutturali e architettonici, elettrici e sulle procedure di gestione manutenzione. L'attività post-ispezione include i seguenti punti:

- riesame degli appunti annotati durante l'ispezione, chiarendo subito i dubbi rimasti irrisolti e completando quelle informazioni che non si è avuto il tempo di appuntare durante la visita; riportare gli appunti rivisti su nuove piante che andranno a fare parte dell'archivio della diagnosi;
- rivedere e rivisitare la lista preliminare di ORE e PG&M, preparata nella fase preliminare l'ispezione, eliminando quelle misure che risultano non efficaci e documentandone il perché;
- SE DIAGNOSI di 1° LIVELLO, condurre una ricerca preliminare sulle ORE e PG&M rimaste e evidenziare le situazioni che richiedono degli approfondimenti specialistici;

- SE DIAGNOSI di 2° LIVELLO, determinare per le ORE e PG&M rimaste il risparmio energetico e i costi associati attraverso strumenti standard, ordinando le misure possibili in funzione del rapporto costi/benefici e evidenziare le situazioni che richiedono degli approfondimenti specialistici, anche con una seconda ispezione sul campo e/o misure strumentali dedicate;
- SE DIAGNOSI di 3° LIVELLO, determinare per le ORE e PG&M rimaste il risparmio energetico e i costi associati attraverso strumenti di simulazione dinamica, ordinando le misure possibili in funzione del rapporto costi/benefici avendo anche analizzato le situazioni che hanno richiesto degli approfondimenti specialistici, anche con una seconda ispezione sul campo e/o misure strumentali dedicate;
- processare le fotografie, importarle in un documento che farà parte del rapporto finale, numerarle e annotare sulle piante a quale inquadratura la foto si ricesce; se necessario aggiungere note sotto le fotografie;
- organizzare tutti i grafici, le descrizioni dell'edificio, le tabelle dati ricavate dall'ispezione, le note e le foto in un unico raccoglitore componibile, che consente in ogni momento di aggiungere documentazione essendo la diagnosi energetica un processo dinamico.

3.9 Analisi dell'involucro

Conoscere le prestazioni e il comportamento energetico di una fabbrica diventa fondamentale nella realizzazione degli interventi di riqualificazione, in modo che essi siano efficacemente dimensionati e abbiano totale compatibilità fisico-chimica con il supporto materico.

Le prestazioni energetiche di un edificio sono determinate da diversi fattori quali il contesto climatico, i materiali e le tecniche costruttive utilizzate per realizzarlo

che, in sinergia, ne influenzano il bilancio termico globale, ovvero la differenza fra apporti e dispersioni di energia.

La norma UNI EN ISO 13790:2008, nel calcolo del bilancio di energia termica per raffrescamento e riscaldamento, prende in considerazione diversi fattori:

- scambio termico per trasmissione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente esterno, retto dalla differenza tra la temperatura della zona climatizzata e la temperatura esterna;
- scambio termico per ventilazione (mediante ventilazione naturale oppure mediante un impianto di ventilazione meccanica), retto dalla differenza tra la temperatura della zona climatizzata e la temperatura dell'aria immessa;
- scambio termico per trasmissione e ventilazione tra zone adiacenti, retto dalla differenza tra la temperatura della zona climatizzata e la temperatura interna all'ambiente adiacente;
- apporti termici interni (inclusi gli apporti negativi dai pozzi termici), per esempio dalle persone, dalle apparecchiature, dall'illuminazione e dal calore dissipato o assorbito dagli impianti di riscaldamento, raffrescamento, acqua calda o ventilazione;
- apporti termici solari (che possono essere diretti, per esempio, attraverso le finestre, o indiretti, per esempio, tramite l'assorbimento negli elementi edilizi opachi);
- accumulo di calore nella massa dell'edificio, o rilascio del calore accumulato dalla massa;
- fabbisogno di energia termica per il riscaldamento: se la zona è riscaldata, un impianto di riscaldamento fornisce calore al fine di elevare la temperatura interna al livello minimo richiesto (il valore di regolazione per il riscaldamento);
- fabbisogno di energia termica per il raffrescamento: se la zona è raffrescata, un impianto di raffrescamento sottrae calore al fine di

abbassare la temperatura interna al livello massimo richiesto (il valore di regolazione per il raffrescamento)».

Tali parametri non forniscono tuttavia una descrizione realistica del comportamento termo-fisico di una fabbrica storica sia perché presuppongono la presenza di impianti di riscaldamento e raffrescamento spesso non presenti in un edificio datato o comunque non adeguati, sia perché non tengono nella giusta considerazione i fattori igrometrici che, dovuti alle peculiarità del costruito storico, incidono in maniera sostanziale sui consumi energetici e sul comfort degli abitanti/utenti.

L'assenza di un sistema impiantistico capace di compensare le perdite e gli apporti di calore dall'esterno, fa gravare esclusivamente sull'involucro il compito di mantenere delle condizioni termiche interne accettabili.

In funzione della geometria dell'edificio, e quindi del rapporto fra la superficie esterna e il volume racchiuso (rapporto S/V), l'involucro disperde calore per trasmissione e ventilazione. In particolare, la trasmissione dipende, oltre che dalla dimensione della superficie di scambio, anche dalle proprietà termiche dei materiali costituenti l'involucro e dalla differenza di temperatura fra l'ambiente interno e quello esterno.

Nella maggior parte dei casi risulta difficoltoso stabilire con quale quota le dispersioni incidano sul bilancio termico di un edificio storico, non già per quanto riguarda il calcolo della superficie disperdente o il reperimento dei dati relativi alle temperature, quanto per la definizione delle caratteristiche termiche dei materiali costituenti i diversi elementi (murature, solai, coperture, infissi, etc.).

Il parametro principale per quantificare la trasmissione di calore attraverso un componente edilizio, in regime stazionario, è la trasmittanza (U), definita come la quantità di energia termica che attraversa, per un'unità di superficie e di tempo, una parete che separa due ambienti a diversa temperatura. I materiali da costruzione utilizzati nelle murature tradizionali (prevalentemente pietra, laterizio,

ciottoli, etc.) presentano alti valori di trasmittanza che, rendendo l'involucro "permeabile" al passaggio di calore dall'ambiente a temperatura maggiore verso quello a temperatura minore, favorisco il fenomeno delle cosiddette "pareti fredde", causa di discomfort dovuto all'abbassamento della temperatura globale dell'aria e, in maniera più sensibile, all'asimmetria radiante.

Generalmente, il valore della trasmittanza risulta particolarmente elevato nel caso di elementi realizzati con un paramento continuo di blocchi lapidei; tuttavia, le murature tradizionali difficilmente presentano un unico parametro, infatti spesso sono presenti delle intercapedini tra i due blocchi di muratura.

L'efficienza termica dell'involucro di un edificio storico è però ulteriormente indebolita dalla presenza di elementi con caratteristiche termiche differenti rispetto a quelle degli elementi attigui (ponti termici).

Generalmente tali zone, particolarmente frequenti nell'edilizia storica (murature con presenza di elementi materici vari, rinfianchi di laterizio o materiale litico più resistente, tamponamenti, etc.), presentano trasmittanze più elevate, risultando maggiormente disperdenti rispetto alla superficie adiacente, e causando, quindi, fenomeni di discomfort e degrado localizzati. Ma le criticità termiche dell'involucro non sono dovute esclusivamente alle caratteristiche proprie delle murature: un ulteriore nodo particolarmente problematico è rappresentato dagli infissi storici.

Questi, sovente realizzati con telaio in legno e vetro singolo, oltre a presentare alti valori di trasmittanza responsabili di fenomeni di discomfort assimilabili a quelli dovuti alle pareti fredde, spesso presentano fessure che, consentendo il passaggio dell'aria, contribuiscono sia a favorire il fenomeno dell'asimmetria radiante sia, in misura minore, a generare fastidiose correnti d'aria.

D'altro canto, favorire un ingresso controllato di aria esterna (nel caso questa non sia inquinata) diventa indispensabile al mantenimento di un adeguato grado di salubrità degli ambienti interni, scongiurando la formazione di condensa e muffe.

Dal punto di vista energetico, il permanere dell'acqua all'interno delle murature, o sulla loro superficie, aumenta la conducibilità dei diversi materiali interessati diminuendone, di conseguenza, le prestazioni termiche. Tali fenomeni sono generalmente dovuti alla presenza di infiltrazioni, alla risalita capillare o a problemi di condensazione superficiale. Mentre la soluzione al problema delle infiltrazioni è immediata, di qualunque natura esse siano (coperture dissestate, impianti idrici obsoleti, infissi non più efficienti, etc.), l'eliminazione dell'umidità di risalita richiede degli interventi ponderati caso per caso.

La formazione di condensa sulle superfici è però la tipologia di umidità di più difficile rimedio: una volta eliminati i ponti termici sulla cui estensione è più probabile riscontrare fenomeni di condensazione, diventa indispensabile agire sul tasso di umidità presente all'interno degli ambienti, ricorrendo ad un frequente ricambio d'aria, all'utilizzo di specifici apparecchi deumidificatori e all'installazione di un idoneo impianto di riscaldamento.

Quest'ultimo dovrà essere progettato in modo da non essere motivo di repentini cambi di temperatura o improvvisi spostamenti di masse d'aria, possibili cause di degrado di superfici decorate o arredi lignei.

3.10 Analisi del sistema impiantistico esistente

La conoscenza dei sistemi impiantistici inseriti nell'edificio è un perno fondamentale per la conoscenza dello stato del sistema edificio-impianto e per la definizione degli interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche.

A questo scopo vanno effettuati rilievi mirati a raccogliere tutti i dati utili per poter fare una corretta diagnosi energetica e il calcolo dei parametri di legge, così come previsto dalle norme italiane ed europee.

3.10.1 Le tipologie di impianto

Gli impianti presenti nell'edificio che utilizzano energia sono essenzialmente quelli di climatizzazione e quelli elettrici. I primi a loro volta sono classificabili in

impianti di riscaldamento, ventilazione, termoventilazione, climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria.

L'impianto di riscaldamento può essere costituito da uno o più generatori di calore: sfruttando la generazione di calore ottenuta da una combustione, in genere di gas metano o di gasolio, viene riscaldato un fluido termovettore, che, grazie a un circolatore, è inviato in ambiente tramite un sistema di distribuzione. L'impianto può utilizzare come fluido termovettore l'acqua, nel qual caso si parla di impianto ad acqua, il circolatore è una pompa e il sistema di distribuzione è costituito da tubi. Se il fluido termovettore è aria, si parla di impianto aeraulico, il circolatore è un ventilatore e il sistema di distribuzione è costituito da condotte. La centrale termica deve essere dotata, oltre ai sistemi di regolazione, controllo e sicurezza, di un adeguato sistema di aerazione al fine di consentire la corretta combustione e di un idoneo sistema di evacuazione dei prodotti della combustione. L'impianto è soggetto a ispezione periodica ai sensi del DPR 16/13. L'impianto di condizionamento generalmente utilizza come fluido termovettore aria che viene trattata in una unità di scambio termico (Unità di Trattamento dell'Aria, UTA) e poi distribuita agli ambienti mediante condotte aerauliche. Il sistema può funzionare in regime invernale ed estivo; in questo secondo caso è asservito a una o più unità frigorifere.

3.10.2 Il rilievo dell'impianto

La redazione della diagnosi energetica e l'effettuazione del calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici richiede la conoscenza di una serie di informazioni relative all'impianto e alle sue caratteristiche. Per raccogliere e organizzare i dati può essere molto utile per il professionista disporre di schede e protocolli che lo guidino nel suo compito. Queste schede devono contenere almeno la tipologia e i dati relativi alle caratteristiche tecniche dell'impianto e dei suoi componenti, ma possono ovviamente prevedere l'inserimento di qualunque tipo di informazione, dalla pianta degli ambienti alla disposizione dei terminali.

3.10.3 L'impiantistica storica

Dal punto di vista impiantistico, gli edifici storici che non sono stati interessati da recenti interventi di manutenzione, sia essa ordinaria che straordinaria o preventiva, sono generalmente dotati di impianti obsoleti che potrebbero in linea di principio essere sostituiti ma che in realtà possono essere testimonianze del passato e come tali avere un interesse storico, per cui vanno accuratamente recuperati, valorizzati e se possibile resi fruibili.

E' chiaro che la valutazione della possibilità di riutilizzo di impianti che presentano valenza storica comporta problemi di tutela e spesso anche di valorizzazione, è un processo interdisciplinare, che il progettista dovrà gestire dal punto di vista termotecnico e che richiede anche competenze tipiche degli esperti in Beni Culturali. L'analisi degli impianti storici al fine di valutarne le possibilità di tutela, valorizzazione e fruizione è quindi un processo integrato nel quale il progettista svolge un ruolo di particolare importanza.

3.11 Modellazione energetica

I sistemi di valutazione del comportamento energetico degli edifici attualmente a disposizione effettuano la simulazione termica in regime stazionario o dinamico. I primi sono utilizzati per certificare il comportamento in condizioni standard di utilizzo e per attestare la classe energetica degli edifici (UNI TS 11300-1, 2008). Tali simulazioni consentono di indagare solo parzialmente le reali prestazioni di un edificio, poiché partono dall'assunto che la variazione periodica delle temperature possa essere trascurata ai fini nella valutazione energetica complessiva. Le simulazioni realizzate in regime dinamico, invece, analizzano nel dettaglio i contributi dell'inerzia termica delle pareti, della variabilità delle temperature esterne, della radiazione solare, della ventilazione naturale e delle modalità di gestione degli occupanti, che hanno ripercussioni sulle prestazioni termiche invernali ed estive.

In linea generale, i sistemi sono costituiti da tre componenti principali:

- “variabili in ingresso” che forniscono le informazioni essenziali per definire le caratteristiche climatiche e termofisiche dell’ambiente di riferimento;
- “struttura del sistema” che identifica le proprietà e i parametri energetici e prestazionali necessari per la descrizione fisica dei componenti edilizi e impiantistici;
- “dati in uscita” che descrivono la reazione del sistema quando è sollecitato dalle “variabili in ingresso”. Possono essere variabili di risposta (il fabbisogno energetico) o dipendenti (la temperatura e l’umidità relativa interne).

3.11.1 Simulazione in regime stazionario

I programmi semplificati realizzano una valutazione energetica in regime stazionario e considerano un numero limitato di fattori. Il loro utilizzo è previsto dalle direttive europee per la valutazione delle prestazioni energetiche in edilizia: a livello nazionale occorre seguire le procedure armonizzate di certificazione energetica (d.lgs. 192/2005) e, negli interventi di riqualificazione, di diagnosi energetica (d.lgs 115/2008). In linea di massima, le “variabili in ingresso” possono essere ricavate da indagini diagnostiche sull’edificio oppure dalla normativa di riferimento mentre, analogamente, la “struttura del sistema” può essere definita e calcolata dall’utente per analogia costruttiva con edifici e sistemi impiantistici coevi oppure integrata da banche dati o da abachi nazionali, regionali o locali. La correttezza e la precisione dei dati in ingresso, ovviamente, è di fondamentale importanza per determinare il risultato finale.

3.11.2 Programmi di analisi precoce

Gli strumenti semplificati per l’analisi precoce del progetto (*sketch design analysis*) presentano funzioni superiori rispetto ai software di simulazione in regime statico e, al contempo, sono dotati di alcune semplificazioni

nell'introduzione e nell'elaborazione dei dati. Ad esempio, deve essere introdotta la percentuale di superficie trasparente sul totale di quella opaca e non le dimensioni delle singole superfici; anziché calcolare il "rapporto di forma" l'edificio può essere descritto come basso e snello; un muro può essere pesante o leggero, molto o poco isolato...Questi strumenti sono particolarmente utili nella "valutazione energetica di progetto", nel pre-dimensionamento e nella definizione delle alternative di *retrofit* energetico in quanto consentono di simulare il comportamento anche senza disporre di parametri geometrici e termofisici precisi. Ovviamente i risultati ottenuti sono solo parzialmente confrontabili con quelli di software più avanzati.

3.11.3 Simulazione in regime dinamico

I programmi avanzati di analisi funzionano in regime dinamico e generalmente si basano su una struttura modulare che permette di effettuare una valutazione dettagliata del comportamento energetico e ambientale dell'edificio: vanno specificate le caratteristiche geometriche e termofisiche e le relazioni tra i componenti partendo da informazioni standard e da dati nazionali o internazionali, integrabili con i risultati di accertamenti diagnostici sui componenti, dati climatici, modalità di gestione degli output, etc.

3.12 Valutazione della prestazione energetica E_p

La prestazione energetica di un edificio è la quantità annua di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi con un uso standard dell'edificio, compresi la climatizzazione invernale ed estiva, la produzione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e l'illuminazione.

Per miglioramento energetico si intende l'esecuzione di uno o più interventi aventi lo scopo di ridurre l'indice di prestazione energetica senza modificare lo stato strutturale

e architettonico del manufatto e cercando di migliorare le condizioni di qualità ambientale

3.12.1 Valutazione della prestazione energetica

La valutazione della prestazione energetica deve tener conto di una serie di parametri, tra cui:

- gli aspetti climatici della località;
- il livello di isolamento termico dell'involucro;
- l'esistenza di sistemi di generazione propria di energia;
- le caratteristiche tecniche e di installazione dell'impianto;
- il microclima degli ambienti interni.

La prestazione energetica complessiva dell'edificio è espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale EP_{gl}, che rappresenta il consumo di energia primaria riferito all'unità di superficie utile o al volume lordo ai fini del riscaldamento, del raffrescamento, della produzione di acqua calda a fini igienico-sanitari, per l'illuminazione e per l'eventuale ventilazione:

$$EP_{gl} = EP_{ci} + EP_{acs} + EP_{ce} + EP_{ill}$$

dove:

EP_{ci} = indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;

EP_{acs} = indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria;

EP_{ce} = indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;

EP_{ill} = indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

Gli indici di prestazione sono espressi in kWh/m²anno o kWh/m³anno, secondo le indicazioni previste dalle norme europee e nazionali vigenti.

Il valore ottenuto dal calcolo è un indicatore prestazionale che può essere confrontato con i valori derivanti dai calcoli effettuati su altri edifici solo se le ipotesi adottate sono congruenti. A questo proposito, è opportuno precisare che la



valutazione del fabbisogno energetico di un edificio, essendo appunto effettuata mediante un metodo di calcolo, non può che risentire delle diverse ipotesi che il progettista ritiene utile o necessario adottare. Il valore ottenuto può essere variato grazie all'adozione di soluzioni diverse, quali le migliori nel sistema di produzione energetica o nelle prestazioni di elementi di involucro, che consentono di valutare la praticabilità energetica di una determinata operazione.

Leggi e norme impongono il sistema edificio-impianto come un unico blocco: è tuttavia opportuno che, nella fase di valutazione delle prestazioni energetiche, vengano distinti i contributi energetici richiesti per il fabbisogno energetico dovuto al raffrescamento da quelli dovuti al riscaldamento, dall'energia richiesta dal sistema impianto e dall'energia primaria richiesta dall'intero sistema edificio - impianto. Tale determinazione consente di effettuare la diagnosi energetica in modo più comprensibile.

4 Come si valuta il comfort in un edificio?

Riuscire a prevedere in fase progettuale se un edificio sarà confortevole è un'operazione molto interessante. Tanto più se abbinata a un controllo delle strategie di ottimizzazione energetica, come il controllo degli apporti solari, dei carichi interni, delle dispersioni e dei fenomeni inerziali.

Partiamo dalla definizione di temperatura operante data dalla norma UNI 10375:2011: “la temperatura operante rappresenta la temperatura uniforme di un ambiente nel quale un occupante scambierebbe per irraggiamento e convezione la stessa potenza termica scambiata nell'ambiente in esame termicamente non uniforme” [18].

Questa definizione introduce due concetti interessanti.

Il primo riguarda il fatto che la temperatura operante è un parametro fittizio utile a semplificare la complessità della realtà (vedi figura 4.1). Si tratta infatti di un'invenzione matematica che sintetizza in un unico valore l'insieme degli scambi termici di un ambiente reale non uniforme.

Il secondo concetto riguarda la centralità del soggetto occupante l'ambiente. Ovvero la definizione di temperatura operante è legata alle sensazioni termiche di un utente all'interno della zona considerata. È un parametro che ha a che fare con il benessere degli occupanti e di conseguenza può essere utilizzata per l'analisi del comfort adattivo.

Il valore della temperatura operante si calcola per ogni ora come media del valore della temperatura dell'aria interna e della temperatura media radiante della stanza.

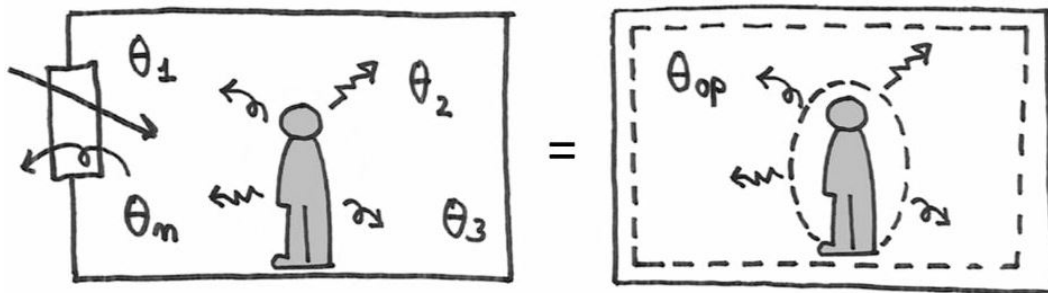


Fig. 4.1. rappresentazione del concetto di temperatura operante [11]

La temperatura operante dipende quindi dalla temperatura dell'aria interna e dalle temperature superficiali della zona termica, da cui si ricava la temperatura media radiante.

Torniamo alla domanda di partenza: come si valuta il comfort termico di un edificio?

Uno dei metodi più diffusi (e interessanti) si basa sul cosiddetto “modello del comfort adattivo” (adaptive comfort model) nato negli anni '70 del secolo scorso e oggi codificato dalla norma UNI EN 15251:2008. Tale modello si basa sull'assunto (confermato da numerosi test) che le persone tendono ad adattarsi automaticamente a un ambiente non climatizzato se possono operare liberamente (o hanno la sensazione di poterlo fare) sul microclima della stanza e sulle proprie abitudini. In altri termini, un individuo posto in un ambiente qualsiasi senza impianto in periodi o in climi caldi, raggiunge più facilmente condizioni di benessere se può agire sui sistemi di controllo ambientale in grado di cambiare il microclima interno in relazione alle proprie sensazioni.

Il concetto di acclimatazione dell'individuo è anche legato al fatto che il modello del comfort adattivo definisce la “temperatura di comfort” in relazione all'andamento “storico” delle condizioni climatiche esterne, in quanto non si limita al valore di temperatura esterna di un solo specifico giorno ma considera la media ponderata dei valori di temperatura esterna che si sono verificati almeno nelle ultime due settimane precedenti al giorno di analisi (running mean



temperature).

A livello operativo il modello del comfort adattivo si basa su due formule: una per definire la “temperatura di comfort” e la seconda per definire la “fascia di comfort”.

Si tratta di due algoritmi molto semplici che combinano insieme:

- la temperatura operante di una stanza non climatizzata;
- le condizioni climatiche medie esterne;
- la sensazione di accettabilità da parte degli utilizzatori della stanza.

L'algoritmo di calcolo della temperatura di comfort, mettendo in relazione la temperatura operante di un ambiente non climatizzato con le condizioni climatiche medie esterne, consente di definire uno o più “fasce di comfort” basate sulla sensazione di accettabilità da parte dell'utenza.

Il modello Adattivo considera un più ampio range di temperature “confortevoli” e pertanto permette una più agevole integrazione di tecnologie di raffrescamento passivo. Ad ogni modo, il fatto di permettere un più ampio range di temperature non va vista come una mancanza di controllo; le temperature di comfort massime previste del modello Adattivo sono comunque basse. La UNI EN 15251 individua tre fasce o classi di comfort (elevato, medio, scarso) a cui corrispondono scostamenti tra temperatura di comfort e temperatura operante rispettivamente di ± 1 °C, ± 2 °C e ± 3 °C.

Oggi questo modello è tornato attuale come strumento di previsione del comfort in edifici ad alte prestazioni e di controllo delle scelte progettuali legate al solo involucro edilizio.

5 Stato di fatto dell'edificio in esame

L'edificio in esame è situato nell'entroterra marchigiano, più precisamente nel comune di Cupramontana, in provincia di Ancona, a 505 m s.l.m. conosciuto per la sua produzione del vino Verdicchio. Nella Figura 5.1 si può vedere la collocazione geografica all'interno della provincia di Ancona.

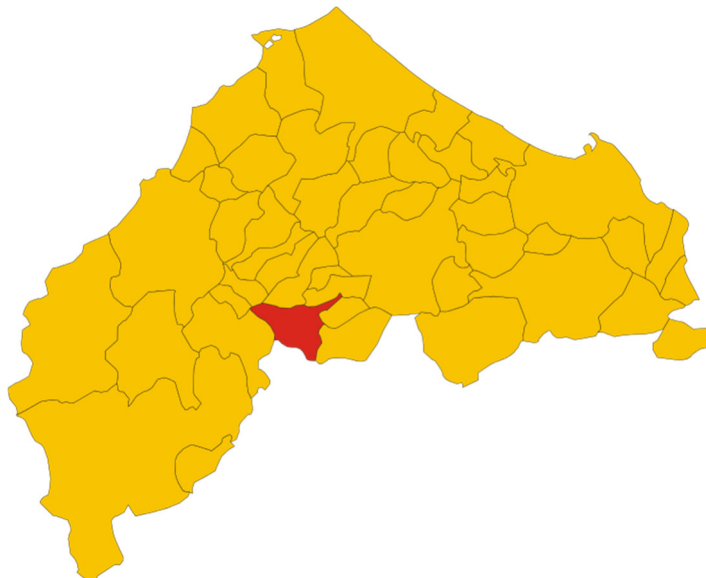


Fig. 5.1. Posizione geografica di Cupramontana all'interno della provincia di Ancona

5.1 Dati climatici

Nelle seguenti tabelle (Tab 5.1, 5.2 e 5.3) sono riportate alcune caratteristiche climatiche riguardanti il comune di Cupramontana.

I valori delle tabelle provengono direttamente dalla norma UNI 10349:2016 che sono precaricati all'interno di "Icaro" il software utilizzato per i nostri calcoli.

Tab. 5.1. Alcuni parametri relativi al comune di Cupramontana

Temperatura di progetto	-5,3 °C	Gradi giorno	2442	Durata della stagione di riscaldamento	183	giorni
Temperatura media annuale	12,6 °C	Zona climatica	E	Irradianza media del mese di massima insolazione	290,6	W/m ²
Temperatura media stagione di riscaldamento	6,9 °C	Densità dell'aria	1,147	Velocità del vento media annuale	1,8	m/s

Tab. 5.2. Valori medi di temperatura esterna, pressione esterna e umidità relativa esterna

	Temperatura [°C]	Pressione [Pa]	Umidità rel. [%]
gennaio	3,8	595	74
febbraio	4,1	539	66
marzo	7,7	680	65
aprile	11,1	842	64
maggio	16,0	1036	57
giugno	19,4	1274	57
luglio	22,9	1443	52
agosto	21,5	1435	56
settembre	17,7	1297	64
ottobre	12,9	1026	69
novembre	8,2	692	64
dicembre	5,5	671	75

Tab. 5.3. Valori medi di irradiazione mensile

	Irradiazione mensile [kWh/m ²]									
	Orizzontale	SUD	Sud-Est	EST	Nord-Est	NORD	Nord-Oves	OVEST	Sud-Ovest	Diffusa
gennaio	30,7	41,3	33,9	22,4	14,0	13,2	14,0	22,4	33,9	20,3
febbraio	56,5	74,4	62,7	43,0	23,1	18,3	23,1	43,0	62,7	25,3
marzo	97,8	90,4	86,5	70,2	44,1	30,5	44,1	70,2	86,5	41,4
aprile	143,7	91,3	102,7	97,9	70,7	46,1	70,7	97,9	102,7	56,0
maggio	192,8	92,2	115,9	126,3	101,4	71,6	101,4	126,3	115,9	69,5
giugno	202,2	85,9	111,6	129,5	110,3	84,1	110,3	129,5	111,6	75,1
luglio	216,2	94,0	123,0	140,2	115,5	83,4	115,5	140,2	123,0	71,1
agosto	174,2	96,1	114,7	116,6	88,3	58,8	88,3	116,6	114,7	64,0
settembre	124,6	96,3	99,5	87,2	58,6	38,4	58,6	87,2	99,5	50,9
ottobre	78,3	89,9	79,4	58,3	33,1	24,4	33,1	58,3	79,4	33,2
novembre	49,3	75,8	61,2	38,3	19,6	17,0	19,6	38,3	61,2	24,2
dicembre	35,1	61,1	47,9	27,7	14,0	13,1	14,0	27,7	47,9	19,1

Nei grafici successivi sono rappresentate le temperature esterne, la radiazione orizzontale e la radiazione diffusa relativa ad un anno.

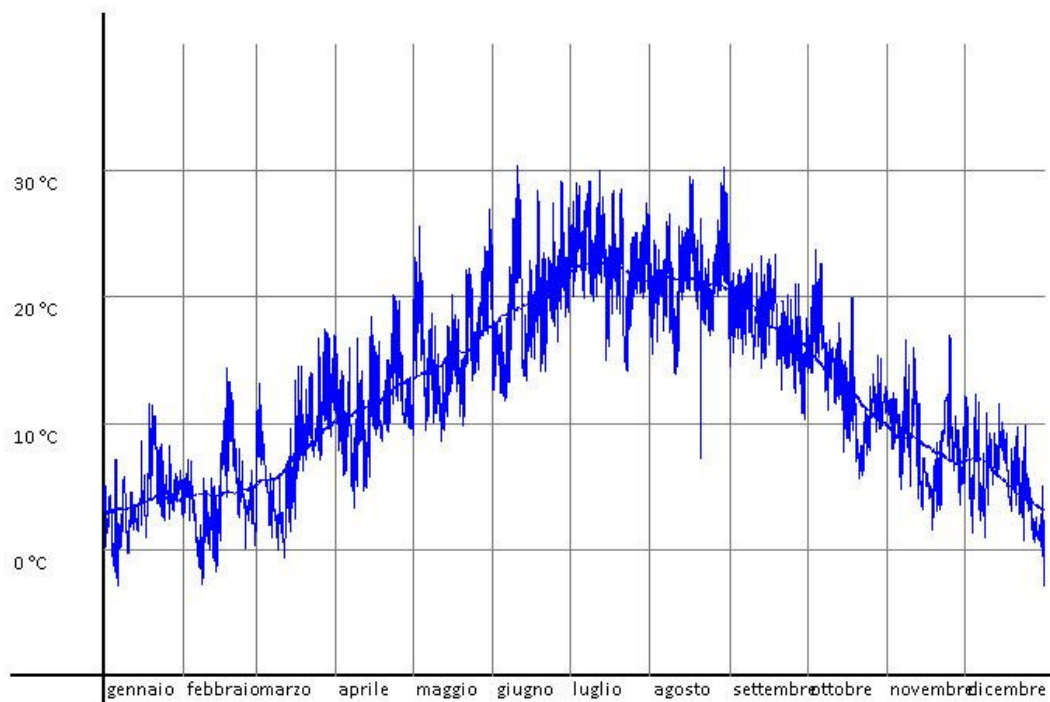


Fig. 5.1. Andamento delle temperature esterne in un anno

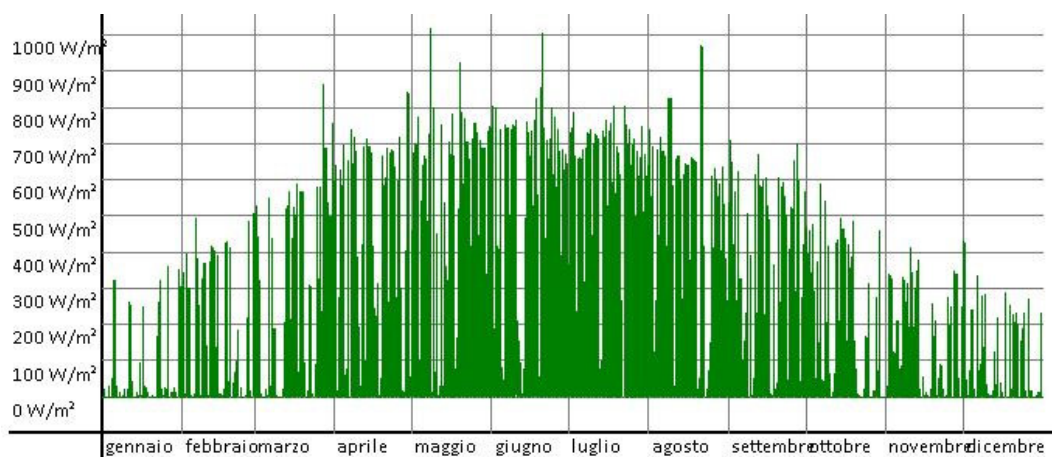


Fig. 5.2. Andamento della radiazione diretta sul piano orizzontale

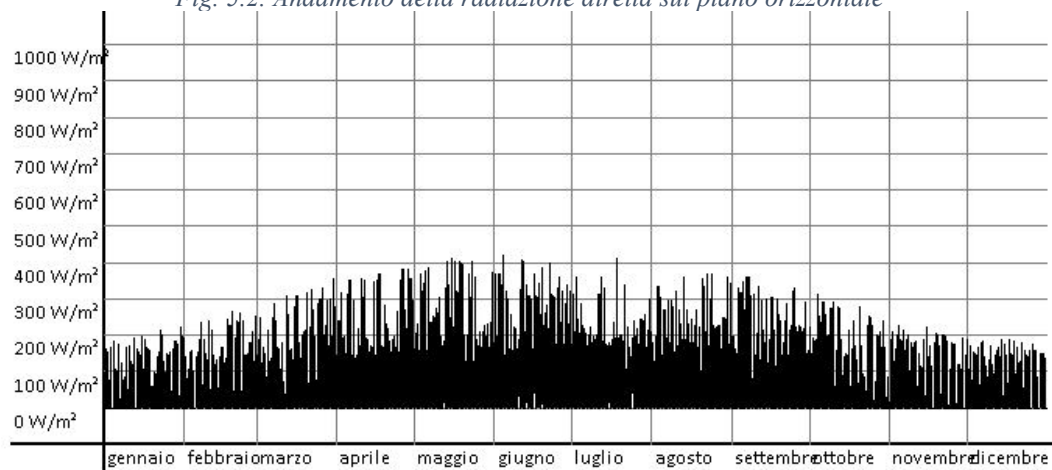


Fig. 5.3. Andamento della radiazione diffusa

5.2 Palazzo Leoni

Palazzo Leoni è un importante edificio storico la cui costruzione risale intorno agli anni 1800 e si trova all'interno del centro storico di Cupramontana, ed è composto al piano interrato da un ex enoteca, al piano terra c'è un ex ufficio e un magazzino del Museo dell'etichetta, che si trova al piano primo, e due ingressi per i diversi appartamenti situati nei piani successivi.

Il museo è espressione della vocazione vitivinicola del territorio del comune: si tratta di una raccolta unica nel suo genere, delle etichette di commercializzazione

del vino. Vi sono esposte etichette da tutto il mondo, raccolti con la collaborazione di enti e privati, raggruppate in pannelli, ora secondo un criterio tematico ed ora per provenienza geografica.



Palazzo Leoni di Cupramontana

Nella figura seguente è rappresentato il Piano primo dove si trova l'ex museo dell'etichetta e il primo appartamento. Il resto delle planimetrie è allegato nell'appendice A.

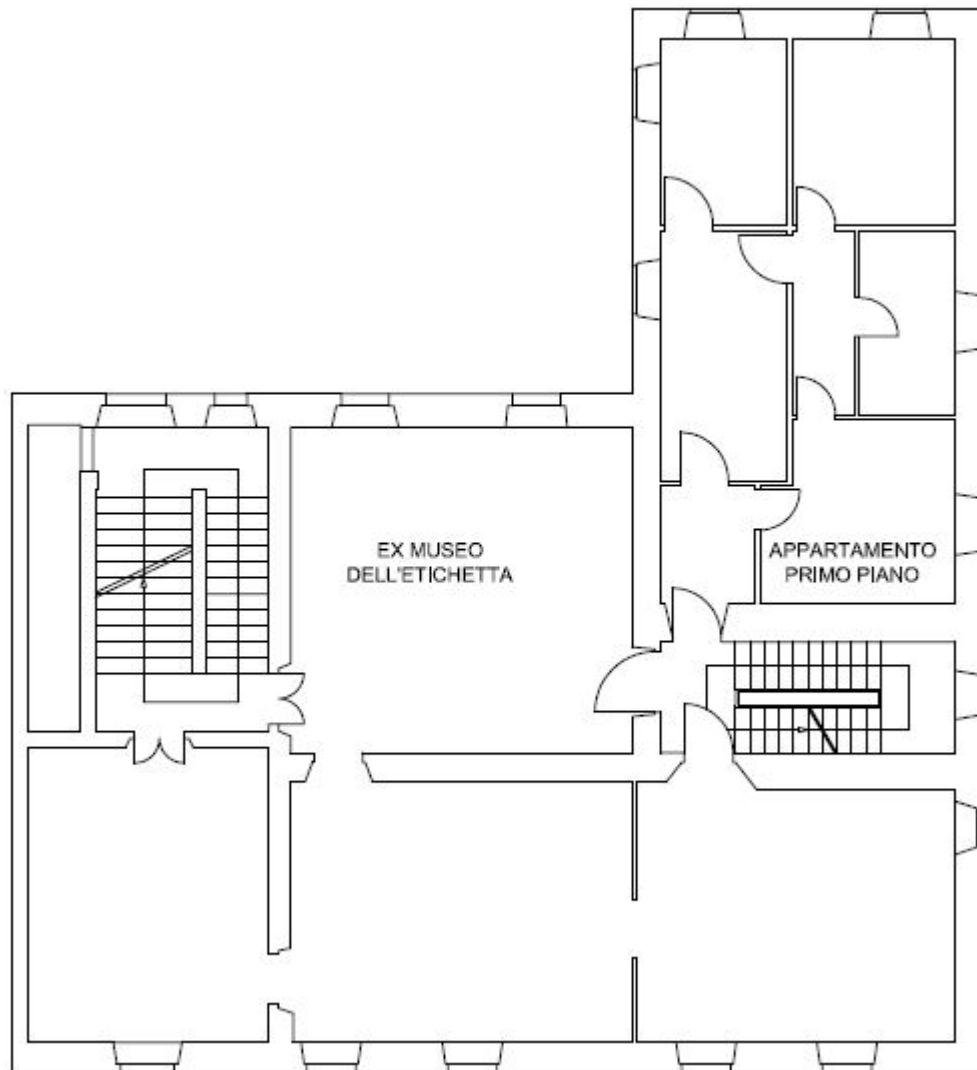


Fig. 5.4. Planimetria del Piano Primo

6 Modello

Per studiare in modo più appropriato il comportamento di un edificio è opportuno utilizzare modelli di carico dinamici in quanto sono più vantaggiosi e veritieri dei modelli semi-stazionari o stazionari.

Il modello di calcolo è stato creato con il software Icaro che consente di descrivere in maniera dettagliata l'involucro dell'edificio.

I modelli di calcolo si basano: sulla norma UNI EN ISO 52016-1:2018. I dati climatici utilizzati per la simulazione sono presi in accordo con UNI 10349:2016 oppure possono essere caricati dall'utente (vedi tabella 6.1).

Tab. 6.1. Modelli di carico forniti dal software Icaro in riferimento alle seguenti norme

UNI EN ISO 52016-1: 2018	Prestazione energetica degli edifici – Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti – Parte 1: Procedure di calcolo
UNI EN ISO 52017-1: 2018	Prestazione energetica degli edifici – Carichi termici sensibili e latenti e temperature interne – Parte 1: Procedure generali di calcolo
UNI EN ISO 52010-1: 2018	Prestazione energetica degli edifici – Condizioni climatiche esterne – Parte 1: Conversione dei dati climatici per i calcoli energetici
UNI 10349-1, 2 e 3: 2016	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici

Icaro si basa anche sui seguenti riferimenti normativi:

- ASHRAE 140: 2017: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs;
- UNI EN ISO 15251: 2008: Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.

Icaro può essere utilizzato per:

- il calcolo in regime dinamico del fabbisogno energetico d'involucro per i servizi di riscaldamento e raffrescamento;

- l'analisi del comfort estivo in condizioni *free running* o in presenza di impianti;
- lo studio della temperatura operante per la valutazione del requisito estivo dei CAM (Criteri Ambientali Minimi);
- la valutazione delle potenze necessarie al mantenimento delle temperature di progetto per il riscaldamento e raffrescamento;
- lo studio della riduzione del fabbisogno energetico grazie al contributo di una serra;
- l'analisi dell'efficacia della ventilazione notturna;
- la progettazione e verifica delle schermature fisse.

Sono state individuate dieci zone termiche: il piano seminterrato, i vani scala non riscaldati, i diversi locali non riscaldati, i cinque appartamenti, il piano terra dove si trova l'ufficio del museo e al piano primo il museo.

È stato anche utilizzato il software Termus per la creazione delle varie superfici opache e trasparenti, poi riprodotte nel software Icaro per l'analisi dinamica.

6.2 Superfici opache

La composizione di tutti i muri è stata ipotizzata, dopo aver consultato gli autori del precedente restauro avvenuto nel 2008, semplicemente con dei mattoni pieni a formare blocchi di differente spessore e nella parte interna un semplice intonaco di calce e gesso. Nella figura 6.2 possiamo notare la stratigrafia del muro e le varie caratteristiche. Per le altre stratigrafie consultare l'appendice A.

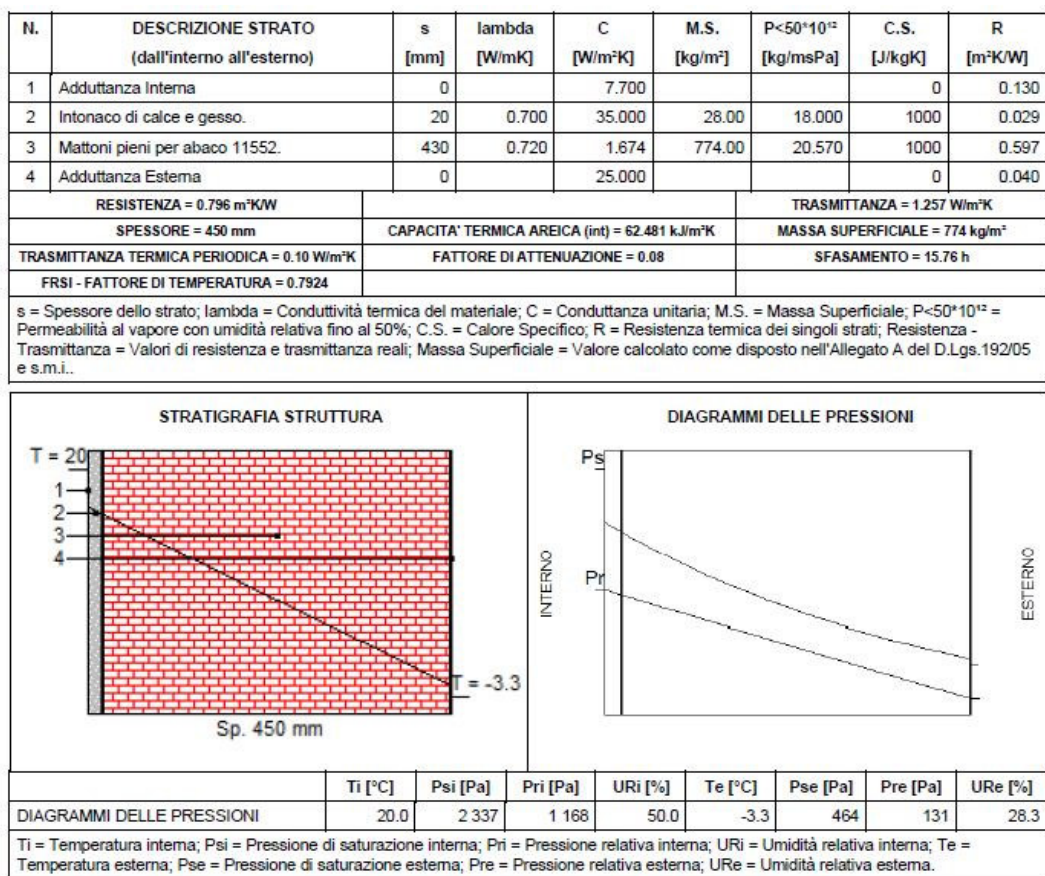


Fig. 6.2. Stratigrafia del muro da 45 cm

Per il solaio interpiano e quello di copertura dopo aver consultato, come per la stratigrafia dei muri, i costruttori del vecchio progetto di restauro, e oltre ad essere andato direttamente nei vari piani dell'edificio, si ha un solo tipo di solaio interpiano e un solo tipo di solaio copertura, come rappresentato nella figura 6.3 e 6.4. Le figure 6.3.1 e 6.4.1 sono le foto fatte direttamente in situ.

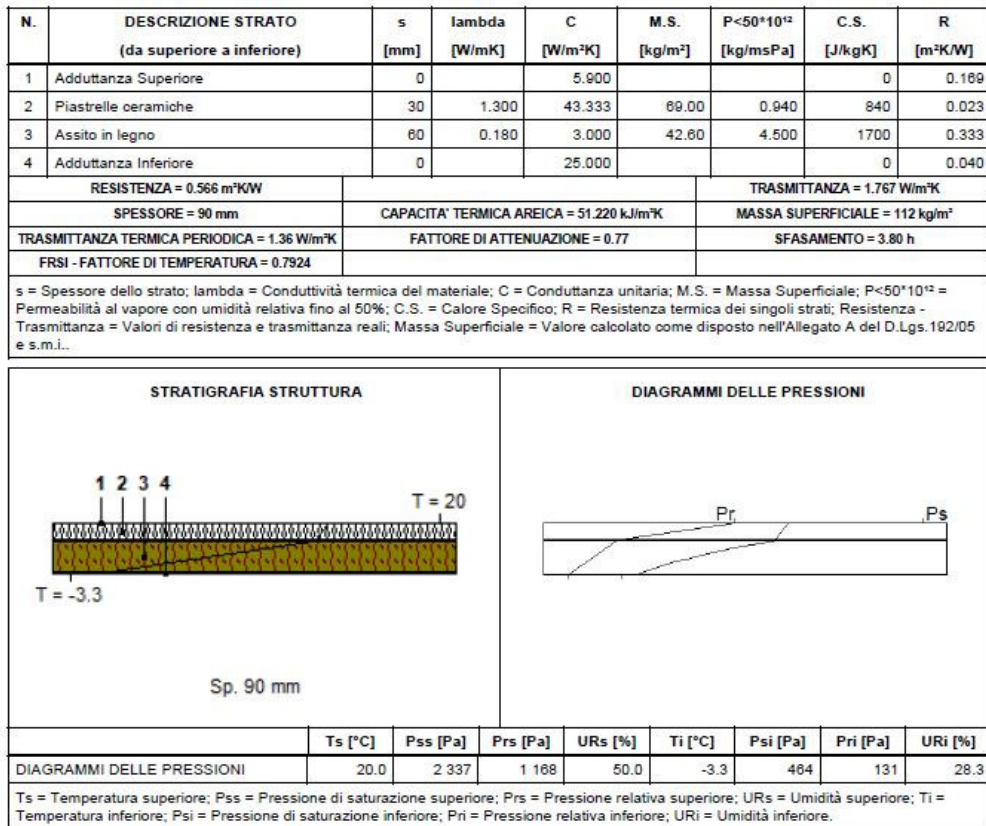


Fig. 6.3. Solaio interpiano nei differenti piani



Fig. 6.3.1 solaio interpiano



Fig. 6.4.1 solaio copertura

N.	DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10 ¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Superiore	0		25.000			0	0.040
2	Mattoni: pieni/forati/leggeri/alta resistenza meccanica - umidità 0,5%- mv.600.	20	0.247	12.350	12.00	36.000	840	0.081
3	Piastrelle ceramiche	30	1.300	43.333	60.00	0.940	840	0.023
4	Assito in legno per tetto	60	0.150	2.500	33.00	4.500	1600	0.400
5	Adduttanza Inferiore	0		10.000			0	0.100
RESISTENZA = 0.644 m²K/W						TRASMITTANZA = 1.553 W/m²K		
SPESSORE = 110 mm		CAPACITA' TERMICA AREICA = 34.375 kJ/m²K				MASSA SUPERFICIALE = 114 kg/m²		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 1.26 W/m²K		FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.81				SFASAMENTO = 3.60 h		
FRSI - FATTORE DI TEMPERATURA = 0.7924								
s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10 ¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..								

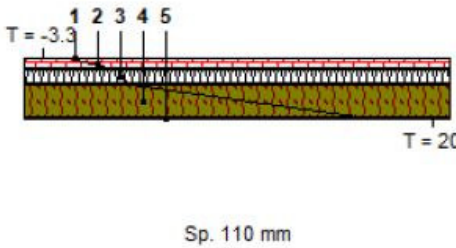
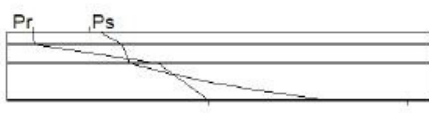
STRATIGRAFIA STRUTTURA		DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI						
								
	Ts [°C]	Pss [Pa]	Prs [Pa]	URs [%]	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	URi [%]
DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	-3.3	464	131	28.3	20.0	2 337	1 168	50.0
Ts = Temperatura superiore; Pss = Pressione di saturazione superiore; Prs = Pressione relativa superiore; URs = Umidità superiore; Ti = Temperatura inferiore; Psi = Pressione di saturazione inferiore; Pri = Pressione relativa inferiore; URi = Umidità inferiore.								

Fig. 6.4 Solaio di copertura

6.3 Superfici trasparenti

Nell'edificio è presente una sola tipologia di serramento, cioè una finestra in legno con un semplice ed unico vetro. La somma delle finestre con le diverse dimensione sono diciannove. Per le caratteristiche e qualità del serramento abbiamo utilizzato alcuni valori pre-impostati del software Termus, consultato la norma UNI EN ISO 10077/1 e il "Manuale Tecnico Saint Gobain Vetro Italia". Per il calcolo sono state trascurati gli oscuranti esterni, ovvero delle persiane verdi in legno per diversi motivi, fra cui il loro deterioramento e la loro non presenza in tutti i serramenti.

Nella figura 6.5 si può vedere una finestra tipo con le diverse caratteristiche del serramento.

La figura 6.5.1 contiene la foto fatta dall'interno dell'ex museo al piano primo.

SERRAMENTO SINGOLO								
DESCRIZIONE	Ag [m²]	Af [m²]	Lg [m]	Ug [W/m²K]	Uf [W/m²K]	kl [W/mK]	Uw [W/m²K]	Fg [-]
INFISSO	0.509	0.346	4.380	5.785	2.391	0.000	4.412	0.85
Ponte Termico Infisso-Parete: = 0 [W/mK]								
Fonte - Uf: da Normativa; Ug: da Normativa								
Ag = Area vetro; Af = Area telaio; Lg = Lunghezza perimetro superficie vetrata; Ug = Trasmittanza termica superficie vetrata; Uf = Trasmittanza termica telaio; kl = Trasmittanza lineica distanziatore (nulla se singolo vetro); Uw = Trasmittanza termica totale serramento; Fg = Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale.								



COEFFICIENTE RIDUZIONE AREA TELAIO	0.4044
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	0.130 m²K/W
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	0.040 m²K/W
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	7.700 W/m²K
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	25.000 W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	0.227 m²K/W
TRASMITTANZA TOTALE	4.412 W/m²K
TRASMITTANZA VETRO TOTALE	5.785 W/m²K

Fig. 6.5. Serramento tipo e le sue caratteristiche



Fig. 6.5.1 Finestre del Palazzo Leoni dell'ex museo al piano primo

6.4 Sistema di oscuramento

I sistemi oscuranti presenti nel palazzo sono di due tipi:

- Esterni, ovvero le persiane;
- Interni, le tende negli appartamenti e delle chiusure avvolgibili negli uffici.

Per quanto riguarda le persiane, non avendo trovato informazioni delle loro caratteristiche e considerando il loro livello di degrado, nello stato attuale non sono state considerate.

Le tende e le chiusure avvolgibili sono in tessuto bianco, le prime si trovano in tutti gli appartamenti invece le seconde si trovano negli uffici.

6.5 Ponti termici

E' possibile definire il ponte termico come quella configurazione strutturale o geometrica che produce una deviazione del flusso termico dalla condizione di flusso monodimensionale tra le superfici interna ed esterna di una parete.



Come per le superfici opache e trasparenti, si è usato il software Termus per il calcolo dei ponti termici la cui norma di riferimento è la 10211.

A partire dal semplice disegno ad oggetti, che può essere disegnato dall'utente o preso direttamente "dall'Atlante dei ponti termici" presente nel programma, il solutore di calcolo produce:

- il calcolo in automatico della trasmittanza termica lineare di ponti termici (Psi);
- la valutazione del flusso termico;
- la valutazione del coefficiente di accoppiamento termico;
- la valutazione del ponte termico anche verso terreni o zone ad altra temperatura;
- la verifica del ponte termico corretto;
- il disegno delle curve di livello con scala cromatica e la stampa delle isoterme e dell'isoterma critica.

Nella seguente figura 6.6 è possibile vedere un esempio di ponte termico presente nell'edificio.

Descrizione Struttura: Ponte Termico "Balcone": muri senza isolamento: [(1) Soletta, Spessore: 200 mm, 0.3896 W/mK; (2) Muro, Spessore: 350 mm, 0.3262 W/mK; (3) Muro, Spessore: 350 mm, 0.3262 W/mK.]. Dalla valutazione sul rischio MUFFA: - mese critico: Gennaio - temperatura minima sulla faccia interna: 18.07 °C. Il ponte termico non è soggetto a rischio di formazione muffe.

Trasmittanza Lineare: 0.07 W/mK

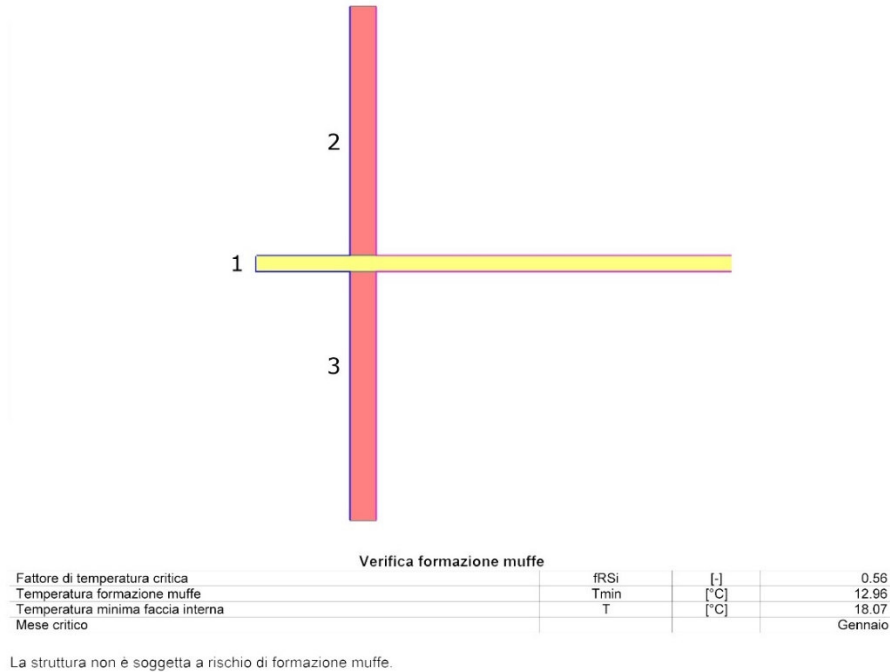


Fig. 6.6 Ponte termico riferito al balcone nel piano seminterrato

I ponti termici calcolati sono:

- Balcone al piano interrato con un valore di trasmittanza lineica pari a 0.07 W/mK;
- Attacco finestra al muro con spessore di 45cm con un valore di trasmittanza lineica pari a 4.00 W/mK;
- Attacco finestra al muro con spessore di 65cm con un valore di trasmittanza lineica pari a 5.00 W/mK;
- Attacco finestra al muro con spessore di 70cm con un valore di trasmittanza lineica pari a 5.25 W/mK;
- Attacco finestra al muro con spessore di 58cm con un valore di trasmittanza lineica pari a 4.75 W/mK;

6.6 Condizioni interne delle varie zone termiche

Per la completezza e correttezza del modello è stato necessario assegnare ad ogni zona termica i parametri di dispersione e apporti solari, apporti interni, ventilazione, riscaldamento e raffrescamento.

Di seguito vengono descritti più nello specifico i singoli parametri interni considerati.

6.6.1 Dispersioni e apporti solari

Per ogni zona termica sono stati calcolati le dispersioni verso l'esterno o verso altre zone termiche. Queste dispersioni provengono dalle strutture opache, trasparenti e dai ponti termici; inserite tutte le dispersioni il software calcola i vari coefficienti di trasmissione e apporto solare.

6.6.2 Apporti interni

Gli apporti termici interni sono costituiti da tutto ciò che è considerato un guadagno in termini di energia termica. Le sorgenti di energia termica presenti all'interno di uno spazio chiuso sono tipicamente gli apparecchi per l'illuminazione artificiale, le apparecchiature elettriche e gli occupanti.

La UNI/TS 11300-1 dedica un capitolo al metodo di calcolo per la definizione degli apporti interni di calore dovuti alle sorgenti presenti, in funzione delle destinazioni d'uso. I carichi interni per i diversi appartamenti sono stati calcolati in funzione della superficie interna secondo la seguente formula:

$$\Phi_{int} = 7,987 A_f - 0,0353 \times A_f^2$$

dove A_f è la superficie netta dell'appartamento.

Per i vani scala, i locali non riscaldati e il sottotetto non sono stati indicati carichi interni.



6.6.3 Ventilazione

Il ricambio d'aria è legato principalmente all'apertura e chiusura delle finestre ed è stato compreso di fatto nel valore di 0.5 Vol/h dell'infiltrazione a seconda del periodo annuale. In inverno o comunque nei mesi più rigidi le aperture sono state calcolate con valore più bassi di 0.5 Vol/h e viceversa nei periodi estivi.

6.6.4 Riscaldamento e Raffrescamento

Sono stati inseriti per tutte le zone termiche gli orari di accensione dell'impianto per il riscaldamento distinti per destinazione d'uso. Gli appartamenti hanno una temperatura di 21 °C dalle ore 9:00 alle ore 14:00 e dalle ore 18:00 alle ore 21:00 tutti i giorni della settimana.

Il piano interrato ha una temperatura di 21 °C dalle ore 11:00 alle ore 14:00 e dalle ore 19:00 alle ore 23:00 tutti i giorni della settimana. Il piano terra e il museo al primo piano hanno una temperatura di 21 °C dalle ore 9:00 alle ore 13:00 e dalle ore 15:00 alle ore 19:00 i giorni lavorativi dal lunedì al venerdì per quanto riguarda il piano terra invece questi orari sono mantenuti anche nel fine settimana nel museo pubblico.

Peri vani scala e il sottotetto invece non è stata considerata alcuna tipologia di riscaldamento.

Non è presente in nessuna zona termica un sistema di raffrescamento. Nella tabella 6.2 seguente troviamo nei mesi dell'anno il numero dei giorni in cui sono accesi gli impianti di riscaldamento.

Tab. 6.2 Temperature medie e giorni di riscaldamento per ogni mese

Mesi	Temperatura media mensile [°C]	n° di giorni di riscaldamento
Gennaio	3.8	31
Febbraio	4.1	28
Marzo	7.7	31
Aprile	11.1	15
Maggio	16.0	-
Giugno	19.4	-
Luglio	22.9	-
Agosto	21.5	-
Settembre	17.7	-
Ottobre	12.9	16
Novembre	8.2	30
Dicembre	5.5	31

7 Ipotesi di retrofit dell'involucro

Palazzo Leoni è un edificio storico quindi ci sono dei vincoli relativi ad alcuni interventi come per esempio le facciate, completamente in muratura a faccia vista o i differenti solai d'interpiano con le loro pavimentazioni che non possono essere sostituiti ma al massimo restaurati.

Come prima cosa, quindi, sono stati ipotizzati alcuni possibili interventi di miglioramento delle prestazioni termiche delle superfici opache e vetrate descritti nei paragrafi successivi.

Le ipotesi avanzate di fronte a questa problematica sono:

- isolamento interno di differente spessore in polistirene espanso;
- isolamento del solaio sottotetto con 16 centimetri di lana di roccia;
- sostituzione di tutte le finestre e oscuranti;
- installazione di una VMC (ventilazione meccanica controllata) per ogni zona termica.

Lo spessore degli isolanti è stato scelto in funzione della trasmittanza minima richiesta per legge per ottenere gli incentivi per interventi di riqualificazione edilizia. Nella Tab. 7.1 sono raccolti i valori limite della trasmittanza termica per legge per la fascia climatica E per le strutture opache e nella Tab. 7.2 i valori della trasmittanza termica per le strutture trasparenti.

Tab. 7.1. Valori limite di trasmittanza termica per riqualificazione edilizia per la fascia climatica E delle strutture opache

	U [W/m ² K]
Strutture opache verticali	0.23
Strutture opache orizzontali (coperture)	0.20
Strutture opache orizzontali (pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno)	0.25

Tab. 7.2. Valori limite trasmittanza termica di riqualificazione edilizia per le diverse fasce climatiche per le strutture trasparenti

Zona climatica	U (W/m ² K)
A e B	2,6
C	1,75
D	1,67
E	1,30
F	1,00

7.0.1 Isolamento interno

È stato ipotizzato di applicare un isolamento interno in polistirene espanso, per via del vincolo in facciata, di diverso spessore fino ad arrivare a raggiungere il limite della trasmittanza per le pareti. L'intervento è completato con l'applicazione di uno strato di intonaco di calce sull'isolante stesso. Le pareti coinvolte sono tutte quelle perimetrali e quelle verso i vani scale che non sono riscaldati con l'applicazione dell'intonaco in tutte e due le facce.

Nella tabella 7.3 sono definite alcune caratteristiche del polistirene, invece nella figura 7.1 viene mostrata la parete dallo spessore di 45 cm con la sua stratigrafia e i suoi spessori post-intervento.

Tab. 7.3. Caratteristiche del polistirene espanso

Polistirene espanso	
Conducibilità [W/mK]	0.036
Calore specifico [kJ/kgK]	1.452
Densità [kg/m ³]	50.000

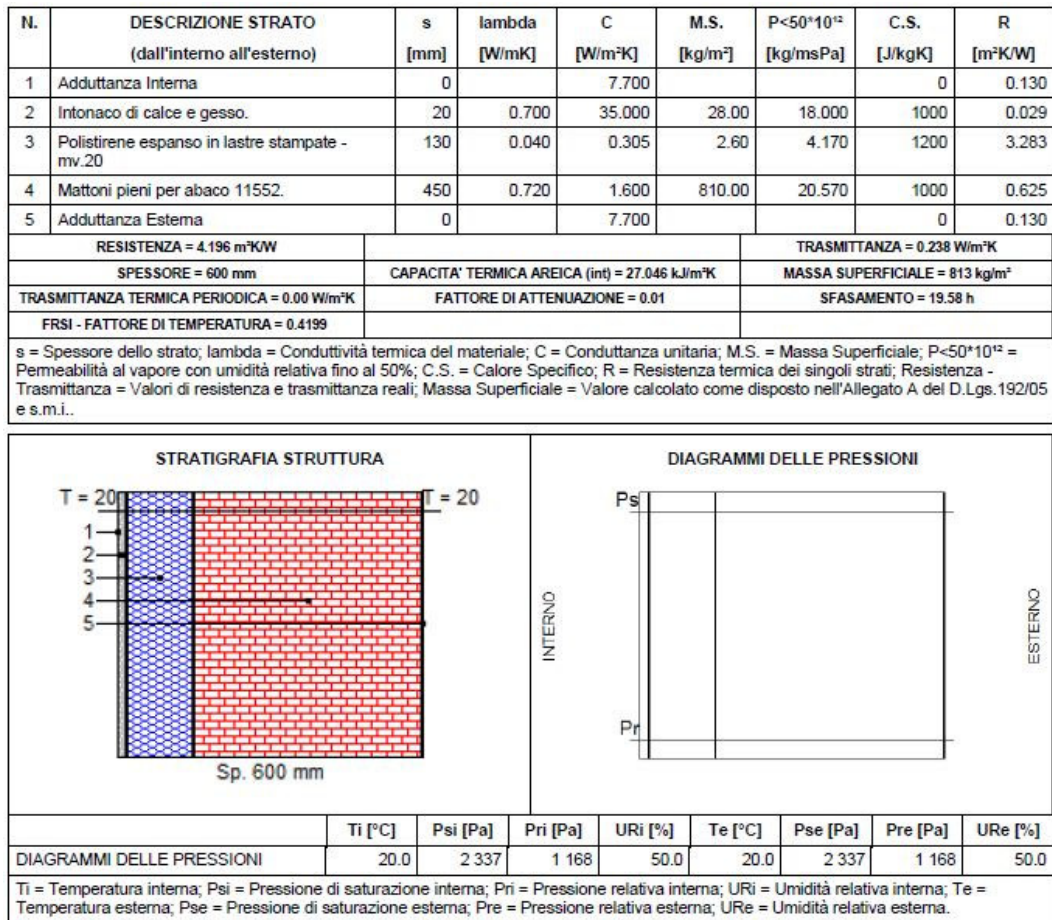


Fig. 7.1. Parete da 45 cm post-intervento

7.0.2 Isolamento del sottotetto

La seconda ipotesi prevede l'applicazione di uno strato di lana di vetro di 16 cm fra lo strato delle piastrelle esistenti e le tegole, anche loro esistenti. Nella Tab. 7.4 sono indicate le caratteristiche del materiale considerato, mentre nella Fig. 7.2 viene mostrata la stratigrafia del solaio in seguito all'intervento, gli spessori di ogni strato e il valore di trasmittanza termica risultante.

Tab. 7.4. Caratteristiche della lana di roccia

Lana di roccia	
Conducibilità [W/mK]	0.031
Calore specifico [kJ/kgK]	1.029
Densità [kg/m ³]	85.000

N.	DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10 ¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Superiore	0		25.000			0	0.040
2	Mattoni: pieni/forati/leggeri/alta resistenza meccanica - umidità 0,5%- mv.1800.	20	0.718	35.910	36.00	20.570	840	0.028
3	Fibre di vetro - feltri resinati - appl. interne - mv.14.	180	0.048	0.303	2.24	150.000	1000	3.308
4	Piastrelle ceramiche	20	1.300	65.000	46.00	0.940	840	0.015
5	Assito in legno per tetto	60	0.150	2.500	33.00	4.500	1600	0.400
6	Adduttanza Inferiore	0		10.000			0	0.100
RESISTENZA = 3.869 m²K/W						TRASMITTANZA = 0.257 W/m²K		
SPESSORE = 260 mm		CAPACITA' TERMICA AREICA = 38.703 kJ/m²K				MASSA SUPERFICIALE = 117 kg/m²		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.11 W/m²K		FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.44				SFASAMENTO = 6.21 h		
FRSI - FATTORE DI TEMPERATURA = 0.7924								
s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10 ¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.l..								

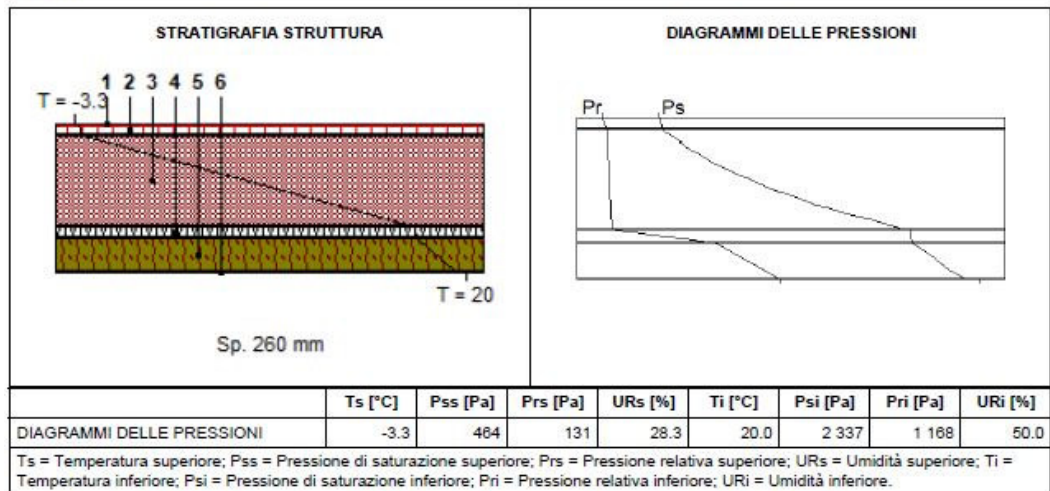


Fig. 7.2 Solaio della copertura post-intervento

7.0.3 Sostituzione delle finestre

Come ultima ipotesi riguardante l'involucro è stata considerata la sostituzione di tutte le finestre del palazzo.

Dal software Icaro è possibile assemblare direttamente una finestra con le sue caratteristiche. Sono state scelte delle finestre con triplo vetro basso emissivo 4-12-4-12-4 con gas Argon all'intercapedine e il telaio in legno tenero con spessore di 90 cm.

Nella figura 7.3 sono riassunte le caratteristiche tipo di una finestra post-intervento.

DESCRIZIONE	Ag [m²]	Af [m²]	Lg [m]	Ug [W/m²K]	Uf [W/m²K]	kl [W/mK]	Uw [W/m²K]	Fg [-]
INFISSO	1.411	0.623	8.340	0.899	1.300	0.060	1.268	0.50
Ponte Termico Infisso-Parete: = 0 [W/mK]								
Fonte - Uf: da Normativa; Ug: da Normativa								
Ag = Area vetro; Af = Area telaio; Lg = Lunghezza perimetro superficie vetrata; Ug = Trasmittanza termica superficie vetrata; Uf = Trasmittanza termica telaio; kl = Trasmittanza lineica distanziatore (nulla se singolo vetro); Uw = Trasmittanza termica totale serramento; Fg = Trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale.								



COEFFICIENTE RIDUZIONE AREA TELAIO	0.3063
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	0.130 m²K/W
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	0.040 m²K/W
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	7.700 W/m²K
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	25.000 W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	0.789 m²K/W
TRASMITTANZA TOTALE	1.268 W/m²K
TRASMITTANZA VETRO TOTALE	0.899 W/m²K

Fig. 7.3. Caratteristiche della finestra allo stato di progetto

7.0.4 Installazione di una VMC per il free cooling estivo

Con le soluzioni precedentemente adottate assistevamo ad un discomfort estivo eccessivo con delle temperature molto alte; si sa che con il cappotto interno si possono avere delle temperature elevate per via della poca traspirabilità delle pareti, con possibili problemi di condensa e di muffa, e necessita di un basso tasso di umidità.

L'assenza di ventilazione naturale dovuta al mantenimento dei serramenti chiusi comporta la perdita del raffrescamento notturno (oscillazioni giorno-notte) con una tendenza crescente della temperatura interna.

Ipotizzando l'utilizzo di una ventilazione meccanica estiva, notturna e controllata questo discomfort è quasi nullo in tutte le zone termiche considerate e tutte le pareti risultano negative alla presenza di muffa.

Ma come funziona il free cooling notturno?

Quando l'aria esterna raggiunge una temperatura inferiore rispetto a quella interna, il sistema, prima di immetterla nell'ambiente, interrompe la funzione di recupero di calore, per mantenere la condizione termica migliore. In questo modo viene introdotta aria naturalmente fresca negli spazi indoor.

Sfruttando la differenza di temperatura tra interno ed esterno, la tecnologia free cooling massimizza il comfort indoor senza l'utilizzo di aria condizionata. Con l'opzione free cooling, il sistema stesso blocca o avvia l'attività dello scambiatore di calore in base alla temperatura dell'aria esterna, garantendo un benessere costante e un'effettiva riduzione dei consumi. Le figure 7.4 e 7.5 evidenziano il funzionamento in free cooling della VMC.

Utile in particolare nelle ore notturne estive e nelle mezze stagioni, quando la temperatura outdoor è più confortevole, la tecnologia free cooling non necessita di ulteriore apporto energetico, con un risparmio fino al 50%, e consente di mantenere ottimale la sicurezza dell'abitazione, beneficiando dell'aria fresca senza dover tener aperte le finestre. La figura 7.6 rappresenta la VMC utilizzata

per la simulazione ossia una Daikin Vam-J 350 con portata d'aria massima di 350 vol/h.

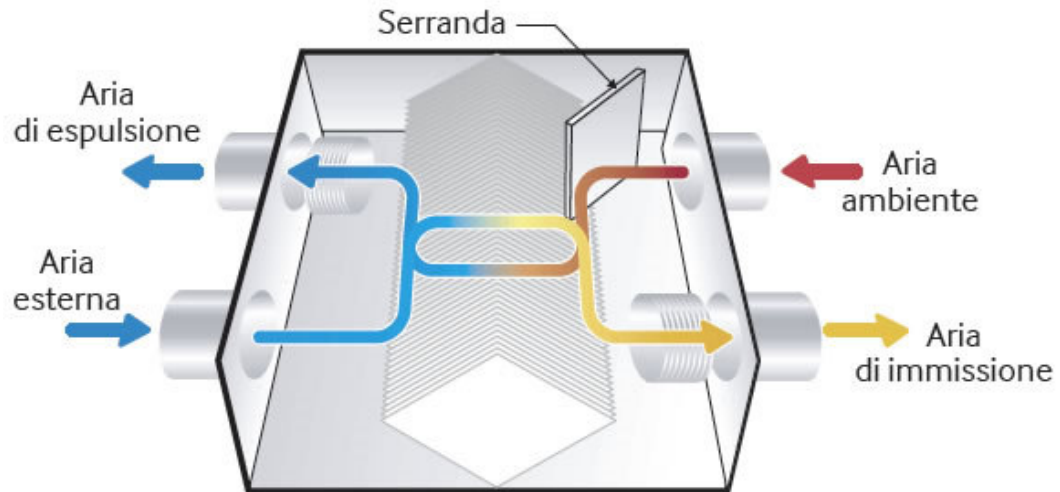


Fig. 7.4. Funzionamento in fase di free cooling estivo [19]



Fig. 7.5. Funzionamento in fase di free cooling estivo con l'immissione di aria fresca dall'ambiente esterno e l'estrazione di aria calda dall'ambiente interno [20]



Fig. 7.6 VMV Daikin Vam-J 350 [17]

8 Confronto tra Stato Attuale e Stato di Progetto

Una volta definito l'edificio in ogni suo aspetto, quindi dal punto di vista geometrico, delle componenti e dei sistemi che ne fanno parte e del suo utilizzo, è possibile simulare il comportamento per poi passare successivamente all'analisi dei risultati.

Nelle figure 8.1 e 8.2 notiamo il confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto relativo ai coefficienti di trasmissione dalle strutture opache, strutture trasparenti e i ponti termici dell'appartamento al primo piano.

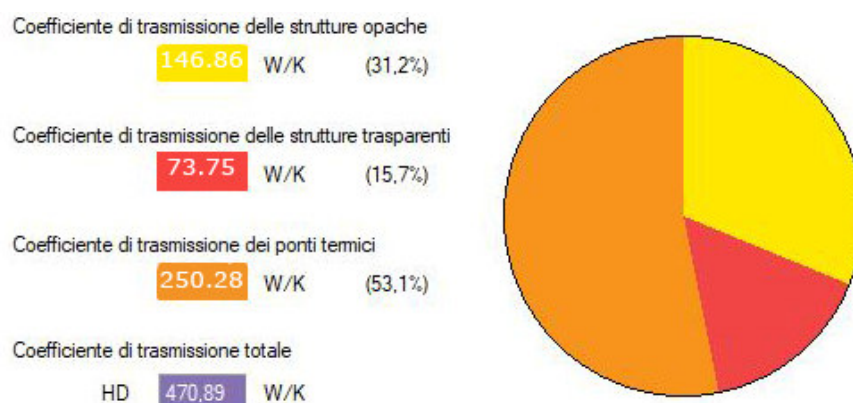


Fig. 8.1 Coefficienti di trasmissione delle strutture opache, trasparenti e ponti termici riferiti all'appartamento al primo piano allo stato attuale

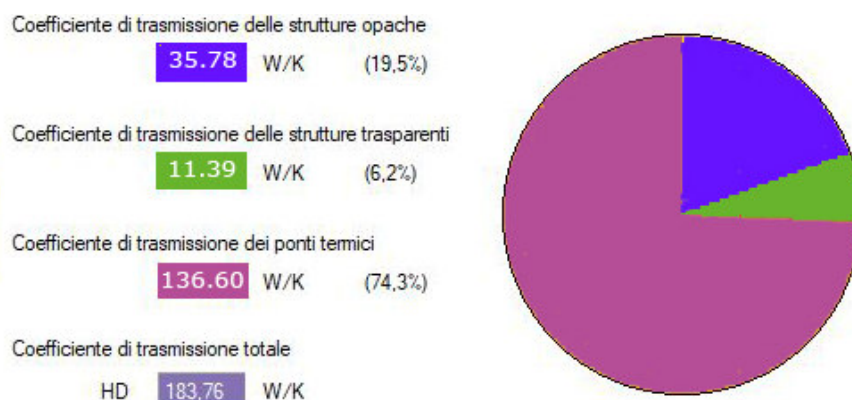


Fig. 8.2 Coefficienti di trasmissione delle strutture opache, trasparenti e ponti termici riferiti all'appartamento al primo piano allo stato di progetto

Le tabelle seguenti 8.1 e 8.2 rappresentano i risultati delle simulazioni fornite dal software per quanto riguarda la parte di riscaldamento e raffrescamento dello stato attuale e dello stato di progetto dell'edificio storico.

Tab. 8.1. Risultati dello stato attuale

Zone termiche	Riscaldamento				
	Potenza disponibile [kW]	Potenza massima impiegata [kW]	Energia utilizzata [kWh]	Temperature operante minima [°C]	Ore di attivazione
Piano Interrato	20	4,0	7739,6	20,0	5047
Piano Terra Museo	20	4,0	7225,0	20,0	4690
Piano Primo Museo	25	13,3	25224,4	20,0	4932
Piano Primo App.	20	9,4	20728,8	20,0	4895
Piano Mezzano App.	15	2,9	5279,4	20,0	4835
Piano Secondo App. Sinistra	20	7,1	14152,5	20,0	4899
Piano Secondo App. Centrale	20	7,5	15119,2	20,0	5077
Piano Secondo App. Destra	20	3,6	6814,2	20,0	4922

Raffrescamento				
Potenza disponibile [kW]	Potenza massima impiegata [kW]	Energia utilizzata [kWh]	Temperatura operante massima [°C]	Ore di attivazione
0	0,0	0,0	27,6	0
0	0,0	0,0	30,4	0
0	0,0	0,0	30,9	0
0	0,0	0,0	34,9	0
0	0,0	0,0	31,6	0
0	0,0	0,0	33,2	0
0	0,0	0,0	31,2	0
0	0,0	0,0	30,9	0

Tab. 8.2. Risultati dello stato di progetto

Zone termiche	Riscaldamento				
	Potenza disponibile [kW]	Potenza massima impiegata [kW]	Energia utilizzata [kWh]	Temperatura operante minima [°C]	Ore di attivazione
Piano Interrato	20	1,3	2916,3	21,0	5109
Piano Terra Museo	20	1,7	3520,2	21,0	4691
Piano Primo Museo	25	4,2	9260,5	21,0	4887
Piano Primo App.	20	2,8	5771,9	21,0	4629
Piano Mezzano App.	15	0,8	1743,1	21,0	4640
Piano Secondo App. Sinistra	20	1,5	3169,1	21,0	4758
Piano Secondo App. Centrale	20	2,2	5041,4	21,0	4928
Piano Secondo App. Destra	20	0,9	1891,9	21,0	4618

Raffrescamento				
Potenza disponibile [kW]	Potenza massima impiegata [kW]	Energia utilizzata [kWh]	Temperatura operante massima [°C]	Ore di attivazione
0	0,0	0,0	27,3	0
0	0,0	0,0	32,2	0
0	0,0	0,0	31,5	0
0	0,0	0,0	33,9	0
0	0,0	0,0	32,1	0
0	0,0	0,0	32,0	0
0	0,0	0,0	32,3	0
0	0,0	0,0	31,9	0

Come si evince dalle due tabelle ci sono alcune delle differenze. Per quanto riguarda la temperatura di set point dello stato attuale è fissata a 20 °C, invece quella dello stato di progetto è fissata a 21 °C.

Possiamo vedere dai dati come ci sia, a parità della stessa caldaia, una netta differenza per quanto riguarda la potenza a quasi parità di ore di utilizzo della

caldaia stessa per il riscaldamento con un certo risparmio energetico sia ambientale che economico.

Si poteva ipotizzare, fra gli interventi di retrofit, anche una caldaia a condensazione in sostituzione della vecchia caldaia murale a metano con un miglioramento dell'efficienza e quindi anche del risparmio energetico ma con il software Icaro non è possibile definire la tipologia di impianto ma solo il terminale di emissione, quindi non è stata presa in considerazione questa ipotesi.

Per quanto riguarda la temperatura operante nelle diverse zone termiche si ha all'incirca una leggera diminuzione dei valori di qualche grado nel piano interrato, nell'appartamento al piano primo e nell'appartamento centrale al piano secondo. Le temperature sono aumentate grazie all'utilizzo dell'isolante interno che crea una specie di involucro poco permeabile all'aria.

Nelle seguenti figure 8.3, 8.4 e 8.5 troviamo rispettivamente la temperatura operante allo stato attuale, allo stato di progetto e infine il loro confronto.

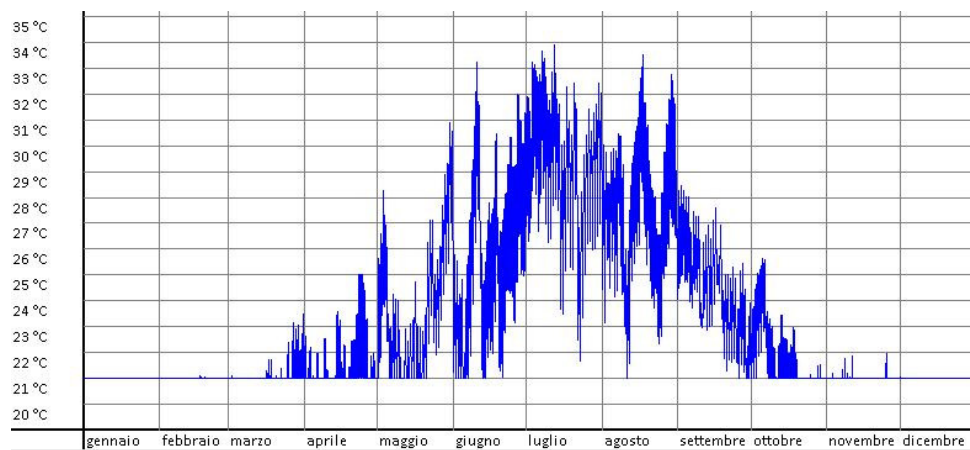


Fig. 8.3. temperatura operante piano primo appartamento allo stato attuale

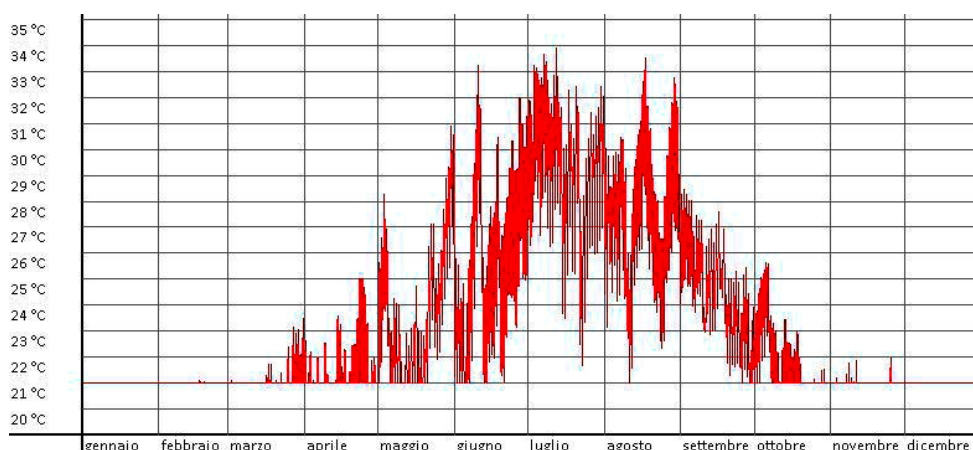


Fig. 8.4 temperatura operante piano primo appartamento allo stato di progetto

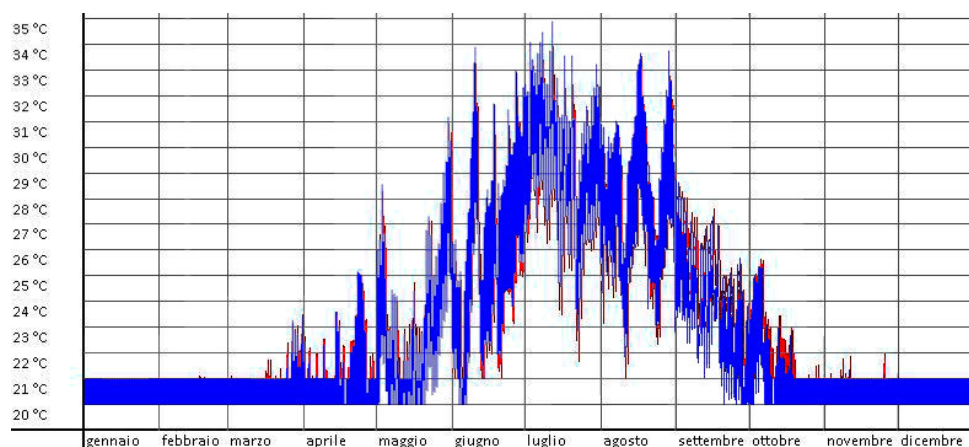


Fig. 8.5. confronto tra le due temperature operative allo stato attuale e di progetto

Dalle tabelle 8.1 e 8.2 notiamo alla voce energia utilizzata, il fabbisogno termico annuale; invece nelle figure 8.6 e 8.7 vengono mostrati per ogni mese i valori totali dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento (rispettivamente con la linea grigia e nera) e la composizione del bilancio energetico d'involucro suddiviso in: dispersioni e apporti solari sull'opaco (blu), dispersioni per ventilazione (azzurro), apporti solari attraverso le strutture trasparenti (giallo) e apporti interni (rosso).

Anche qui confrontando le due figure si possono vedere che nello stato di progetto la situazione è molto migliorativa.

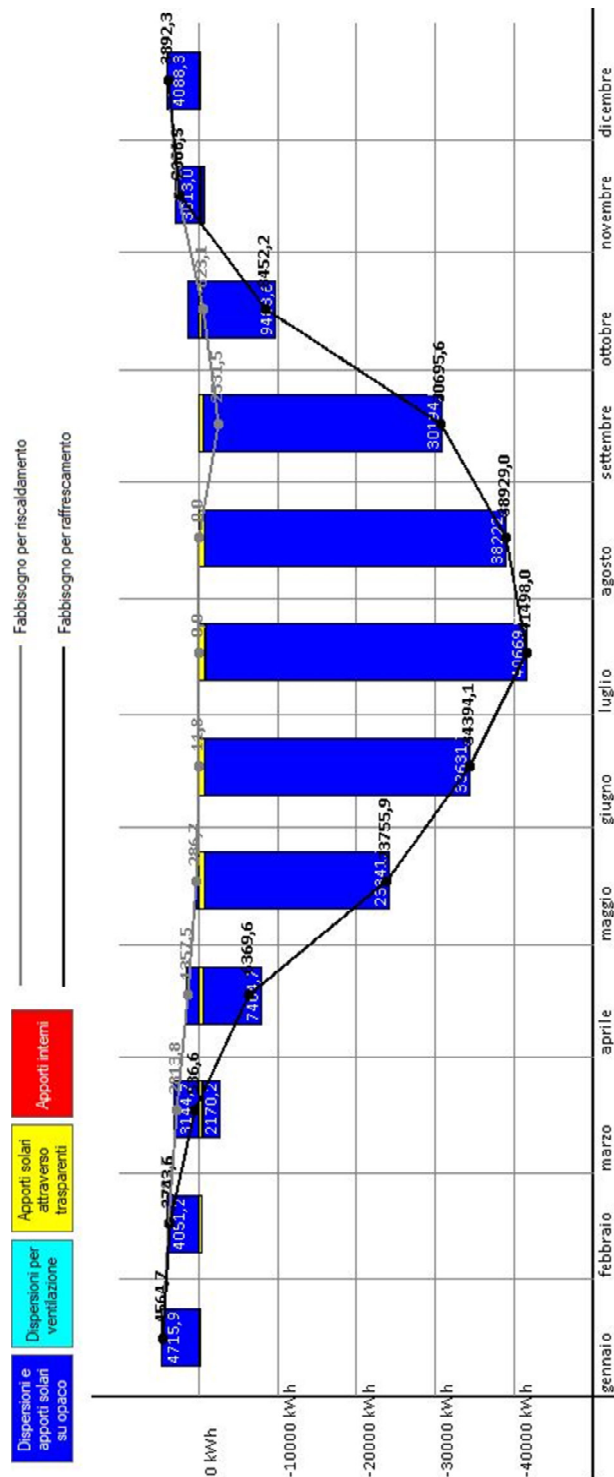


Fig. 8.6 fabbisogni mensili allo stato attuale

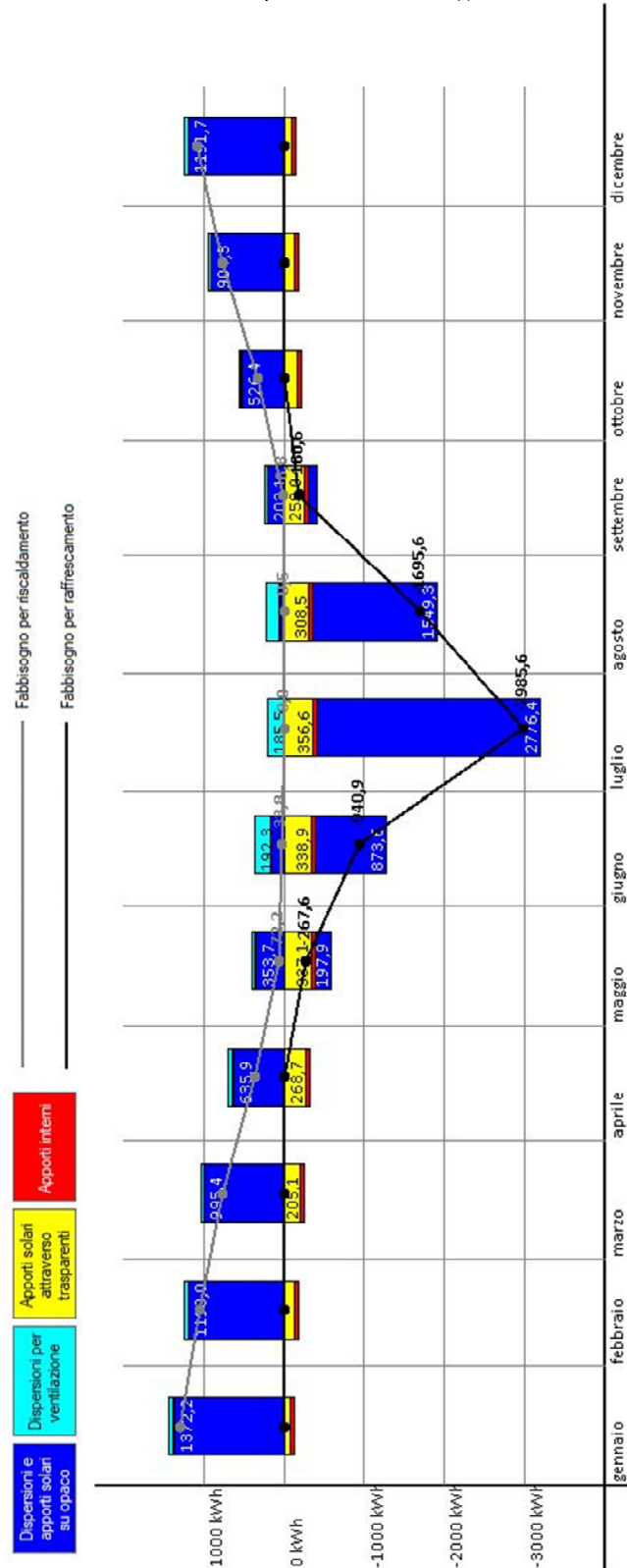


Fig. 8.7 fabbisogni mensili allo stato di progetto

Nelle successive tabelle 8.3 e 8.4, che confrontano i livelli di comfort invernale ed estivo delle varie zone termiche, notiamo come c'è un ottimo miglioramento invernale, a discapito di qualche ora di discomfort estivo. Utilizzando un isolamento a cappotto interno si crea un involucro ottimale nel periodo invernale ma poco efficiente in fase estiva per la poca traspirabilità delle pareti con rischio di formazione di condensa e muffa.

Altra problematica sono le finestre che essendo molto grandi fanno penetrare all'interno molto calore pur avendo le migliori caratteristiche che si possono avere attualmente. Questi due problemi, che creano un'elevata temperatura interna, sono risolti grazie all'uso della ventilazione meccanica controllata nel periodo notturno, con il cosiddetto fenomeno di free cooling che sfrutta la differenza di temperatura fra interno ed esterno immettendo all'interno della zona termica una temperatura più bassa proveniente dall'esterno.

Menzione particolare va fatta riguardo al piano interrato il quale è quello con più ore di discomfort; ci sono diverse ore di freddo date dalla presenza di umidità elevata perché a contatto con il terreno. Queste ore provengono nei mesi dove gli impianti non sono attivi e pur avendo le finestre esposte a sud, quindi con maggior radiazione solare, non si riesce ad avere un aumento delle ore di comfort con la sola ventilazione naturale e gli apporti interni.

Tab.8.3 Analisi del comfort allo stato attuale

	Ore comfort	Ore discomfort - freddo	Distanza media dalla zona di comfort - freddo [°C]	Ore discomfort - caldo	Distanza media dalla zona di comfort - caldo [°C]
Piano Interrato	4261/8760 (48,6%)	4499/8760 (51,4%)	0,95	0/8760 (0,0%)	0,00
Piano Terra Museo	4130/8760 (47,1%)	4630/8760 (52,9%)	0,79	0/8760 (0,0%)	0,00
Piano Primo Museo	4497/8760 (51,3%)	4263/8760 (48,7%)	0,84	0/8760 (0,0%)	0,00
Piano Primo App.	4532/8760 (51,7%)	3773/8760 (43,1%)	0,78	455/8760 (5,2%)	0,98
Piano Mezzano App.	4728/8760 (54,0%)	4030/8760 (46,0%)	0,74	2/8760 (0,0%)	0,04
Piano Secondo App. Sinistra	4637/8760 (52,9%)	3964/8760 (45,3%)	0,76	159/8760 (1,8%)	0,58
Piano Secondo App. Centrale	4426/8760 (50,5%)	4334/8760 (49,5%)	0,81	0/8760 (0,0%)	0,00
Piano Secondo App. Destra	4548/8760 (51,9%)	4212/8760 (48,1%)	0,78	0/8760 (0,0%)	0,00

Tab 8.4. Analisi del comfort allo stato di progetto

	Ore comfort	Ore discomfort - freddo	Distanza media dalla zona di comfort - freddo [°C]	Ore discomfort - caldo	Distanza media dalla zona di comfort - caldo [°C]
Piano Interrato	6937/8760 (79,2%)	1823/8760 (20,8%)	0,83	0/8760 (0,0%)	0,00
Piano Terra Museo	8147/8760 (93,0%)	598/8760 (6,8%)	0,31	15/8760 (0,2%)	0,22
Piano Primo Museo	7954/8760 (90,8%)	803/8760 (9,2%)	0,35	3/8760 (0,0%)	0,04
Piano Primo App.	7899/8760 (90,2%)	407/8760 (4,6%)	0,28	454/8760 (5,2%)	0,81
Piano Mezzano App.	8269/8760 (94,4%)	449/8760 (5,1%)	0,25	42/8760 (0,5%)	0,20
Piano Secondo App. Sinistra	7986/8760 (91,2%)	614/8760 (7,0%)	0,29	160/8760 (1,8%)	0,37
Piano Secondo App. Centrale	7909/8760 (90,3%)	783/8760 (8,9%)	0,38	68/8760 (0,8%)	0,26
Piano Secondo App. Destra	8238/8760 (94,0%)	461/8760 (5,3%)	0,23	61/8760 (0,7%)	0,15

Le nuvole dei punti riportate nelle figure 8.8 e 8.9 rappresentano l'insieme dei valori orari di temperatura operante come media della zona termica corrispondente all'ambiente abitativo relativo all'appartamento al primo piano, rispetto ai valori di temperatura esterna dell'aria di tutto l'anno e le linee verdi esterne sono i margini della fascia di comfort selezionata: all'infuori di queste due linee si trovano le ore di discomfort della zona termica. Considerando l'assenza di un impianto di raffrescamento estivo e con la sola ventilazione meccanica (free running) e le caratteristiche costruttive dell'edificio, come requisito di "fascia di comfort" si è fatto riferimento alla classe II, individuata dalla UNI EN 15251 con uno scostamento di ± 2 °C rispetto alla temperatura ideale definita con il modello adattivo.

Si deduce, facendo riferimento alla figura 8.9 e ai valori percentuali della tabella 8.4, che dai risultati ottenuti ne consegue il soddisfacimento per la quasi totalità delle ore annuali per quanto riguarda l'appartamento al piano primo preso in esempio nei diversi paragrafi di questa tesi; da una percentuale di comfort pari a 51,7% ore allo stato attuale si passa ad una percentuale di 90,2% di ore annuali.

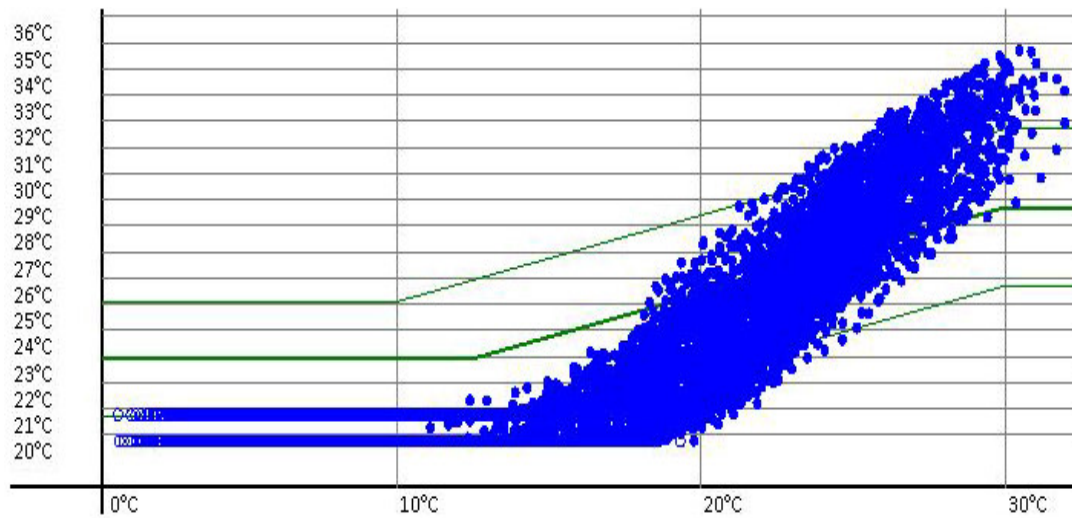


Fig. 8.8 nuvola dei punti del comfort annuale dell'appartamento al piano primo allo stato attuale

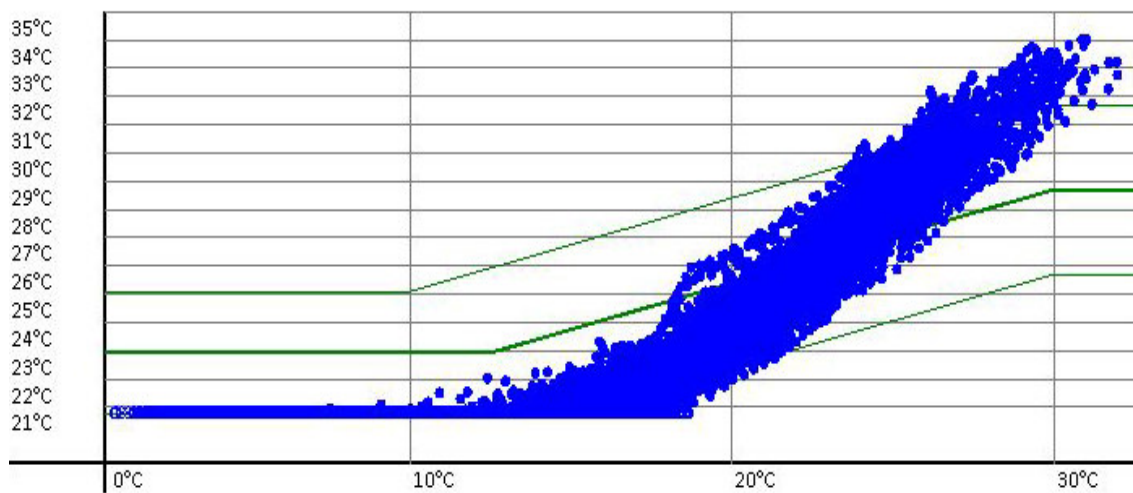


Fig. 8.9 nuvola dei punti del comfort annuale dell'appartamento al piano primo allo stato di progetto

9 Conclusioni

In questo lavoro di tesi sono presentati i risultati di simulazione in regime dinamico delle condizioni di comfort termico annuale per un edificio storico vincolato, Palazzo Leoni a Cupramontana, con diverse destinazioni d'uso. Con l'impiego del software ICARO il benessere dell'utenza è stato valutato secondo il modello del comfort adattivo descritto nella norma UNI EN 15251. I risultati sono stati confrontati i risultati fra lo stato attuale e lo stato di progetto. Questo confronto ha consentito di individuare quali parametri di input risultano critici da definire previsionalmente affinché la simulazione termo-energetica sia il più possibile attendibile. Tra tutti, questo studio evidenzia l'importanza di individuare correttamente i profili di ventilazione naturale, in modo particolare per un edificio senza raffrescamento attivo.

Altro tema importante discusso in questa tesi è la riqualificazione edilizia storica con le sue problematiche e l'analisi energetica relativa ai fabbisogni.

Dopo aver descritto e simulato lo stato attuale si è deciso di migliorare l'involucro edilizio con l'isolamento interno, obbligatorio visto i vincoli relativi alla facciata, di diverso spessore a base di polistirene espanso, sostituzione delle finestre, dato che quelle presenti sono datate e di scarsa qualità, con un vetro triplo basso emissivo ed argon nell'intercapedine, isolamento del piano copertura anch'esso poco performante e molto disperdente isolato con la lana di roccia ed infine l'ipotesi di poter installare una VMC ventilazione meccanica controllata estiva notturna facendo passare le tubazioni all'interno delle pareti considerando il loro rifacimento.

Alla valutazione del comfort ad impianto acceso è stata associata un'analisi di sensibilità, facendo variare la temperatura di set-point degli impianti di riscaldamento tra 20 °C dello stato attuale e 21 °C dello stato di progetto.

La temperatura di 20°C dello stato attuale non rispetta il comfort che si dovrebbe avere nella fascia di comfort II data dalla norma UNI EN 15251.

I valori di comfort ottenuti sono stati confrontati con i fabbisogni di energia termica utile conseguenti all'applicazione delle diverse temperature di regolazione, in modo tale da individuare la temperatura di set-point ottimale per minimizzare i consumi energetici e massimizzare il comfort termico.

Si evince un'importante differenza tra le percentuali di comfort fra le due diverse simulazioni; si ha un aumento del 40% circa in tutte le zone termiche a discapito del discomfort invernale. Questo è dato dal cappotto interno che fa da contenitore di calore e corregge parzialmente i ponti termici, e dalle finestre dove non c'è quella dispersione che era presente con le finestre antiche.

Sempre grazie a questi interventi abbiamo una notevole diminuzione del fabbisogno energetico nei periodi più freddi come è possibile notare dalle tabelle 8.1 e 8.2 con una differenza tra stato attuale e stato di progetto di 35.40 KW/h ossia circa il 70% in meno.

Le problematiche in questo lavoro, come in tutti i lavori che riguardano l'edilizia storica, sono la raccolta e la veridicità dei dati: nessuno sa con certezza che i dati acquisiti, soprattutto quelli relativi alle stratigrafie delle pareti e le varie trasmittanze, siano corretti. Sono tutte ipotesi che sicuramente sono vicine alla realtà ma non veritiere al 100%. Di pari importanza è anche conoscere il comportamento dell'utenza, per esempio sulle modalità di apertura dei serramenti per la ventilazione naturale, in quanto assume un ruolo fondamentale nell'applicazione del modello di comfort adattivo soprattutto in fase estiva dove se si applica come nel nostro caso un isolamento interno, le temperature aumentano e la sola ventilazione naturale non può bastare dovendo ricorrere poi ad impianto di raffrescamento o ad una ventilazione meccanica controllata, ottima anche per quanto riguarda la qualità dell'aria.

Per i lavori futuri, oltre ad approfondire per aver risultati migliori i dati in input, si dovrebbero effettuare dei monitoraggi per completezza dell'opera in modo poter ripetere le varie simulazioni con dei valori più vicini alla realtà.



In conclusione, possiamo dire che gli interventi ipotizzati migliorano di molto le condizioni di benessere di tutto il complesso edilizio oltre ad aver un risparmio energetico importante, tema attuale di questi tempi.



Bibliografia

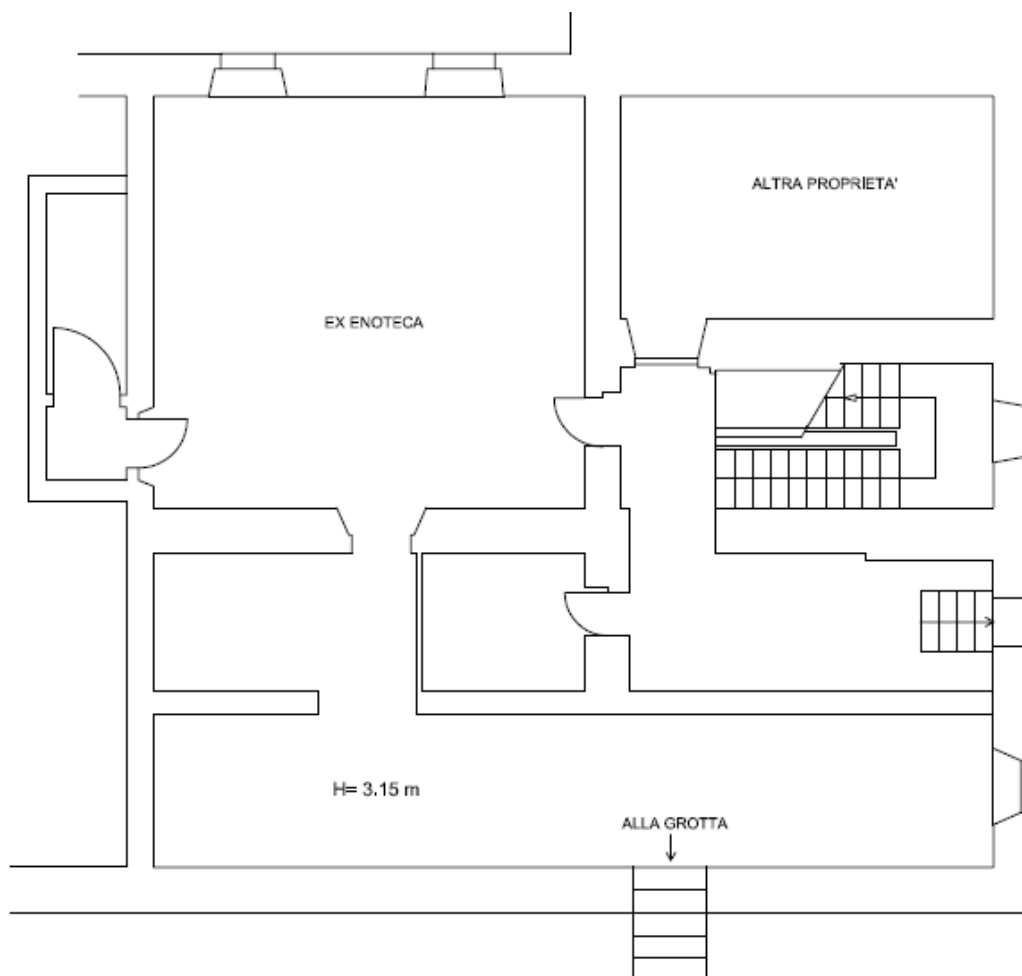
- [1] Carta del restauro 1972 (carta italiana del restauro) ministero della pubblica amministrazione;
- [2] Reprint of “Guidelines on energy efficiency of cultural heritage” by Livio de Santoli;
- [3] Energy retrofit of historic and existing buildings. The legislative and regulatory point of view by Livio Mazzarella;
- [4] “Riqualificazione dell’edilizia storica Criticità e strategie d’intervento”, tesi di Miriam Stara;
- [5] “Dall’analisi delle costruzioni nZEB all’individuazione di linee guida per il futuro sviluppo delle strategie di transizione energetica a scala urbana”, tesi di Francesca Pisanello;
- [6] “Optimal and Sustainable Plant Refurbishment in Historical Buildings: A Study of an Ancient Monastery Converted into a Showroom in Florence” by Carla Balocco and Enrico Marmonti;
- [6] Linee di indirizzo per il miglioramento dell’efficienza energetica nel patrimonio culturale;
- [7] Modellazione e simulazione energetica di un edificio storico. Il caso studio del conservatorio di musica Giuseppe Verdi di Torino;
- [8] Diagnosi energetica (Energy Audit): aspetti generali, criteri e procedure di valutazione di Livio Mazzarella;
- [10] Efficienza energetica dell'edilizia storica. I sistemi di valutazione statica e dinamica: caratteristiche, limiti e potenzialità by R. S. Adhikari, Valeria Pracchi;
- [11] <https://www.anit.it/comfort-edificio/>
- [12] [Part 1 - 07.08.07-Palma-Andy rev E \(mygreenbuildings.org\)](https://mygreenbuildings.org/part-1-07.08.07-Palma-Andy-rev-E)
- [13] UNI EN 15251:2008



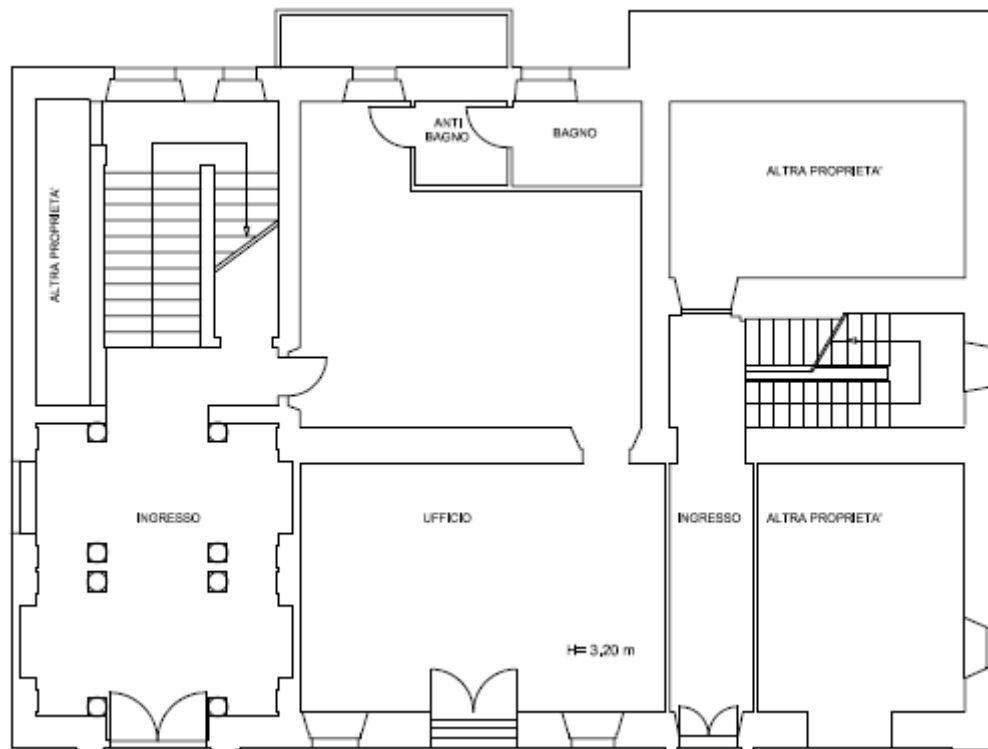
- [14] UNI/TS 11300:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- [15] UNI/TS 11300:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione.
- [16] UNI/TS 11300:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
- [17] [VAM-J | Daikin](#)
- [18] UNI 10375:2011
- [19] [Caratteristiche dei sistemi ERV - DVM S - Climatizzazione Samsung](#)
- [20] [Il sistema di raffreddamento free cooling \(infobuild.it\)](#)

Appendice A

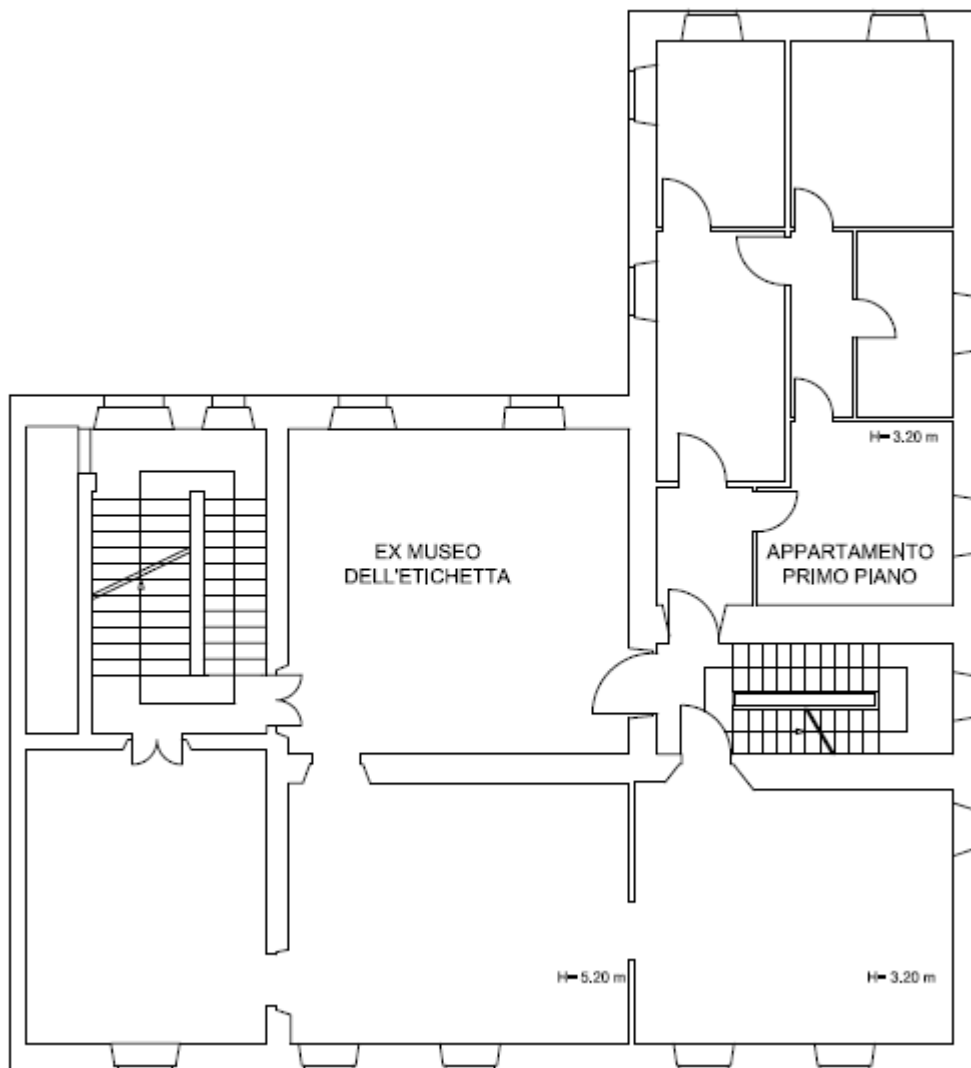
Di seguito troviamo tutte le planimetrie di Palazzo Leoni.



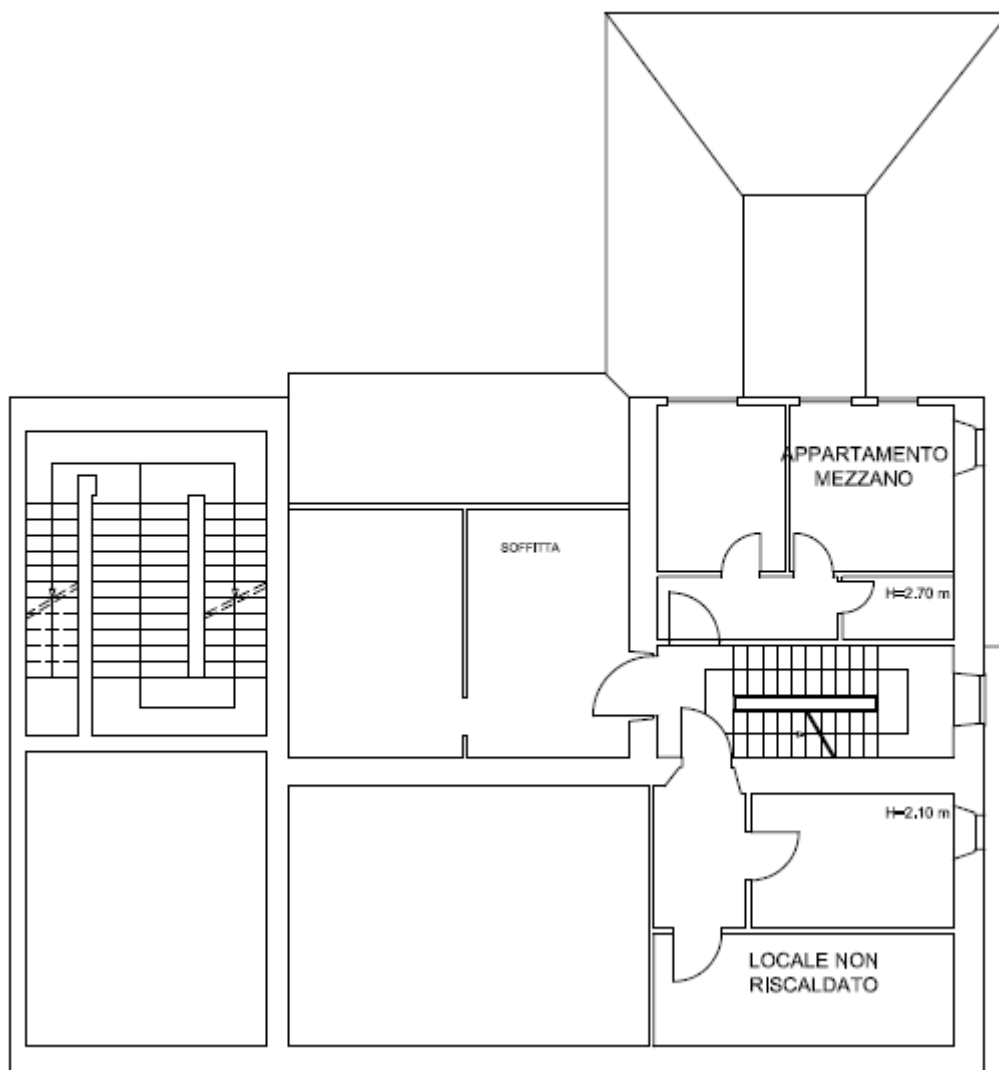
Planimetria piano seminterrato scala 1:100 quota -3.15m



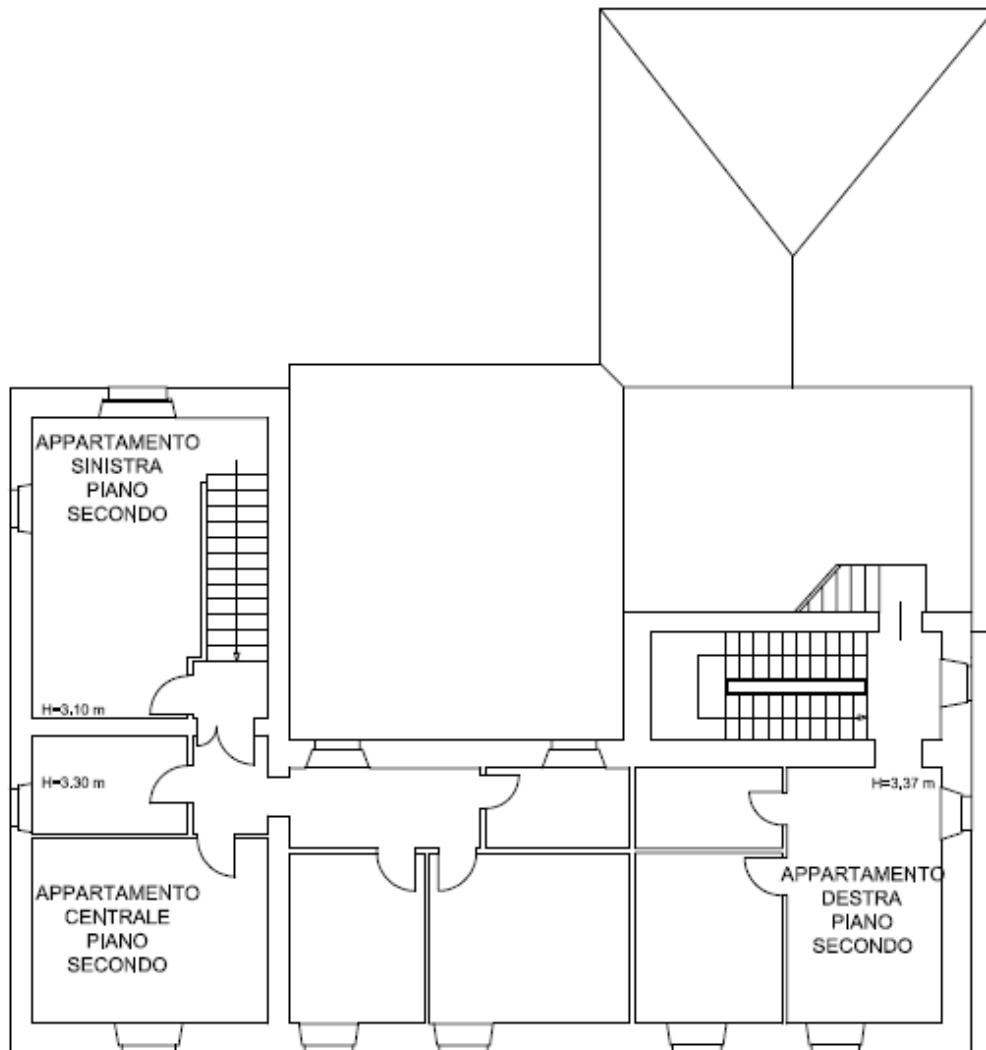
Planimetria piano terra scala 1:100 quota +3.20m



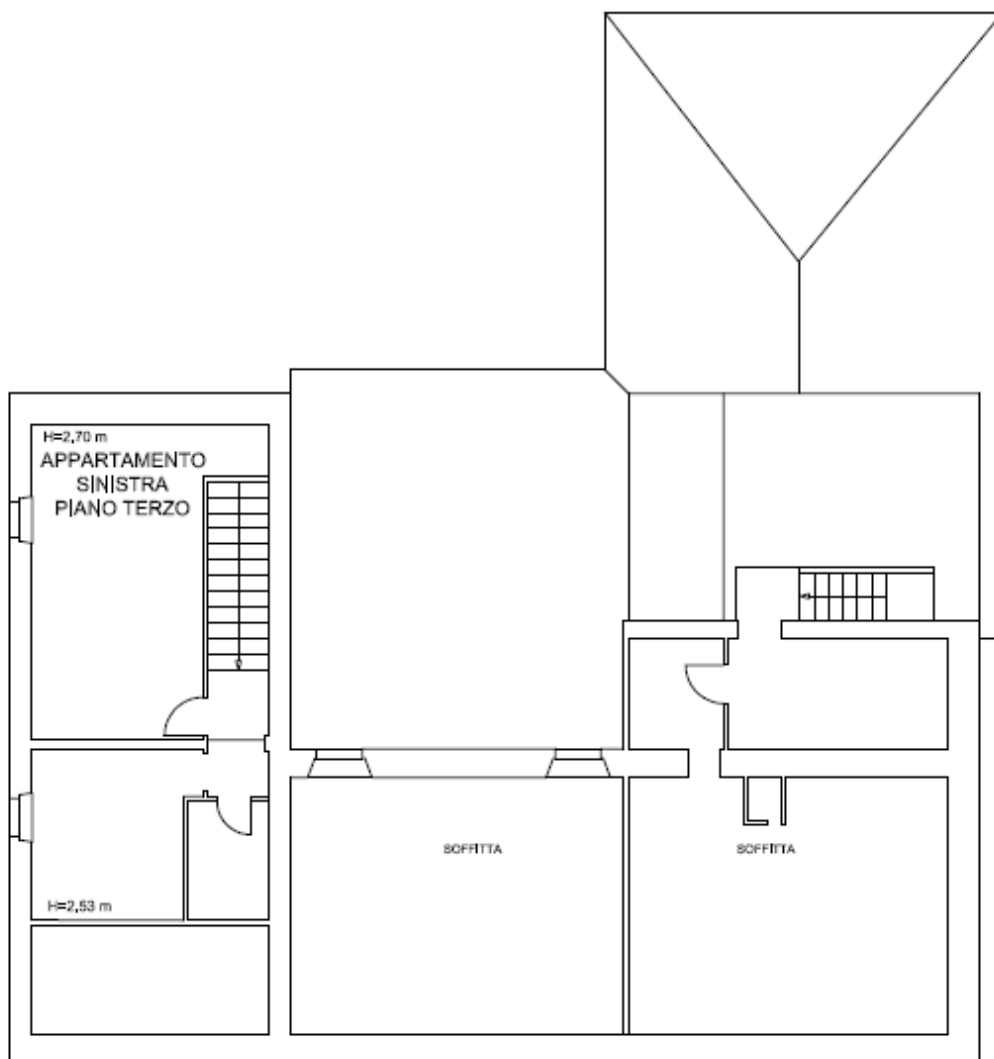
Planimetria piano primo scala 1:100 quota +4.67m



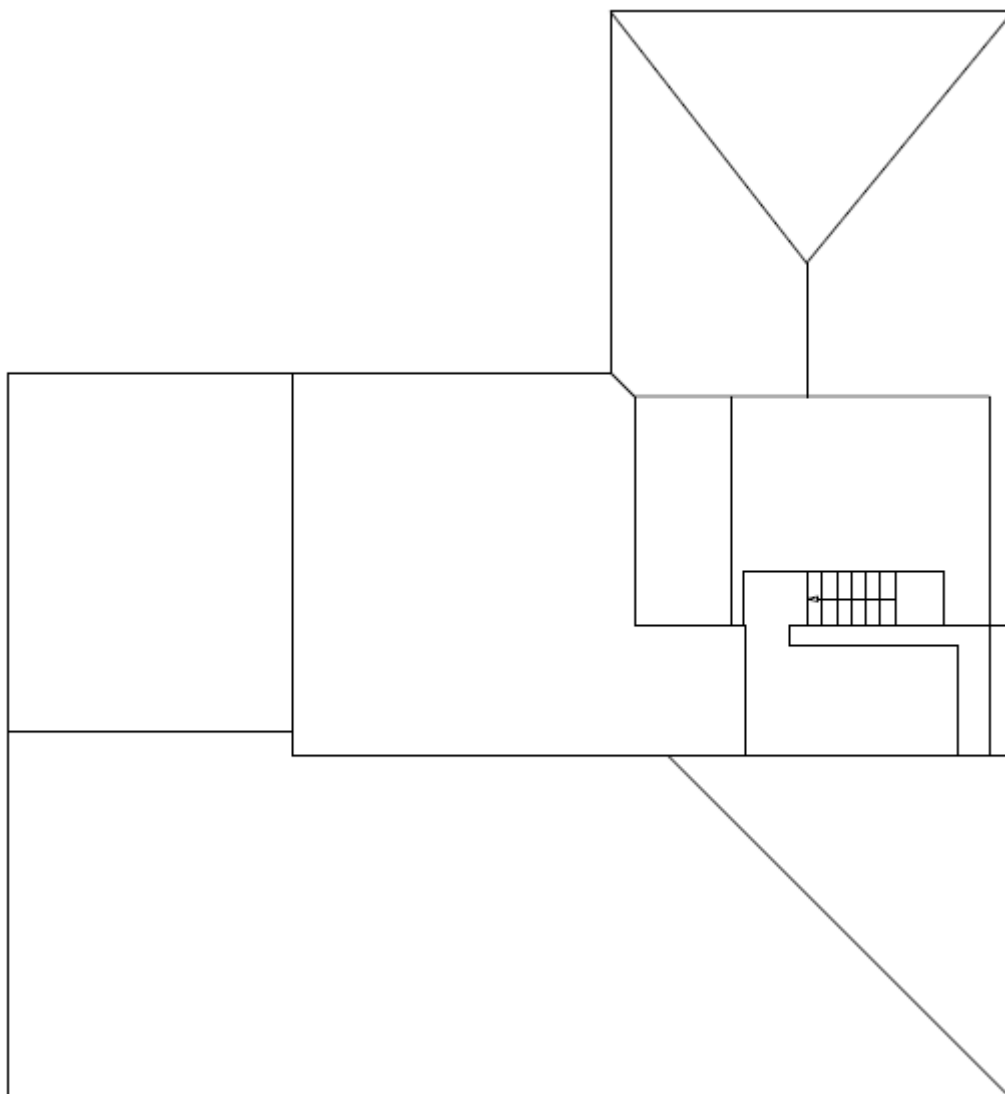
Planimetria piano mezzano scala 1:100 quota + 7.97



Planimetria piano secondo scala 1:100 quota +10.32



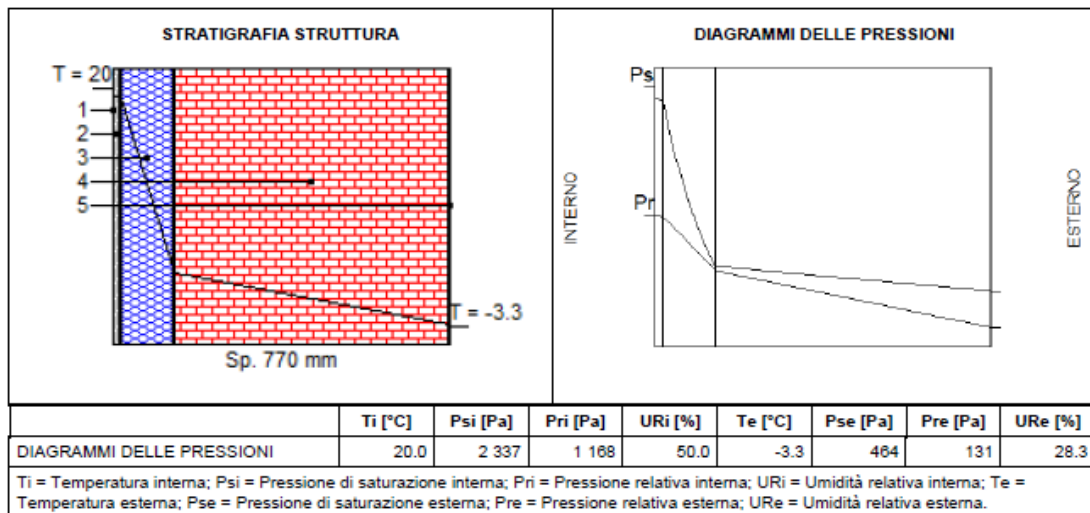
Planimetria piano terzo scala 1:100 quota +13.77



Planimetria piano copertura scala 1:100

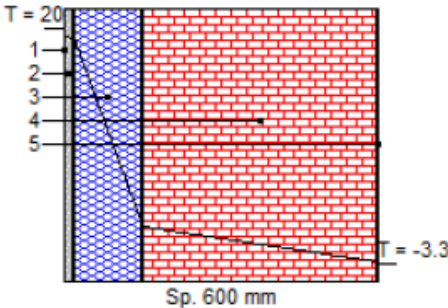
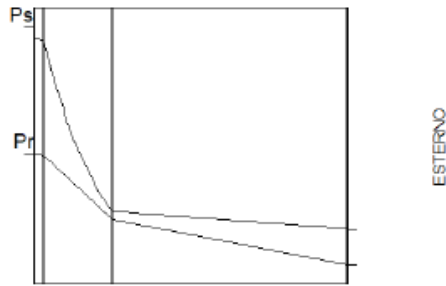
Si allegano tutte le stratigrafie di progetto

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10 ¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0	0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	20	0.700	35.000	28.00	18.000	1000	0.029
3	Polistirene espanso in lastre stampate - mv.20	120	0.040	0.330	2.40	4.170	1200	3.030
4	Mattoni pieni per abaco 11552.	630	0.720	1.143	1 134.00	20.570	1000	0.875
5	Adduttanza Esterna	0		25.000			0	0.040
RESISTENZA = 4.104 m²K/W						TRASMITTANZA = 0.244 W/m²K		
SPESSORE = 770 mm		CAPACITA' TERMICA AREICA (Int) = 27.001 kJ/m²K				MASSA SUPERFICIALE = 1 136 kg/m²		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.00 W/m²K		FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.00				SFASAMENTO = 1.18 h		
FRSI - FATTORE DI TEMPERATURA = 0.7924								
s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10 ¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..								



N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10 ¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700				0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	20	0.700	35.000	28.00	18.000	1000	0.029
3	Polistirene espanso in lastre stampate - mv.20	130	0.040	0.305	2.60	4.170	1200	3.283
4	Mattoni pieni per abaco 11552.	450	0.720	1.600	810.00	20.570	1000	0.625
5	Adduttanza Esterna	0		25.000			0	0.040
RESISTENZA = 4.106 m²K/W						TRASMITTANZA = 0.244 W/m²K		
SPESSORE = 600 mm		CAPACITA' TERMICA AREICA (Int) = 27.019 kJ/m²K				MASSA SUPERFICIALE = 813 kg/m²		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.01 W/m²K		FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.02				SFASAMENTO = 18.70 h		
FRSI - FATTORE DI TEMPERATURA = 0.7924								

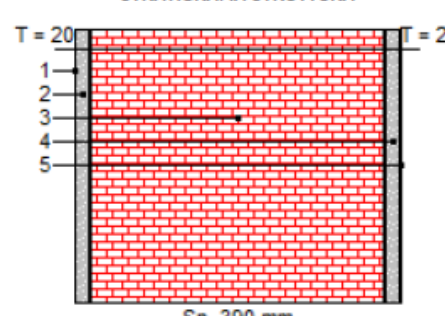
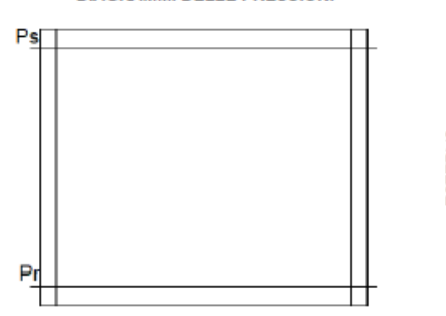
s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza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

STRATIGRAFIA STRUTTURA		DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	
			

	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	URi [%]	Te [°C]	Pse [Pa]	Pre [Pa]	URe [%]
DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	20.0	2 337	1 168	50.0	-3.3	464	131	28.3

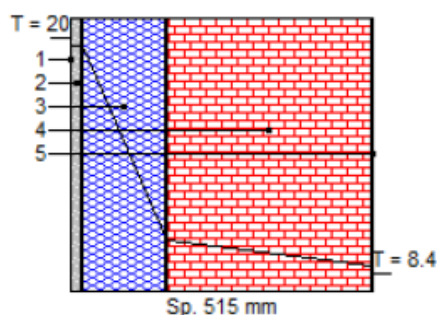
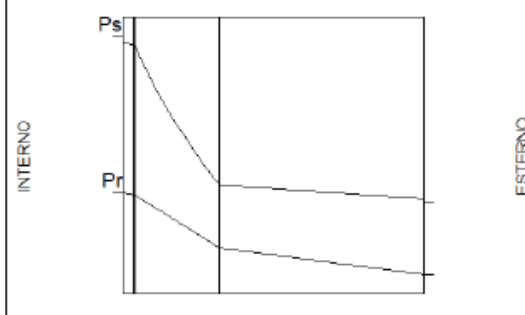
Ti = Temperatura interna; Psi = Pressione di saturazione interna; Pri = Pressione relativa interna; URi = Umidità relativa interna; Te = Temperatura esterna; Pse = Pressione di saturazione esterna; Pre = Pressione relativa esterna; URe = Umidità relativa esterna.

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10 ¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0	0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	20	0.700	35.000	28.00	18.000	1000	0.029
3	Mattoni pieni per abaco 11552.	350	0.720	2.057	630.00	20.570	1000	0.486
4	Intonaco di calce e gesso.	20	0.700	35.000	28.00	18.000	1000	0.029
5	Adduttanza Esterna	0		7.700			0	0.130
RESISTENZA = 0.803 m²K/W						TRASMITTANZA = 1.245 W/m²K		
SPESSORE = 390 mm		CAPACITA' TERMICA AREICA (Int) = 63.025 kJ/m²K				MASSA SUPERFICIALE = 630 kg/m²		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.11 W/m²K		FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.09				SFASAMENTO = 14.33 h		
s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10 ¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..								

STRATIGRAFIA STRUTTURA		DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI						
								
	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	URi [%]	Te [°C]	Pse [Pa]	Pre [Pa]	URe [%]
DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	20.0	2 337	1 168	50.0	20.0	2 337	1 168	50.0
Ti = Temperatura interna; Psi = Pressione di saturazione interna; Pri = Pressione relativa interna; URi = Umidità relativa interna; Te = Temperatura esterna; Pse = Pressione di saturazione esterna; Pre = Pressione relativa esterna; URe = Umidità relativa esterna.								

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10 ¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0	0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	20	0.700	35.000	28.00	18.000	1000	0.029
3	Polistirene espanso in lastre stampate - mv.20	145	0.040	0.273	2.90	4.170	1200	3.662
4	Mattoni pieni per abaco 11552.	350	0.720	2.057	630.00	20.570	1000	0.486
5	Adduttanza Esterna	0		7.700			0	0.130
RESISTENZA = 4.436 m²K/W						TRASMITTANZA = 0.225 W/m²K		
SPESSORE = 515 mm		CAPACITA' TERMICA AREICA (Int) = 27.163 kJ/m²K				MASSA SUPERFICIALE = 633 kg/m²		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.01 W/m²K		FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.04				SFASAMENTO = 16.07 h		
FRSI - FATTORE DI TEMPERATURA = 0.5848								

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

STRATIGRAFIA STRUTTURA		DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	
			

	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	URi [%]	Te [°C]	Pse [Pa]	Pre [Pa]	URe [%]
DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	20.0	2 337	1 168	50.0	8.4	1 102	551	50.0

Ti = Temperatura interna; Psi = Pressione di saturazione interna; Pri = Pressione relativa interna; URi = Umidità relativa interna; Te = Temperatura esterna; Pse = Pressione di saturazione esterna; Pre = Pressione relativa esterna; URe = Umidità relativa esterna.

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10 ¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0	0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	20	0.700	35.000	28.00	18.000	1000	0.029
3	Polistirene espanso in lastre stampate - mv.20	120	0.040	0.330	2.40	4.170	1200	3.030
4	Mattoni pieni per abaco 11552.	700	0.720	1.029	1 260.00	20.570	1000	0.972
5	Adduttanza Esterna	0		25.000			0	0.040
RESISTENZA = 4.201 m²K/W						TRASMITTANZA = 0.238 W/m²K		
SPESSORE = 840 mm		CAPACITA' TERMICA AREICA (Int) = 27.007 kJ/m²K				MASSA SUPERFICIALE = 1 262 kg/m²		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.00 W/m²K		FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.00				SFASAMENTO = 3.72 h		
FRSI - FATTORE DI TEMPERATURA = 0.7924								
s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10 ¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..								

